Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2026-3-424-432 Оригинальная статья/Research article
УДК 640 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Разработка полимерного материала на основе метилцеллюлозы с добавлением экстракта Цетрарии Исландской

Ксения С. Шорохова [1] shorokhovaksenya@gmail.com 0009-0007-8735-2701
Анастасия А. Денисова [1] denisovaa2007@mail.ru 0009-0005-7081-5576
Али Я. Альхаир [1] alkhaira@mgupp.ru 0000-0002-9518-7781

1 Российский Биотехнологический Университет (РОСБИОТЕХ), Волоколамское шоссе 11, Москва, 125080, Россия

Аннотация. Разработка биоразлагаемых материалов с природными добавками имеет важное экологическое значение в условиях современного загрязнения. В рамках данного исследования были получены полимерные материалы на основе натурального полимера (метилцеллюлозы) с добавлением природного антимикробного компонента — экстракта исландского мха. Целью работы является разработка полимерных материалов на основе метилцеллюлозы с добавлением антибактериального экстракта исландского мха для применения в пищевой промышленности и медицине. В данной работе экстракт исландского мха готовили при помощи экстрактора Сокслета, пленку на основе метилцеллюлозы готовили путем смешивания исходных реагентов с введением экстракта цетрарии исландской различной концентрации. Определяли антимикробные свойства полученных плёнок диско-диффузионным методом по отношению к *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, *Candida albicans*, *Aspergillus niger*. Проведен тест на определение физико-механических свойств материала и материал был исследован при помощи микроскопа. В результате исследований установлено, что разработанный материал проявляет антимикробную активность против *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis* и не проявляет антимикробных свойств против *Candida albicans* и *Aspergillus niger*. Зависимость механических свойств от концентрации экстракта оказалась немонотонной. Наибольшая прочность (22,68 МПа) зафиксирована при 0,5% добавки. Увеличение концентрации до 3% приводит к падению прочности до 19,31 МПа, тогда как относительное удлинение в этом случае достигает 39,21%. Толщина плёнок при этом возрастает с 260 до 320 мкм. При микроскопическом исследовании с повышением доли экстракта заметно увеличение числа зелёных включений, их контуры становятся более чёткими. Благодаря биоразлагаемости и антимикробной активности разработанный материал может быть востребован в пищевой отрасли для сокращения пластиковых отходов и увеличения сроки годности. В медицине его свойства перспективны для создания плёнок и покрытий, препятствующих бактериальному размножению.

Ключевые слова: Пленка, метилцеллюлоза, экстракт, антибактериальные свойства, диско-диффузионный тест, физико-механические свойства.

Development of a polymeric material based on methyl cellulose with the addition of Cetraria Icelandica extract

Ksenya S. Shorokhova [1] shorokhovaksenya@gmail.com 0009-0007-8735-2701
Anastasia A. Denisova [1] denisovaa2007@mail.ru 0009-0005-7081-5576
Alkhair Y. Ali [1] alkhaira@mgupp.ru 0000-0002-9518-7781

1 Russian Biotechnological University,Volokolamsk highway 11, Moscow, 125080, Russia

Abstract. The development of biodegradable materials with natural additives is of great environmental importance in today's polluted environment. In this study, polymeric materials based on a natural polymer (methylcellulose) with the addition of a natural antimicrobial component—Icelandic moss extract—were obtained. The aim of this work is to develop polymeric materials based on methylcellulose with the addition of the antibacterial Icelandic moss extract for use in the food and medical industries. In this study, Iceland moss extract was prepared using a Soxhlet extractor, and methylcellulose-based film was obtained by mixing the starting reagents with the addition of Cetraria islandica extract at different concentrations. The antimicrobial properties of the resulting films were determined using the disk diffusion method against *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, *Candida albicans*, and *Aspergillus niger*. A test was conducted to determine the physical and mechanical properties of the material, and the material was examined using a microscope. The studies revealed that the developed material exhibits antimicrobial activity against *Escherichia coli* and *Bacillus subtilis*, but does not exhibit antimicrobial properties against *Candida albicans* and *Aspergillus niger*. The dependence of mechanical properties on the extract concentration was non-monotonic. The highest strength (22.68 MPa) was recorded with 0.5% additive. Increasing the concentration to 3% leads to a drop in strength to 19.31 MPa, while the relative elongation in this case reaches 39.21%. The film thickness increases from 260 to 320 μm. Microscopic examination reveals an increase in the number of green inclusions with a clearer outline as the proportion of extract increases. Due to its biodegradability and antimicrobial activity, the developed material can be used in the food industry to reduce plastic waste and increase shelf life. In medicine, its properties are promising for the creation of films and coatings that prevent bacterial growth.

