

DOI: 10.7868/S3034574X26020073
УДК 595.132:591

Оригинальная статья

ПОЛУЧЕНИЕ И ПРОТИВОМИКРОБНЫЕ СВОЙСТВА НАНОАСКОРБАТА ХИТОЗАНА *Bombux mori* С ИОНАМИ АЛЮМИНИЯ

К.К. Пирниязов^{1,*}, Д.И. Асракулова¹, С.Ш. Рашидова¹

¹Институт химии и физики полимеров АН РУз, Ташкент, Республика Узбекистан

*E-mail: qudratpirniyazov8875@gmail.com

Аннотация. В работе описан синтез комплекса наноаскорбата хитозана *Bombux mori* (НАХЗ) с ионами алюминия (Al) на основе хитозана (ХЗ) и аскорбиновой кислоты (АК) методом ионотропного гелеобразования. Изучены физико-химические и фунгицидные свойства комплекса по отношению к *Fusarium oxysporum*, вызывающему заболевания сельскохозяйственных культур. Полученный НАХЗ с ионами алюминия (НАХЗ:Al³⁺) обладал большей зоной подавления роста культуры *Fusarium oxysporum* по сравнению с другими фунгицидами, что позволило использовать его при предпосевной обработке семян в соотношении компонентов ХЗ: АК: Al — 4:1:0,5.

Ключевые слова: хитозан *Bombux mori*, наноаскорбат хитозана с ионами алюминия, антимикробные свойства, ИК- и УФ-спектроскопия

Финансирование. Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Института химии и физики полимеров.

Соблюдение этических стандартов. Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей и животных в качестве объектов.

Конфликт интересов. Авторы данной работы заявляют, что у них отсутствует конфликт интересов.

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи.

Ссылка для цитирования: Пирниязов К.К., Асракулова Д.И., Рашидова С.Ш. Получение и противомикробные свойства наноаскорбата хитозана *Bombux mori* с ионами алюминия. *Прикладная биохимия и микробиология / Applied biochemistry and microbiology*. 2026. Т. 62. № 2. С. 216–229.
<https://doi.org/10.7868/S3034574X26020073>

© К. К. Пирниязов, Д. И. Асракулова, С. Ш. Рашидова, 2026

Сокращения: хитозан — ХЗ; степени деацетилирования — СДА; *Bombux mori* — В.М.; аскорбиновая кислота — АК; наноаскорбат хитозана — НАХЗ.

SYNTHESIS AND ANTIMICROBIAL PROPERTIES OF CHITOSAN NANOASCORBATE *Bombyx Mori* WITH ALUMINUM IONS

K.K. Pirniyazov^{1,*}, D.I. Asrakulova¹, S.Sh.Rashidova¹

¹*Institute of Polymer Chemistry and Physics, Tashkent, Republic of Uzbekistan*

*E-mail: qudratpirniyazov8875@gmail.com

Abstract. This work describes the synthesis of the chitosan nanosorbate complex from *Bombyx mori* with aluminum ions based on chitosan and ascorbic acid using the ionotropic gelation method. Their physicochemical and antimicrobial properties against *Fusarium oxysporum*, which causes diseases in agricultural crops, are studied. The obtained chitosan nanosorbate with aluminum ions has a larger inhibition zone compared to all variants against *Fusarium oxysporum*, which allows its use for pre-sowing seed treatment with the component ratio of CS: AA: Al — 4:1:0.5.

Keywords: chitosan nanoascorbate *Bombyx mori*, chitosan nanoascorbate *Bombyx mori* with aluminum ions, antimicrobial properties, binding degree, nanoparticle size, IR and UV spectroscopy

Funding. This work was funded by the institutional budget of the Institute of Polymer Chemistry and Physics.

Ethics declarations. This article does not contain any studies involving human participants or animals as research subjects.

Conflict of interest. The authors declare that they have no conflict of interest.

Author contributions. All authors made significant contributions to the development of the concept, conducting the research, and preparing the manuscript.

For Citation: Pirniyazov K.K., Asrakulova D.I., Rashidova S.Sh. Synthesis and antimicrobial properties of chitosan nanoascorbate *Bombyx Mori* with aluminum ions. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya / Applied biochemistry and microbiology*. 2026;62(2):216–229. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S3034574X26020073>

ВВЕДЕНИЕ

Поликатионные и полианионные полисахариды, содержащиеся в морских водорослях, ракообразных, мухах, грибах и коконах тутового шелкопряда, могут рассматриваться как потенциальные источники иммуномодуляторов, росторегуляторов растений. ХЗ является нетоксичным, биосовместимым, биоразлагаемым полисахаридом, обладающим антимикробными, антиоксидантными, противовоспалительными и иммуностимулирующими свойствами [1].

Источником получения ХЗ в Узбекистане служат куколки тутового шелкопряда *Bombyx mori* — отходы шелкомотальной промышленности [2, 3]. Себестоимость производства хитозана *Bombyx mori* сравнительно низкая, а сам процесс получения является экологически безопасным, поскольку при переработке куколок тутового шелкопряда практически не образуются производственные отходы [3]. Кроме того, жидкие отходы переработки могут быть использованы для получения органоминеральных удобрений.

Известно, что ХЗ не растворяется в воде, но хорошо растворяются его кислотные производные, что расширяет спектр применения в сельском хозяйстве [4, 5].

Производные хитозана, в том числе наноаскорбат хитозана, нетоксичные, биоразлагаемые, биосовместимые полисахариды, обладающие широким спектром биологической активности, включая антимикробную [5, 6]. Антимикробные свойства наноаскорбата хитозана зависят от концентрации раствора и соотношения компонентов хитозана и аскорбиновой кислоты, использованных при синтезе комплекса [5].

Как известно, нанопроизводные, содержащие алюминий, составляют около 20 % объема от всех выпускаемых наноматериалов в мире, что делает их одними из самых распространенных продуктов на рынке наноматериалов [7]. Системы, содержащие алюминий, в последнее время привлекают внимание как эффективные и экологически безопасные, коммерчески доступные антимикробные препараты, обладающие высокой активностью *in vitro* и *in vivo* против широкого спектра бактериальных инфекций и грибов, вызывающих заболевания [8].

В настоящее время алюминий включен в состав вакцин против столбняка, гепатита А, гепатита В, вируса папилломы человека, *Haemophilus influenzae* типа b и инфекций, вызванных *Streptococcus pneumoniae* и *Neisseria meningitidis* [9].

Хитозан имеет в своем составе реакционноспособные функциональные группы, способные к образованию металлорганических комплексов с ионами металлов. Функциональные группы $-\text{NH}_2$ и $-\text{OH}$ могут координироваться с Al^{3+} за счет неподеленных электронных пар атома азота или кислорода, что

приводит к образованию металлокомплексов хитозана [9].

В литературе отмечается влияние ионов алюминия и соединений, содержащих алюминий, на биологически активные свойства хитозана. Сообщалось, что синтезированные наноконпозиты на основе хитозана и оксида алюминия были охарактеризованы и использованы в качестве «зеленого» гетерогенного катализатора для получения новых производных имидазопиразолитиона [10]. Эффективность такого наноконпозиционного катализатора, полученного из оксида алюминия и хитозана, по сравнению с традиционными органическими основаниями-катализаторами, описана как нетоксичная, экономичная и воспроизводимая; кроме того, наноконпозитный катализатор легко отделялся от реакционной среды и мог быть использован повторно до четырех раз без значительной потери каталитической активности [10].

Также алюминийсодержащие гидрогели хитозана используются в качестве водопоглощающих и влагосберегающих материалов. Эти превосходные свойства в сочетании с низкой стоимостью исходных компонентов, простотой метода получения, а также биосовместимостью и биодеградируемостью делают гидрогели $\text{ХЗ}-\text{Al}^{3+}$ перспективными материалами для применения в сельском хозяйстве в качестве влагосберегающих систем и как рН-чувствительные материалы [9].