Keywords: Film, methylcellulose, extract, antibacterial properties, disk-diffusion test, physical and mechanical properties.

Для цитирования
Шорохова К.С., Денисова А.А., Альхаир А.Я. Разработка полимерного материала на основе метилцеллюлозы с добавлением экстракта Цетрарии Исландской // Вестник ВГУИТ. 2026. Т. 88. № 3. С. 424–432. doi:10.20914/2310-1202-2026-3-424-432

For citation
Shorokhova K.S., Denisova A.A., Alkhair A.Y. Development of a polymeric material based on methyl cellulose with the addition of Cetraria Icelandica extract. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2026. vol. 88. no. 3. pp. 424–432. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2026-3-424-432

© 2026, Шорохова К.С.и др. / Shorokhova K.S. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Сейчас активно разрабатывают полимерные материалы с антимикробными свойствами. Их используют в пищевой промышленности – чтобы дольше хранить продукты и меньше применять синтетические полимеры, и в медицине – для повязок, покрытий и плёнок, которые не дают бактериям размножаться [1]. Важное преимущество полимерных пленок, содержащих природные антимикробные агенты заключается в том, что они сохраняют все базовые характеристики обычной полиэтиленовой плёнки (прочность, гибкость, доступность), дополняя их защитным антимикробным действием [2]. Особый интерес вызывают полимеры из возобновляемого сырья: они разлагаются в природе и безопасны для экологии [1, 3].

Среди таких полимеров выделяют метилцеллюлозу – она хорошо совмещается с разными добавками, даёт прочные и гибкие плёнки, растворяется в воде, что упрощает переработку, и часто работает как загуститель, эмульгатор или плёнкообразователь [4, 5].

Чтобы придать метилцеллюлозным плёнкам антимикробные свойства, в их состав вводят биологически активные добавки. В качестве одной из таких добавок можно использовать экстракт исландского мха (Cetraria islandica) – в нём содержатся лишайниковые кислоты, в том числе усниновая кислота, для которой ранее была подтверждена антибактериальная активность [6]. Получаемые таким образом композиты вписываются в современное направление разработки функциональных покрытий на основе биополимеров [7].

Пленки на основе натуральных полимеров всегда использовались в качестве идеальных матриц для введения антибактериальных добавок. Однако главным недостатком природных полимерных материалов является высокая растворимость в воде. Благодаря содержанию липофильных компонентов (в том числе лишайниковых кислот) в составе экстракта исландского мха, включение данной добавки повышает гидрофобные свойства природных полимерных материалов [3].

Проведенные исследования подтверждают, что Cetraria islandica (CI) обладает антимикробными свойствами против грамположительных и грамотрицательных бактерий, грибов, простейших и вирусов [8, 9]. Спектрофотометрические данные, полученные Ахатаевой и коллегами, показывают, что сухое вещество цетрарии исландской на 70–80% состоит из углеводов. Основная доля приходится на полисахариды лихенин и изолихенин – до 64 и 10% соответственно. Кроме того, в слоевище присутствуют моносахариды (около 13%), лишайниковые кислоты (2–3%), а также микроэлементы (железо, медь, марганец, титан, никель, хром, бор) и витамины – группы В, А, аскорбиновая и фолиевая кислоты [10]. Антимикробные свойства исландского мха связаны с наличием в составе лишайниковых кислот, в частности усниновой кислоты [11].

В народной и официальной медицине исландский мох используют в основном при заболеваниях дыхательной системы, включая туберкулёз [12].

Эффективность цетрарии исландской подтверждена клиническими наблюдениями. В работе C. Kempe с соавторами показано, что препараты на её основе уменьшают сухость и раздражение слизистой рта после септопластики. В исследовании M. Hecker с участием 3143 детей 4–12 лет с сухим кашлем и раздражением горла на фоне ОРВИ пастилки с экстрактом лишайника помогли снять симптомы у 90% пациентов в течение 7 дней [13].