На основе оксида алюминия и хитозана получают биоразлагаемые пленки. Произведенные пленки обладают необходимой механической и термической прочностью, что делает их перспективным материалом для устойчивой упаковки пищевых продуктов, овощей и фруктов [11].

В литературе отмечено, что композитный материал на основе хитозана и оксида алюминия, образующийся посредством химических связей между хитозаном и изопропанолятом алюминия, используется в качестве адсорбента тяжелых металлов. В результате такой модификации хитозана полученный адсорбент обладал более высокой адсорбционной емкостью по сравнению с исходным хитозаном и механической смесью хитозана и оксида алюминия [12].

Наноконпозиты, полученные на основе хитозана, оксида алюминия и углеродных нанотрубок, использовались для очистки сточных вод и подавления микроорганизмов, вызывающих заболевания. Эти наноконпозиты проявляли противомикробные свойства при очистке воды от 12 видов бактерий в различных экологических условиях [13].

Таким образом, алюминийсодержащие производные хитозана являются малотоксичными, биодеградируемыми и обладают антимикробными, водопоглощающими, адсорбционными и каталитическими свойствами. В литературе также отмечается активность $\text{ХЗ}:\text{Al}^{3+}$ против грамположительных и грамотрицательных патогенов [9, 13].

Анализ литературы позволил впервые изучить для усиления антимикробных свойств и расширения области применения наноаскорбата хитозана возможности образования его металлокомплексов с ионами алюминия.

В последние годы микроскопические грибы рода *Fusarium* стали объектом углубленных исследований во многих странах мира. Это обусловлено тем, что многочисленные виды данного рода являются широко распространенными космополитными организмами и практически каждая важная сельскохозяйственная культура поражается одним или несколькими их представителями [14]. Грибы рода *Fusarium* способны инфицировать растения на всех этапах онтогенеза — от прорастания семян и выращивания рассады до завершения вегетационного периода, а также вызывать порчу плодов в процессе их хранения и реализации.

В частности, *Fusarium oxysporum* широко распространен на территории Узбекистана и наносит существенный ущерб, особенно овощным и бахчевым культурам. В связи с этим применение экологически безопасных полимерных препаратов для борьбы с фитопатогенными грибами данного вида представляется актуальным и перспективным направлением.

Цель работы — синтез наноаскорбата хитозана с ионами алюминия и изучение его структуры и антимикробной активности против культур *Fusarium oxysporum*.

МЕТОДИКА

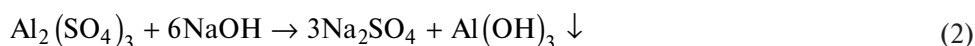
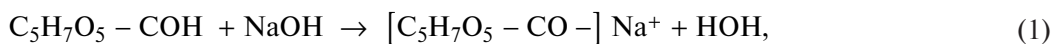
В работе использовали хитозан (ХЗ) *Bombyx mori* (В.М.) с молекулярной массой 140 кДа и степенью деацетилирования 84 %, полученный из куколок тутового шелкопряда [1]. Степени деацетилирования (СДА) исходного хитозана определялись методом кондуктометрического титрования в растворителе 0,1 н. соляной кислотой на приборе Metler Toledo (США). Хитозан был получен из куколок тутового шелкопряда путем деминерализации в присутствии 7 %-ной соляной кислоты и последующего деацетилирования в 50 %-ном растворе гидроксида натрия (х.ч.) при температуре 50 °С в течение 3 ч в опытно-промышленном цехе Института химии и физики полимеров АН РУз в соответствии с методикой [1].

Как известно, синтез аскорбата хитозана проводится на основе взаимодействия предварительно депротонированного хитозана с водным раствором аскорбиновой кислоты в течение 60 мин. При этом происходит нейтрализация аскорбиновой кислоты аминогруппами хитозана до рН 5–6 [15].

Реакцию образования наноаскорбата хитозана осуществляли методом ионотропного гелеобразования с варьированием соотношений компонентов, при этом проводили титрование реакционной системы раствором триполифосфата натрия, обеспечивающим стабилизацию размера наночастиц аскорбата хитозана. Реакцию проводили при температуре 25 °С, продолжительность синтеза составила 60 мин. В качестве стабилизатора и сшивающего агента использовали 0,5 %-ный водный раствор триполифосфата натрия (х.ч.). Полученные продукты высушивали с помощью лиофильной сушки в приборе Alpha Christ (Германия) при -48 °С в течение 5–6 ч [16].

Комплексообразование осуществляли путем смешивания ХЗ и АК (х.ч.) в молярном соотношении 4:1 при комнатной температуре. В процессе перемешивания рН реакционной системы повышался от 2,6 до 6,0–6,5 в течение 60 мин. После взаимодействия депротонированного хитозана с аскорбиновой кислотой добавляли сульфат алюминия (масса соли $Al_2(SO_4)_3 \cdot 12 H_2O$, х.ч., рассчитана по молярному соотношению), после чего смесь перемешивали до полного растворения соли в течение 30 мин. Последующее взаимодействие соли с сульфатом алюминия и аскорбатом хитозана сопровождалось титрованием в присутствии триполифосфата натрия ионотропным гелеобразованием. Конечные продукты реакции не растворимы в воде, поэтому их отделяли с помощью ультрацентрифугирования. Промывая конечные продукты водой, можно отделить непрореагировавшие кислоту и ионы сульфата алюминия. Конечные продукты высушивали в лиофильной сушке при -48 °С в течение 4–5 ч.

Количество аскорбиновой кислоты и ионов алюминия в составе наноаскорбат-хитозана определено методом щелочного титрования в присутствии индикатора фенолфталеина на основе уравнения:



Степень связывания хитозана с аскорбиновой кислотой и ионами сульфата алюминия оценивали по соотношению $(M_{AK})_{эксп.}/(M_{AK})_{расч.}$ и $(M_{Al})_{эксп.}/(M_{Al})_{расч.}$. Массу наноаскорбата хитозана с ионами

алюминия определяли аналитическим методом с использованием аналитических весов Faithful (Tianjin Faithful Bio Technology, Китай). Выход конечных продуктов оценивали по соотношению расчи-

танной массы к экспериментально полученной массе вещества. Соотношение компонентов рассчитывали на основе молярных концентраций исходных веществ.

pH реакционной системы определяли после завершения синтеза с помощью pH-метра Bante 210 (Bante instruments, Китай) при температуре 25 °С. Растворы аскорбиновой кислоты, титранта и триполифосфата натрия готовили аналитическим методом: сухую массу точно взвешивали на аналитических весах, растворяли в дистиллированной воде и тщательно перемешивали на магнитной мешалке до полного растворения.

ИК-спектры были получены на ИК-Фурье-спектрометре Inventio-S (Bruker, Германия) в диапазоне от 500 до 4000 см⁻¹.

Рентгенографические исследования хитозана и его производных проводили на рентгеновском дифрактометре Miniflex 600 (Rigaku, Япония) с использованием монокроматического CuK α -излучения с длиной волны $\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$ при 40 кВ и силе тока 15 мА. Образцы исследовались в виде порошка. Съемку проводили в интервале $2\theta = 2-70^\circ$. Для рентгеновского дифракционного анализа образцы наноаскорбата хитозана с ионами алюминия готовили в порошкообразной форме. Порошок получали путем измельчения синтезированных комплексов до однородного состояния, после чего образцы равномерно распределяли на подложке держателя для проведения измерений.

УФ-спектроскопические исследования проведены на приборе Specord 210 (Analytik Jena, Германия): спектральный диапазон измерения 190–400 нм, щель 1 нм, скорость сканирования 2 нм в с. Подготовку растворов образцов проводили в 2 %-ной уксусной кислоте.

Размер наночастиц НАХЗ : Al³⁺ изучали методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) на приборе Agilent 5500 (Agilent, США). В работе применяли кремниевые кантилеверы жесткостью 9,5 Н \times м⁻² с частотой 145 кГц. Подготовку образцов для АСМ-исследования проводили путем нанесения разбавленных водных растворов на стеклянную подложку с последующим высушиванием.