Цетрарию исландскую применяют в пищевых пенных системах на основе желатина с добавлением отвара на основе исландского мха. Их используют при смешивании с другими ингредиентами продуктов лечебно-профилактического назначения для уменьшения их плотности и густоты [14].

Исландский мох (Cetraria islandica) обладает выраженной антиоксидантной и антимикробной активностью, что делает его перспективным компонентом для использования в косметологии. Благодаря содержанию биологически активных веществ экстракт этого лишайника может применяться в составе косметических средств для защиты кожи от преждевременного старения и борьбы с воспалительными процессами [15].

В состав цетрарии исландской входит усниновая кислота (УК), которая проявляет антимикробные свойства против широкого спектра микроорганизмов, главным образом против грамположительных бактерий, а также некоторых грамотрицательных [16].

Ключевым механизмом действия усниновой кислоты является способность нарушать энергетический баланс бактериальной клетки. Для переноса протонов через цитоплазматическую мембрану УК образует комплексы с ионами кальция, таким образом разрушая разность зарядов клеточной мембраны микроорганизма (электрохимический градиент), что в конечном итоге приводит к гибели клетки [17].

Помимо этого, усниновая кислота участвует в подавлении внутриклеточных процессов, таких как: синтез ДНК, РНК, а также снижает активность мембраносвязанных ферментов и экспрессию белков-транспортеров [18].

Доказано, что важную роль в реализации антибактериальных свойств усниновой кислоты

играют три гидроксильные группы. При изменении хотя бы одной гидроксильной группы антимикробная активность УК снижается, приводя к потере способности ингибировать рост бактерий, в том числе Bacillus subtilis [17].

Усниновая кислота перспективна как антимикробный агент: она действует и на грамположительные, и на грамотрицательные бактерии [19]. Включение её в полимерные матрицы, например в альгинат-хитозановые аэрогели, обеспечивает контролируемое высвобождение и стабильную активность материала. Аналогичный подход применим и к другим природным полимерам, включая метилцеллюлозу.

Материалы и методы

Для получения полимерных образцов были использованы следующие материалы: метилцеллюлоза (Россия, ООО «Пищевые биотехнологии»); глицерин (Россия, ООО «Глицерин Солюшен»); гексан (Россия, НПО «Реактивы ОСЧ»); исландский мох (Цетрария) (Россия, ИП Чулюков А.В.); питательная среда «Сабуро» (состав среды (1000 мл): агар – 20 г, пептон – 10 г, глюкоза – 40 г); штаммы микроорганизмов: *Escherichia coli* – кишечная палочка (грамотрицательные палочковидные бактерии); *Bacillus subtilis* – сенная палочка (грамположительные бактерии); *Candida albicans* – дрожжеподобный гриб, и *Aspergillus niger* – плесневый гриб.

В ходе исследования было использовано следующее оборудование: экстрактор Сокслета, термошкаф, стерилизатор паровой DGM-200, термостат суховоздушный ТС-1/80 СПУ, разрывная машина РМ-50, стандартные стеклянные чашки Петри, микроскоп (Digital microscope Bresser LCD 50x-2000x “Bresser GmbH” (LCD Microscope V5.0, Gutenbergs tr, 2–46414 Rhede, Germany).

Экстракт получали с помощью экстрактора Сокслета. В качестве растворителя использовали гексан. Готовили при температуре 60–70 градусов в течение 8 часов. Чтобы окончательно удалить гексан из добавки, сушили в термошкафу при температуре 50 градусов, до установления постоянной массы.

Для приготовления контрольного образца в 93 мл дистиллированной воды добавляли 5 г метилцеллюлозы и 2 г глицерин. Для материалов с концентрацией экстракта исландского мха 0,5% в 23,125 мл дистиллированной воды добавили 0,5 г глицерина и 1,25 г метилцеллюлозы. Для полимерного материала с концентрацией экстракта 1% в 23 мл дистиллированной воды добавили 1,25 г метилцеллюлозы и 0,5 г глицерина. Для приготовления образца с концентрацией экстракта 3% в 22,5 мл дистиллированной воды добавляли 1,25 г метилцеллюлозы и 0,5 г глицерина. Затем проводили механическое перемешивание исходных реагентов и нагревали на водяной бане при 98 °С в течение 5 минут. За 30 секунд до конца нагревания добавляли экстракт исландского мха в концентрации (0,5; 1; 3) %. Полученный раствор разливали в формы и сушили при комнатной температуре в течение 3 суток.