Определение размера частиц проводили методом динамического светорассеяния (ДСР) на приборе BeNano 90 (Bettersize Instruments, Китай). Образцы НАХЗ : Al³⁺ растворяли в 2 %-ном растворе уксусной кислоты до концентрации 0,5 % при комнатной температуре ($\approx 25^\circ\text{C}$) до полного растворения (24 ч). Перед измерением раствор фильтровали через фильтр с размером пор 10–20 мкм для удаления крупных частиц и предотвращения засорения кюветы ДСР. Раствор перенесли в кювету прибора BeNano 90 в объеме до 1 мл и проводили измерения, оценивая средний гидродинамический диаметр частиц, распределение частиц и полидисперсность (PDI), повторяя каждое измерение 3–5 раз для статистической

достоверности. Кроме того, на основе гидродинамического размера образцов оценивали молекулярную массу с использованием уравнения:

$$R_h = k M^\nu, \quad (3)$$

где M — молекулярная масса полимера (г/моль); k — эмпирический коэффициент, характерный для конкретного полимера и растворителя; ν — скалярный показатель (экспонента), зависящий от конформации цепи. Коэффициенты « k » и « ν » определяются на основе стандартов с известной молекулярной массой.

Для оценки фунгицидной активности НАХЗ : Al³⁺ в качестве объекта исследования использовался штамм гриба *Fusarium oxysporum*, полученный из уникального фонда «Коллекция микроорганизмов, имеющих промышленное значение» Института микробиологии АН РУз. Эксперименты проводились в лаборатории «Синтез перспективных полимеров» Института химии и физики полимеров АН РУз. Гриб культивировали в стерильных условиях и инкубировали на агаризованной питательной среде.

Оценка фунгицидной активности препаратов осуществлялась в соответствии со стандартом CLSI (Clinical and Laboratory Standards Institute) M100-30 методом равномерного высевания спор на поверхность агаризованной среды [14]. Эксперименты проводились в трех повторностях. Для определения антимикробных свойств исходных компонентов и образцов НАХЗ : Al³⁺ все измерения выполняли в четырех повторностях. Среднее значение рассчитывали по формуле (4):

где: $\sum x$ — сумма всех измеренных значений; n — количество измерений.

$$Mean = \sum x / n, \quad (4)$$

Стандартное отклонение (СО) определяли по формуле (5):

$$CO = \sqrt{\frac{(\sum (X - Mean))^2}{(n - 1)}}, \quad (5)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для усиления антимикробных свойств и расширения области применения наноаскорбата хитозана были изучены возможности образования его металлокомплексов с ионами алюминия. Изучено влияние соотношения исходных компонентов — хитозана, аскорбиновой кислоты и сульфата алюминия на содержание полученных комплексов наноаскорбат хитозана с ионами алюминия. Установлено, что увеличение содержания хитозана приводит к увеличению pH раствора и выхода конечных продуктов, что свидетельствует

об увеличении взаимодействия хитозана с аскорбиновой кислотой и ионами сульфата алюминия. В результате в реакционных системах снижалось количество свободной аскорбиновой кислоты и сульфата алюминия. Выявлено, что при соотношении компонентов ХЗ: АК: Al^{3+} – 4:1:0,5 обнаружи-

валась высокая степень связывания аскорбиновой кислоты и сульфата алюминия по сравнению с рассчитанным количеством компонентов, а также с увеличением содержания хитозана происходило увеличение выхода конечных продуктов реакции. Полученные результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1. Влияние условий синтеза на состав полученных образцов
Table 1. Effect of synthesis conditions on the composition of the obtained samples

№	Наименование образца	Содержание АК, %		%, $Al_2(SO_4)_3$		рН раствора	Выход, %
		расчетное	эксперимент	расчетное	эксперимент		
1	ХЗ:АК:Ал:ТПФNa (1:1:0,5:0,25)	25,0	10,2	33,0	9,30	4,2	42,5
2	ХЗ:АК:Ал:ТПФNa (2:1:0,5:0,25)	20,1	13,6	25,1	15,2	4,5	67,4
3	ХЗ:АК:Ал:ТПФNa (3:1:0,5:0,25)	16,7	14,2	20,2	14,7	5,1	78,5
4	ХЗ:АК:Ал:ТПФNa (4:1:0,5:0,25)	14,3	13,1	16,8	12,9	6,0	80,5
5	ХЗ:АК:Ал:ТПФNa (5:1:0,5:0,25)	12,5	10,7	14,5	11,0	6,3	80,3

Результаты показали, что с увеличением доли хитозана в составе реакционных систем происходило повышение рН раствора (с 4,2 до 6,3), что свидетельствовало о снижении содержания свободной аскорбиновой кислоты в системе. Следует отметить, что при соотношении компонентов ХЗ:АК:Ал:ТПФNa = 1:1:0,5:0,25 за счет низкого содержания сульфата алюминия и аскорбиновой кислоты в составе конечных продуктов значение рН раствора было значительно ниже. При соотношении компонентов ХЗ:АК:Ал³⁺– 4:1:0,5 устанавливалась более высокая степень связывания аскорбиновой кислоты по сравнению с теоретическим расчетом. Вероятно, в этом соотношении происходило максимальное насыщение аминогрупп хитозана аскорбиновой кислотой и сульфатом алюминия.

В ИК-спектре наночастиц (НЧ) НАХЗ с Al^{3+} присутствуют некоторые полосы поглощения, которые не встречаются в спектре исходного хитозана. Например, соответствующие полосы поглощения для эфирной связи исходного хитозана совмещались с полосами поглощения сульфатных групп алюминия сульфата. В диапазоне 1058 и 920 cm^{-1} , также обнаружены новые полосы поглощения в области 580–620 cm^{-1} , которые, может быть, обусловлены симметричными и асимметричными валентными колебаниями SO_4^{2-} , свидетельствующими об образовании связи в присутствии алюми-

ний сульфата. При изучении исходного сульфата алюминия выявлены полосы поглощения скоординированной воды при 3332, 3080 и 2515 cm^{-1} , также наблюдались очень прочные связи кристаллизационной воды, что подтверждалось полосами поглощения при 1684–1643 cm^{-1} (рис. 1, кривая 3). Указанные полосы поглощения совмещались с полосами поглощения ацетамидных групп исходного хитозана при 1632 cm^{-1} . Также при соотношении компонентов ХЗ:АК–1:1 с ионами алюминия были обнаружены новые полосы поглощения в области 1753 cm^{-1} , соответствующие карбонильным группам, расположенным в лактонном кольце аскорбиновой кислоты (рис. 1, кривая 1). Эти результаты подтвердили, что в процессе образования НАХЗ с Al^{3+} не происходило раскрытия лактонного кольца аскорбиновой кислоты.

В УФ-спектрах образцов НАХЗ:Ал³⁺ обнаружены широкие полосы поглощения в области длин волн 240–340 нм, что может быть связано с электронными переходами amino- и ацетамидных групп хитозана. Обнаружено смещение полосы поглощения в длинноволновую область из-за взаимодействия аминогруппы ХЗ с Р=О группой стабилизатора ТПФNa. Также с увеличением соотношения хитозана в УФ-спектрах наблюдалось увеличение интенсивности и батохромный сдвиг, связанные с увеличением количества неподеленной пары электронов за счет взаимодействия аминогрупп

исходного наноаскорбат-хитозана с полярными группами сульфата алюминия и стабилизатора (рис. 2).

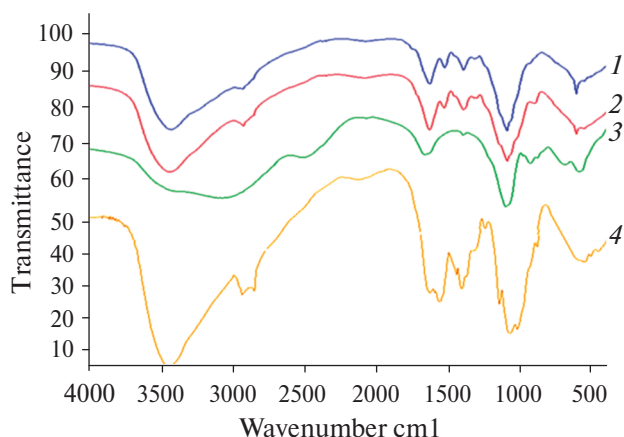


Рис. 1. ИК-спектры образцов наноаскорбата хитозана с ионами алюминия: 1 — НАХЗ : Al^{3+} при соотношении ХЗ : АК : Аl : ТПФNa = 1 : 1 : 0,5 : 0,25; 2 — НАХЗ: Al^{3+} при соотношении 5 : 1 : 0,5 : 0,25; 3 — $Al_2(SO_4) \times 18 H_2O$; 4 — Исходный ХЗ

Fig. 1. IR spectra of chitosan nanoascorbate samples with aluminum ions: 1, CSNA : Al^{3+} at the ratio CS : AA : Al : TPFNa = 1 : 1 : 0.5 : 0.25; 2, CSNA : Al^{3+} at a ratio of 5 : 1 : 0.5 : 0.25; 3, $Al_2(SO_4) \cdot 18H_2O$; 4, Initial CS

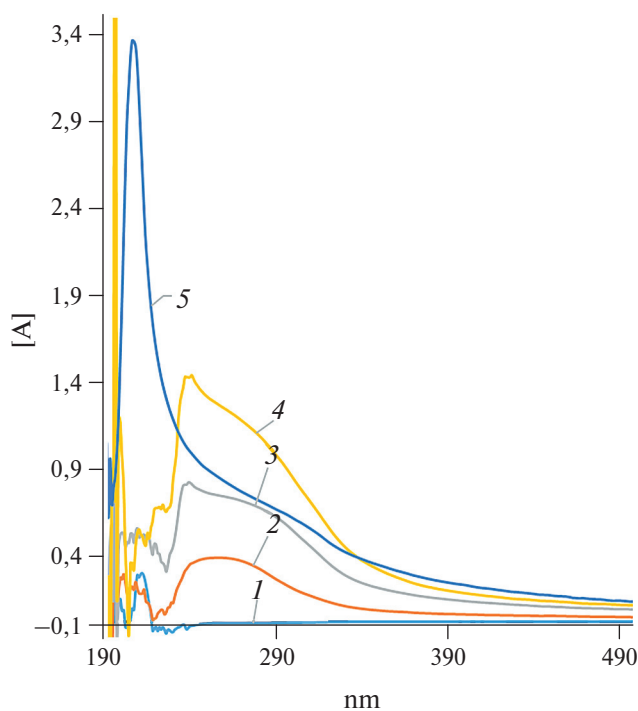


Рис. 2. УФ-спектры образцов: 1 — $Al_2(SO_4) \times 18 H_2O$; 2 — НАХЗ: Al^{3+} при соотношении ХЗ : АК : Аl : ТПФNa 1 : 1 : 0,5 : 0,25; 3 — 3 : 1 : 0,5 : 0,25; 4 — 5 : 1 : 0,5 : 0,25; 5 — ХЗ

Fig. 2. UV spectra of samples: 1, $Al_2(SO_4) \cdot 18H_2O$; 2, CSNA : Al^{3+} at the ratio of CS : AA : Al : TPFNa 1 : 1 : 0.5 : 0.25; 3, 3 : 1 : 0.5 : 0.25; 4, 5 : 1 : 0.5 : 0.25; 5, CS

Результаты исследований атомно-силовой микроскопии (АСМ). Результаты АСМ подтвердили, что в полученных образцах НАХЗ: Al^{3+} при соотношении компонентов НАХЗ : Аl — 4:1:0,5 формировались частицы от 350 нм до микронного размера с равномерным распределением по поверхности (рис. 3).

Полученные результаты подтвердили, что при соотношении НАХЗ:Аl = 4:0,5 наблюдался узкий диапазон распределения частиц по шероховатости с размерами 130–350 нм, согласно гистограмме (рис. 3).

Методом динамического светорассеяния (ДСР) определено распределение частиц и молекулярная масса 0,5%-ного раствора НАХЗ: Al^{3+} . Установлено, что полидисперсность 0,5%-ного раствора НАХЗ: Al^{3+} с соотношением компонентов ХЗ:АК:Аl:ТПФNa 4:1:0,5:0,25 равна 0,41, что указывало на полидисперсный характер полимера. При уменьшении доли хитозана в составе комплекса данный показатель снижался до 0,316. Определенное значение Z-average характеризует средний гидродинамический диаметр частиц, входящих в состав раствора НАХЗ: Al^{3+} . Так, для 0,5%-ного раствора с соотношением компонентов 4:1:0,5:0,25 все частицы имели размеры в диапазоне 310–1041 нм, средний гидродинамический диаметр составлял 611 нм, а максимальный пик на графике ДСР приходился на 530 нм, что свидетельствовало о преобладании частиц диаметром около 530 нм.

При уменьшении содержания хитозана размеры и распределение наночастиц смещались к меньшим величинам. Например, для раствора с соотношением компонентов 3:1:0,5:0,25 все частицы имели размеры в диапазоне 190–476 нм, средний гидродинамический диаметр составлял 384 нм, а максимальный пик — 289 нм. Следовательно, уменьшение количества хитозана в составе комплекса приводило к формированию более мелких наночастиц и сужению диапазона их распределения. Аналогично, для раствора с соотношением компонентов 2:1:0,5:0,25 все частицы находились в диапазоне 200–557 нм, средний гидродинамический диаметр составлял 358 нм, а молекулярная масса — 68,5 кДа. Для сравнения, молекулярная масса образца с соотношением 4:1:0,5:0,25 составляла 130 кДа, а для 3:1:0,5:0,25 — 74 кДа, то есть с уменьшением содержания хитозана в составе комплекса происходило снижение молекулярной массы НАХЗ с ионами алюминия. Полученные результаты представлены на рис. 4.

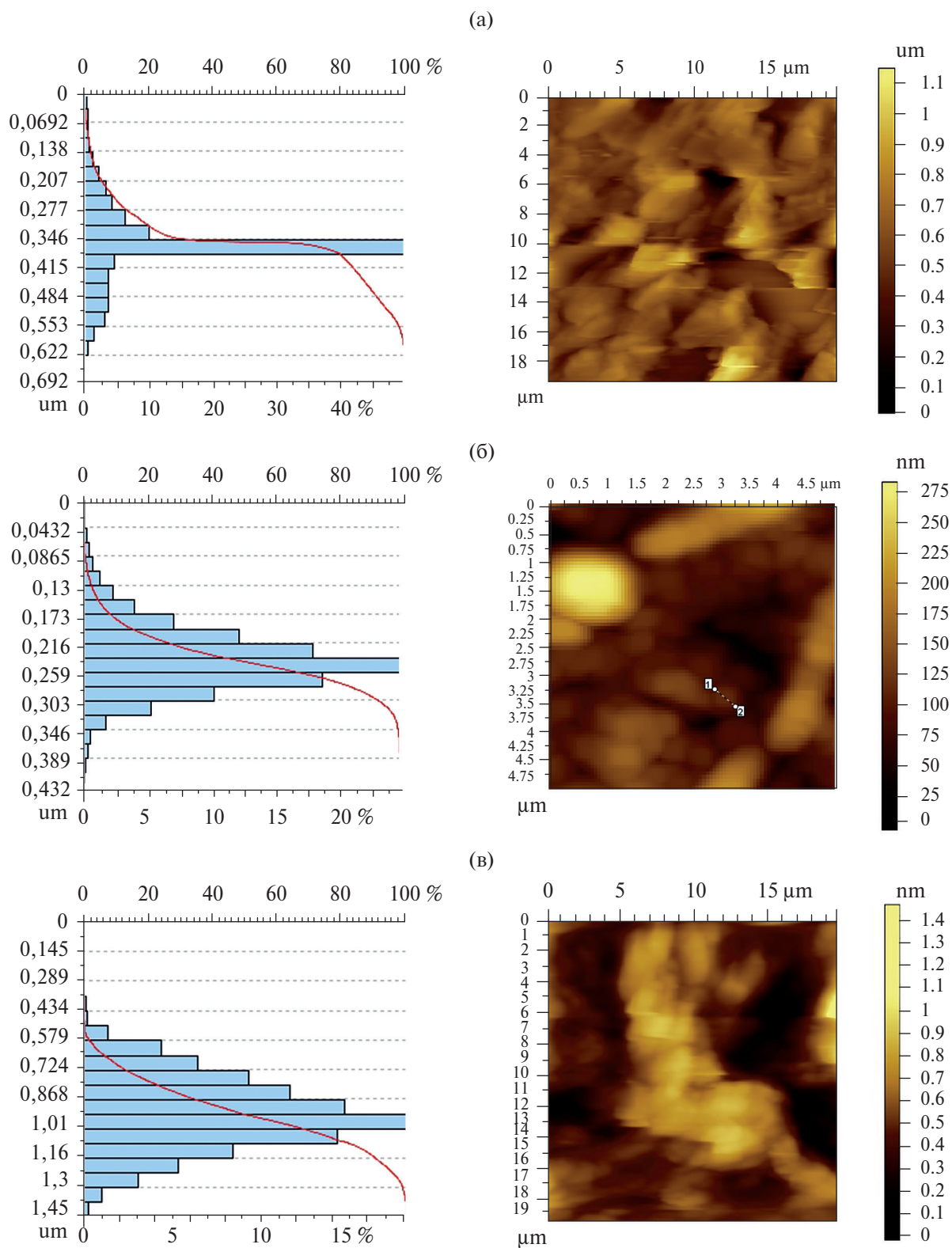


Рис. 3. Топография поверхности наночастиц NAX3:Al^{3+} в соотношении компонентов X3:AK:Al:ТПФNa : а — 2 : 1 : 0,5 : 0,25; б — 4 : 1 : 0,5 : 0,25; в — 5 : 1 : 0,5 : 0,25

Fig. 3. Surface topography of nanoparticles CSNA : Al^{3+} in the ratio of components $\text{CS : AA : Al : TPFNa}$: а — 2 : 1 : 0.5 : 0.25; б — 4 : 1 : 0.5 : 0.25; в — 5 : 1 : 0.5 : 0.25

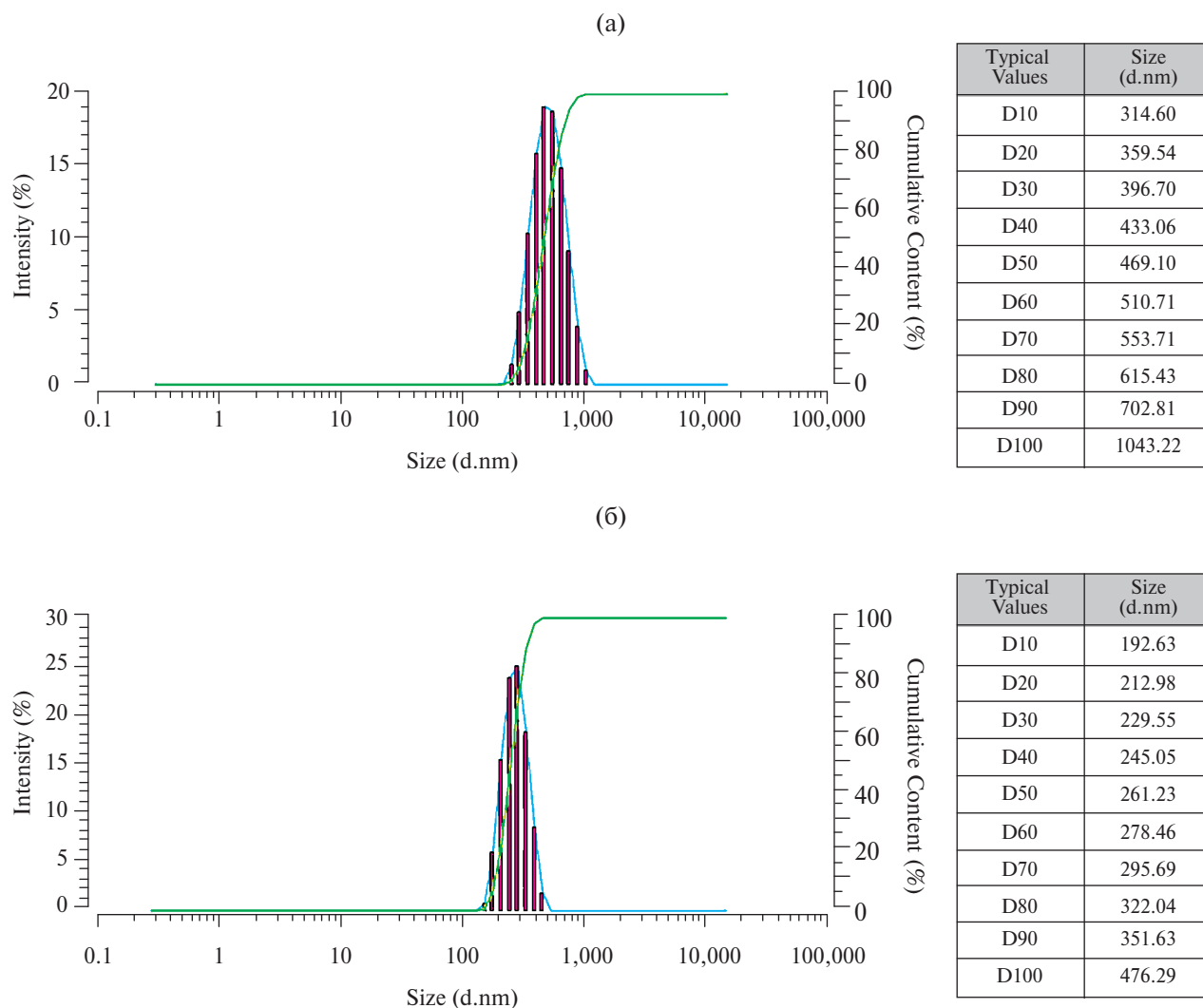


Рис. 4. Результаты ДСП-анализа: распределение частиц по размерам и молекулярная масса НАХЗ:Al³⁺ (0,5%-ный раствор) с соотношением компонентов ХЗ : АК : Al : ТПФNa — 4 : 1 : 0,5 : 0,25 (а) и ХЗ : АК : Al : ТПФNa — 3 : 1 : 0,5 : 0,25 (б)

Fig. 4. DLS analysis results: particle size distribution and molecular weight of CSNA : Al³⁺ (0.5% solution) at component ratios CS : AA : Al : TPPNa = 4 : 1 : 0.5 : 0.25 (a) and CS : AA : Al : TPPNa = 3 : 1 : 0.5 : 0.25 (b)

Также были проведены рентгеноструктурные исследования исходного хитозана и его нанопроизводных с аскорбиновой кислотой и сульфатом алюминия. Для исходного хитозана наблюдались характерные рефлексы кристаллической структуры ХЗ *Bombux mori* при 2θ 11,3° и 20,7°, связанные с межплоскостными расстояниями (100), (111) (рис. 5).

На дифрактограммах НАХЗ:Al³⁺ наблюдалось смещение кристаллического рефлекса от $2\theta \approx 11,3^\circ$ до 13° . Это объясняется взаимодействием сульфата алюминия с макромолекулами НАХЗ, которое приводит к уменьшению межплоскостного расстоя-

ния (100) (рис. 6). Также происходит смещение рефлекса (111) при $2\theta \approx 20^\circ$ в сторону меньших углов ($2\theta \approx 18,6^\circ$), что свидетельствует об увеличении межплоскостного расстояния. Это может быть связано с тем, что образование комплексов НАХЗ с ионами сульфата алюминия приводило к разрыву межмолекулярных водородных связей. На дифрактограммах НАХЗ:Al³⁺ не наблюдались кристаллические рефлексы аскорбиновой кислоты при $2\theta \approx 10,7, 17,8, 20,3, 25,7$ и $30,4^\circ$, соответствующие межплоскостным расстояниям (200), (210), (011), (002) и (302), что может объясняться образованием НЧ АХЗ с ионами сульфата алюминия.

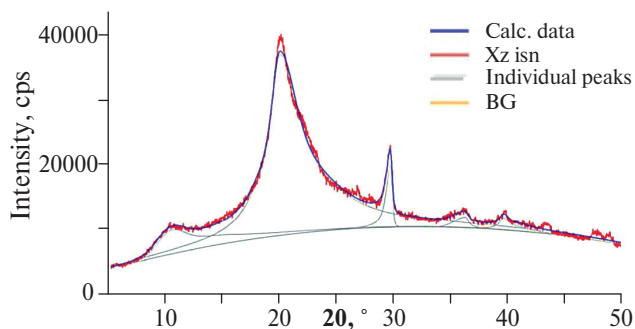


Рис. 5. Результаты PCA исходного хитозана
Fig. 5. Results of X-ray diffraction analysis of the initial chitosan

Полученные результаты PCA показали, что с увеличением содержания аскорбиновой кислоты и ионов алюминия происходило снижение интенсивности рефлексов в области $2\theta \approx 19-21^\circ$. Размер кристаллов NAX3:Al^{3+} в области $2\theta \approx 18,6-21^\circ$ увеличивался с увеличением доли хитозана в составе наноконплекса с $23,9 \text{ \AA}$ до $74,9 \text{ \AA}$, что свидетельствовало о расширении кристаллов по сравнению с исходным хитозаном. Рост размера кристаллов NAX3:Al^{3+} по сравнению с исходным хитозаном

может быть объяснен образованием химических связей между функциональными группами хитозана на боковых цепях макромолекулы и ионами сульфата алюминия. Полученные результаты представлены в табл. 2.

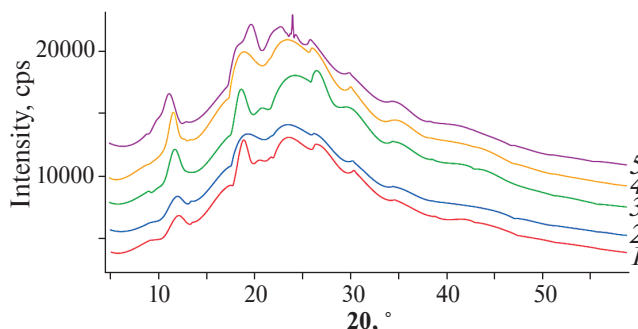


Рис. 6. Результаты PCA NAX3:Al^{3+} при соотношении компонентов X3 : АК : Al : ТПФNa: 1 – 1 : 1 : 0,5 : 0,25; 2 – 2 : 1 : 0,5 : 0,25; 3 – 3 : 1 : 0,5 : 0,25; 4 – 4 : 1 : 0,5 : 0,25; 5 – 5 : 1 : 0,5 : 0,25
Fig. 6. Results of the RSA of the CSNA : Al^{3+} with the ratio of components of the chemical reaction: AA : Al : TPFNa: 1, 1 : 1 : 0.5 : 0.25; 2, 2 : 1 : 0.5 : 0.25; 3, 3 : 1 : 0.5 : 0.25; 4, 4 : 1 : 0.5 : 0.25; 5, 5 : 1 : 0.5 : 0.25


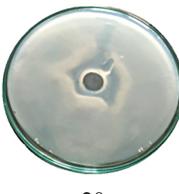

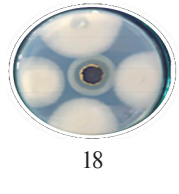

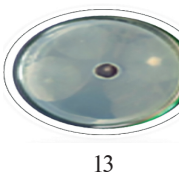


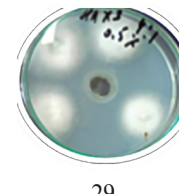

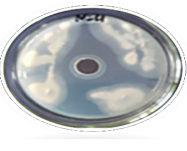
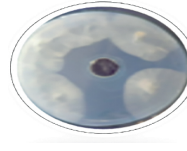
Таблица 2. Результаты PCA NAX3 с ионами алюминия и исходного хитозана
Table 2. XRD results of CSNA with aluminum ions and the initial chitosan

X3:AK:Al 4:1:0,5				Исходный хитозан			
$2\theta, ^\circ$	d, \AA	Size, \AA	Height, cps	$2\theta, ^\circ$	d, \AA	Size, \AA	Height, cps
11,6	7,59	77,0	2100	10,60	8,34	21,7	16405
18,68	4,75	74,9	2741	20,00	4,435	23,9	119312
26,9	3,31	105,1	829	29,60	3,014	138	5806
				39,46	2,282	68	3224
X3:AK:Al 2:1:0,5				X3:AK:Al 3:1:0,5			
2θ	d, \AA	Size, \AA	Height, cps	2θ	d, \AA	Size, \AA	Height, cps
11,7	7,55	72,4	958	11,8	7,48	62,2	1832
18,6	4,76	53,2	1425	18,6	4,75	72,2	2215
26,9	3,36	105,3	287	27,0	3,30	45,3	1308

Противомикробные свойства NAX3 с ионами алюминия и полимерной препаративной формой NAX3 . Полученные результаты показали, что NAX3 Bombyx mori с ионами алюминия при соотношении компонентов 4:1:0,5 создавал большую зону подавления культуры *Fusarium oxysporum* по сравнению с исходным хитозаном и аскорбиновой кислотой. Полученные результаты представлены в табл. 4. В ходе эксперимента в

чашки Петри, засеянные суспензией 4×10^5 спор, были добавлены исследуемые растворы, и наблюдали за развитием мицелия гриба в течение 48–72 ч. вокруг дисков. Установлено, что с развитием мицелия гриба препарат NAX3:Al^{3+} в соотношении 4:1:0,5 образует зоны диаметром 40–41,5 мм, подтверждая высокую фунгицидную активность. Полученные результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3. Влияние растворов НАХЗ:Al³⁺ на подавление роста возбудителей *Fusarium oxysporum***Table 3.** Effect of CSNA:Al³⁺ solutions on the inhibition of *Fusarium oxysporum* growth

№	Растворы	Зона ингибирования, мм			Δd, mm
		1 повторение	2 повторения	3 повторения	
1	ХЗ исх. — 0,5 %	 25	 20	 26	23 ± 2
2	АК — 0,5 %	 18	 12	 13	14 ± 2
3	НАХЗ (ХЗ:АК— 4:1) — 0,5 %	 24	 25	 29	26 ± 2
4	НАХЗ:Al ³⁺ (ХЗ:АК:Al— 4:1:0,5) — 0,5 %	 36	 42	 42	40 ± 2

Результаты показали, что НАХЗ с ионами алюминия при соотношении компонентов ХЗ : АК : Al : ТПФNa 4 : 1 : 0,5 : 0,25 создавал большую стерильную зону по сравнению с исходными компонентами.

Как известно, хитозан, полученный из различных источников, в зависимости от молекулярной массы и степени деацетилирования, проявляет различную фунгицидную активность. Согласно литературным данным, минимальная ингибирующая концентрация (МИК) хитозана в отношении грибов семейства *Fusarium* находится в диапазоне 0,5–1,2 мг/мл, что соответствует 0,05–0,12 % [1, 17].

При изучении антимикробной активности НАХЗ в зависимости от концентрации раствора также была выявлена биологическая активность производного хитозана в интервале концентраций 0,1–0,5 % соответственно [16].

С целью определения минимальной ингибирующей концентрации препарата НАХЗ:Al³⁺ были проведены исследования при различных концентрациях. Для тестирования фунгицидной активности использовали растворы с концентрациями 0,05–0,5 %. Полученные результаты представлены в табл. 4.

Таблица 4. Активность препарата НАХЗ:Al³⁺ при различных концентрациях

Table 4. Activity of the CSNA:Al³⁺ preparation at different concentrations

№	Вариант	Диаметр зоны подавления роста (мм)	Повторы			Фунгицидная активность, (среднее значение ± СД) 72 ч.
			I	II	III	
1	НАХЗ:Al ³⁺ 4:1:0,5:0,25 — 0,5 %	10	30	28	30	29,3 ± 1,5
2	НАХЗ:Al ³⁺ 4:1:0,5:0,25 — 0,1 %	10	15	20	20	18,3 ± 2,9
3	НАХЗ:Al ³⁺ 4:1:0,5:0,25 — 0,05 %	10	15	-	-	15,0 ± 0,0
4	НАХЗ:Al ³⁺ 4:1:0,5:0,25 — 0,25 %	10	-	-	-	—

Наибольшая зона подавления роста была зарегистрирована при концентрации 0,5 % — 29,3 мм. При концентрации 0,05 % также наблюдали воздействие, но значительно более слабое, зона подавления роста — 15 мм, что позволило предположить, что МИК ≤ 0,05 %. С увеличением концентрации наблюдалось повышение фунгицидной активности растворов (рис. 7).

Для препаратов НАХЗ:Al³⁺ наблюдалась прямая зависимость активности от концентрации. Выявлено, что эффект наблюдался даже при очень низкой концентрации (0,05 %), что подтверждает высокую биологическую активность данного препарата. Эта концентрация была оценена как МИК, которая позволяет использовать небольшое количество препарата для микробиологического контроля.

Таким образом, был синтезирован НАХЗ *Bombyx mori* с ионами алюминия с различными

соотношениями исходных компонентов. Определены содержание аскорбиновой кислоты и ионов алюминия аналитическим титрованием и инструментальными методами, установлены выход и степень связывания с хитозаном. Полученные результаты подтвердили, что НАХЗ *Bombyx mori* с ионами алюминия при соотношении компонентов 4:1:0,5 обладал наибольшей зоной подавления роста культуры *Fusarium oxysporum* по сравнению с исходным хитозаном и кислотами.

Отметим, что с добавлением ионов алюминия к НАХЗ происходило значительное возрастание антимикробной активности свойств по сравнению с НАХЗ. Изучены структурные характеристики исходных компонентов и НЧ НАХЗ с ионами алюминия различными физическими и физико-химическими методами.

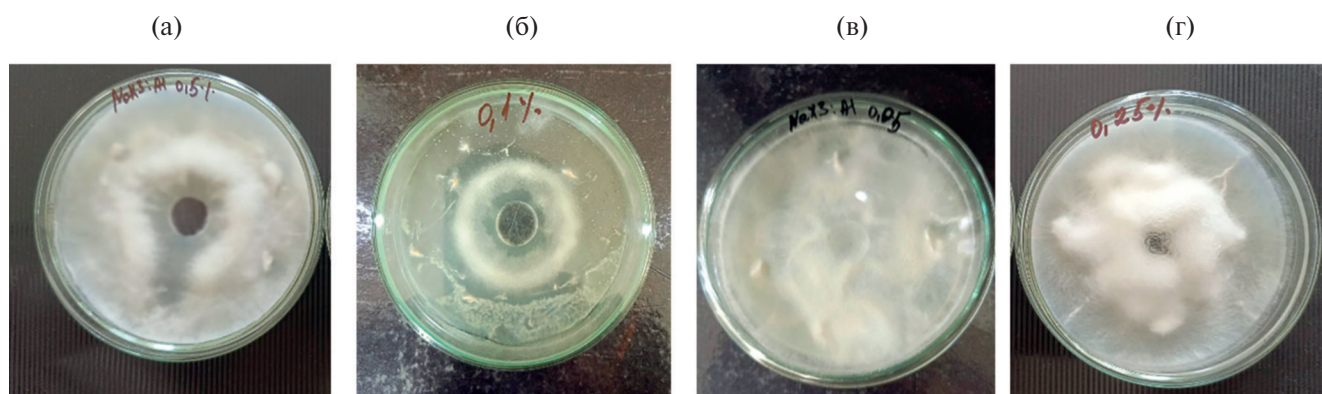


Рис. 7. Фунгицидная активность комплексов НАХЗ:Al при соотношении компонентов ХЗ:АК:Al:ТПФNa = 4:1:0,5:0,25 в концентрациях: 0,5 % (а); 0,1 % (б); 0,05 % (в); 0,25 % (г)

Fig. 7. Fungicidal activity of CSNA:Al complexes at the component ratio ChS : AA : Al : TPPNa = 4 : 1 : 0.5 : 0.25 at concentrations: 0.5% (a); 0.1% (б); 0.05% (в); 0.25% (г)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рашидова С.Ш., Милушева Р.Ю. Хитин и хитозан *Bombyx mori*: синтез, свойства и применение. Ташкент: Фан, 2009. С. 15–17.
2. Рашидова С.Ш., Воропаева Н.Л., Милушева Р.Ю., Ахымбетова Г., Ахмедова Х., Соловей Д.И., Рубан И.Н. Хитозан из куколок тутового шелкопряда – перспективный источник получения росторегуляторов для сельскохозяйственных культур // VIII Межд. Конфер. «Современные перспективы в исследовании хитина и хитозана» (РосХит 2006). Казань, 2006. С. 353–357.
3. Рашидова С.Ш., Рузиев Ф.И., Вохидова Н.Р., Кlicheva O.B., Бекчанов И.К. Патент РУз. 2019. IAP 05849.
4. Pirniyazov K.K., Milusheva R. Yu., and Rashidova S.Sh. Production and biological activity of chitosan nanoascorbate // Ineos Open. 2023. V. 6. № 6. P. 156–162. <https://doi.org/10.32931/io2326r> (WOS)
5. Pirniyazov K.K., Tixonov V.E., Rashidova S.Sh. Oligochitosan and Oligochitosan Ascorbat: Preparation and Properties // Int. J. Mod. Agric. 2021. V. 10. № 2. P. 1244–1262.
6. Пирниязов К.К., Рашидова С.Ш. Наноаскорбат хитозана *Bombyx mori*: синтез, структура и свойства. Ташкент: Издательство Fan ziyosi. 2022. 177 с.
7. Скупневский С.В., Иванов Д.В. Воздействие алюминия и его соединений на функции органов и тканей человека // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2023. № 1. С. 110–124. <https://doi.org/10.24412/2075-4094-2023-1-3-7>
8. Amadi L.O. In vitro Effect of Alum on Microbes Associated with Foliar Phytoplasma Disease of Noni // Acta Scientific Microbiology. 2020. V. 3. № 4. P. 109–117. <https://doi.org/10.31080/ASMI.2020.03.0553>
9. Zhang Z., Wang X., Liu T., Liu L., Yu Ch., Tian Y. et al. Al³⁺coordinated chitosan hydrogel with ultrahigh water absorbency and environmental response // Materials & Design. 2022. V. 214. P. 110390. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2022.110390>
10. Abdel-Naby A.S., Nabil S., Aldulajjan S., Ababutain I.M., Alghamdi A.L., Almubayedh S. et al. Synthesis, Characterization of Chitosan-Aluminum Oxide Nanocomposite for Green Synthesis of Annulated Imidazopyrazol Thione Derivatives // Polymers. 2021. V. 13. № 7. P. 1160. <https://doi.org/10.3390/polym13071160>
11. Ghosh A., Jeet Singh Ch., Verma Ch., Srivastava M., Gupta B., Mukhopadhyay S. Fabrication of crude chitosan-based biocomposite films enhanced with aluminum oxide nanofillers // New J. Chem. 2025. V. 49. P. 19196–19205. <https://doi.org/10.1039/D5NJ01962A>
12. Yang Yong-li, Zhao Sheng-guang, Song Chun-guang, Gao Ming. The Adsorption of Cu²⁺ onto Chitosan-Aluminium Oxide Composite Material // Adv. Mat. Res. 2014. V. 1015. P. 643–646. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1015.643>
13. Masheane M., Nthunya L., Malinga S., Nxumalo E., Barnard T., Mhlanga S. Antimicrobial Properties of Chitosan-Alumina/f-MWCNT Nanocomposites // Journal of Nanotechnology. V. 2016. Article ID 5404529. <https://doi.org/10.1155/2016/5404529>
14. CLSI. Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing: 30th Ed. CLSI document M100. – Wayne, P.A.: Clinical and Laboratory Standards Institute. 2020. P. 296.
15. Pirniyazov K.K., Rashidova S.Sh. Study of the kinetics of *Bombyx mori* chitosan ascorbate formation // Bulletin of the Karaganda University Chemistry Series. 2020. № 3(99). P. 38–43. <https://doi.org/10.31489/2020Ch3/38-43>
16. Пирниязов К.К., Асракулова Д.И., Рашидова С.Ш. Synthesis and antimicrobial properties of chitosan nanoascorbate *Bombyx mori* // Вестник Московского Университета. Серия химия. 2024. № 5. Т 65. С. 424–430. <https://doi.org/10.55959/MSU0579-9384-2-2024-65-5-424-430>
17. Ing L.Y., Zin N.M., Sarwar A., Katas H. Antifungal Activity of Chitosan Nanoparticles and Correlation with Their Physical Properties // Int. J. Biomater. 2012. 2012:632698. <https://doi.org/10.1155/2012/632698>

RERERENCES

1. Rashidova S.Sh., Milusheva R.Yu. Chitin and Chitosan of *Bombyx mori*: Synthesis, Properties and Application. Tashkent: Fan, 2009, pp. 15–17.
2. Rashidova S.Sh., Voropaeva N.L., Milusheva R.Yu., Akhymbetova G., Akhmedova Kh., Solovey D.I., Ruban I.N. Chitosan derived from pupae of the mulberry silkworm is a promising source for the production of growth regulators for agricultural crops. Modern Perspectives in Chitin and Chitosan Research. VIII Int. Conf. Kazan, 2006, P. 353–357.
3. Rashidova S.Sh., Ruziev F.I., Vokhidova N.R., Klicheva O.B., Bekchanov I.K. Patent of the Republic of Uzbekistan No. IAP 05849, 2019.
4. Pirniyazov K.K., Milusheva R.Yu., Rashidova S.Sh. Production and biological activity of chitosan nanoascorbate. INEOS Open, 2023, vol. 6. no. 6., P. 156–162. <https://doi.org/10.32931/io2326r> (WOS)

5. Pirniyazov K.K., Tixonov V.E., Rashidova S.Sh. Oligochitosan and Oligochitosan Ascorbat: Preparation and Properties. *Int. J. Mod. Agric.*, 2021, vol. 10. no. 2, P. 1244–1262.
6. Pirniyazov K.K., Rashidova S.Sh. Chitosan Nanoascorbate of *Bombyx mori*: Synthesis, Structure and Properties. Tashkent: *Fan Ziyosi Publishing House*, 2022, 177 p.
7. Skupnevskii S.V., Ivanov D.V. Effects of aluminum and its compounds on the functions of human organs and tissues. *Bulletin of New Medical Technologies* (Electronic Edition), 2023, no. 1, pp. 110–124. <https://doi.org/10.24412/2075-4094-2023-1-3-7>
8. Amadi L.O. In vitro Effect of Alum on Microbes Associated with Foliar Phytoplasma Disease of Noni. *Acta Scientific Microbiology*, 2020, vol. 3, no. 4, P. 109–117. <https://doi.org/10.31080/ASMI.2020.03.0553>
9. Zhang Z., Wang X., Liu T., Liu L., Yu Ch., Tian Y. et al. Al³⁺ coordinated chitosan hydrogel with ultrahigh water absorbency and environmental response. *Materials & Design*, 2022, vol. 214, P. 110390. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2022.110390>
10. Abdel-Naby A.S., Nabil S., Aldulajjan S., Ababutain I.M., Alghamdi A.L., Almubayedh S. et al. Synthesis, Characterization of Chitosan-Aluminum Oxide Nanocomposite for Green Synthesis of Annulated Imidazopyrazol Thione Derivatives. *Polymers*, 2021, vol. 13. no. 7, P. 1160. <https://doi.org/10.3390/polym13071160>
11. Ghosh A., Jeet Singh Ch., Verma Ch., Srivastava M., Gupta B., Mukhopadhyay S. Fabrication of crude chitosan-based biocomposite films enhanced with aluminum oxide nanofillers. *New J. Chem.*, 2025, vol. 49, P. 19196–19205. <https://doi.org/10.1039/D5NJ01962A>
12. Yang Yong-li, Zhao Sheng-guang, Song Chun-guang, Gao Ming. The Adsorption of Cu²⁺ onto Chitosan-Aluminium Oxide Composite Material. *Adv. Mat. Res.*, 2014, vol. 1015, P. 643–646. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1015.643>
13. Masheane M., Nthunya L., Malinga S., Nxumalo E., Barnard T., Mhlanga S. Antimicrobial Properties of Chitosan-Alumina/f-MWCNT Nanocomposites. *Journal of Nanotechnology*, vol. 2016, Article ID 5404529, <https://doi.org/10.1155/2016/5404529>
14. CLSI. Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing: 30th Ed. CLSI document M100. – Wayne, P.A.: *Clinical and Laboratory Standards Institute*, 2020, P. 296.
15. Pirniyazov K.K., Rashidova S.Sh. Study of the kinetics of Bombyx mori chitosan ascorbate formation. *Bulletin of the Karaganda University Chemistry Series*, 2020, no. 3(99), P. 38–43. <https://doi.org/10.31489/2020Ch3/38-43>
16. Pirniyazov K.K., Asrakulova D.I., Rashidov, S.S. Synthesis and Antimicrobial Properties of Chitosan Nanoascorbate of *Bombyx mori*. *Moscow Univ. Chem. Bull.*, 2024, vol. 5, no. 65, P. 424–430. <https://doi.org/10.55959/MSU0579-9384-2-2024-65-5-424-430>
17. Ing L.Y., Zin N.M., Sarwar A., Katas H. Antifungal Activity of Chitosan Nanoparticles and Correlation with Their Physical Properties. *Int. J. Biomater.*, 2012, 2012:632698. <https://doi.org/10.1155/2012/632698>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Пирниязов Кудрат Кадамбаевич — PhD, с.н.с.,
Институт химии и физики полимеров АН РУз,
Ташкент, Узбекистан
E-mail: qudratpirniyazov8875@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0005-7014-7686>

Асракулова Дилором Ибрагимовна — мл. науч.
сотр., Институт химии и физики полимеров АН
РУз, Ташкент, Узбекистан
E-mail: a.dilorom@inbox.ru
<https://orcid.org/0009-0006-7927-8516>

Рашидова Сайёра Шарафовна — заведующий ла-
бораторией «Синтеза перспективных полимеров»
Института химии и физики полимеров АН РУз,
Ташкент, Узбекистан
E-mail: polymer@academy.uz
<https://orcid.org/0000-0003-3104-6004>

ABOUT THE AUTHORS

Pirniyazov, Kudrat K. — PhD, Senior Research Officer,
Institute of Chemistry and Physics of Polymers of the
Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan,
Tashkent, Republic of Uzbekistan
E-mail: qudratpirniyazov8875@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0005-7014-7686>

Asrakulova, Dilorom I. — Junior Researcher, Institute of
Polymer Chemistry and Physics, Academy of Sciences
of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Republic of
Uzbekistan
E-mail: a.dilorom@inbox.ru
<https://orcid.org/0009-0006-7927-8516>

Rashidova, Sayyora Sh. — Doctor of chemical Sciences,
Professor, Academician, Director of the Institute of
Chemistry and Physics of Polymers of the Academy
of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent,
Republic of Uzbekistan
E-mail: polymer@academy.uz
<https://orcid.org/0000-0003-3104-6004>

Поступила в редакцию 23.06.2025
После доработки 04.12.2025
Принята к публикации 05.12.2025

Received June 23, 2025
Revised December 04, 2025
Accepted December 05, 2025