В результате были получены полимерные пленки на основе метилцеллюлозы с добавлением экстракта исландского мха. Исследуемые образцы формировались в виде дисков диаметром 2 см и толщиной 0,3 мм для определения антимикробной активности.

Антимикробную активность плёнок исследовали на тест-культурах санитарно-показательных микроорганизмов, релевантных для пищевой промышленности, среди них были *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis, Candida albicans, Aspergillus niger* в соответствии с МУК 4.2.1890 – 04 – Определение чувствительности микроорганизмов к антибактериальным препаратам) в отношении штаммов *Escherichia coli* М 17, *Bacillus subtilis* АТСС 6633, *Candida albicans* Y-3108, *Aspergillus niger* F-894.

Для проведения эксперимента в подготовленную в чашках Петри стерилизованную питательную среду «Сабуро» были введены суспензии по 0,1 мл на основе физиологического раствора каждого микроорганизма: *Escherichia coli, Bacillus subtilis, Candida albicans, Aspergillus niger*. В каждую чашку Петри с питательной средой вносили 0,1 мл суспензии микроорганизмов и равномерно распределяли её по поверхности шпателем Дригальского. После этого на поверхность агара накладывали полимерные образцы в виде дисков диаметром 2 см. После чего, инкубировали полученные образцы в термостате при температуре (37 ± 1) °С для микроорганизмов *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis* и (29 ± 1) °С для *Candida albicans*, *Aspergillus niger*. Визуальную оценку микроорганизмов проводили через 2–5 суток.

Для исследования физико-механических свойств были подготовлены образцы длинной 8 см и шириной 1 см. Закрепили пленки в зажиме и начали растяжение при скорости 100 мм/мин на разрывной машине РМ-50. Эксперимент проводился в соответствии с ГОСТ 14236–81 «Пластмассы. Метод испытания полимерных пленок на растяжение» на разрывной машине РМ-50.

Образцы были исследованы при помощи светового микроскопа для исследования структуры материала.

Результаты

На первом этапе был получен экстракт исландского мха с помощью экстрактора Сокслета. Из 50 грамм сухого вещества было получено 0,2 грамма экстракта. Выход продукта составил 0,4%. Провели диск-тест на антимикробные свойства. Визуально оценив результат,

видим, что добавка проявляет антимикробную активность против *Escherichia coli* (рисунок 1).



Рисунок 1. Оценка антимикробной активности экстракта исландского мха на микроорганизме *Escherichia coli*

Figure 1. Evaluation of antimicrobial activity of Icelandic moss extract on the microorganism *Escherichia coli*

На следующем этапе работы были получены полимерные пленки на основе метилцеллюлозы с добавлением экстракта исландского мха (рисунок 2).

Визуальная оценка материала, представленного на рисунке 2, показала, что пленки имеют однородную структуру, что говорит о совместимости всех компонентов рецептуры.

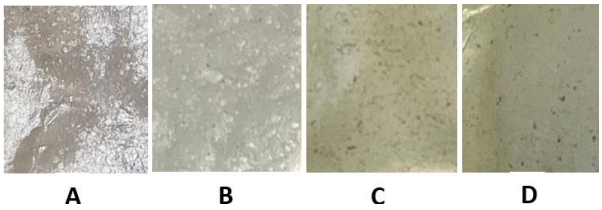


Рисунок 2. A – контрольный образец пленки без антимикробной добавки; B – образец с концентрацией экстракта исландского мха 0,5%; C – образец с концентрацией экстракта исландского мха 1%; D – образец с концентрацией экстракта исландского мха 3%

Figure 2. A – control film sample without antimicrobial additive; B – sample with 0.5% Icelandic moss extract; C – sample with 1% Icelandic moss extract; D – sample with 3% Icelandic moss extract

Толщина плёнок составляла около 0,3 мм. Чем выше была концентрация экстракта исландского мха, тем заметнее становилась зелёная окраска материала и тем плотнее он казался на ощупь. Запаха у полученных образцов не было.

На следующем этапе проверяли антибактериальную активность упаковочного материала диско-диффузионным методом.

Закрытые чашки Петри с образцами инкубировали в термостате. Визуальную оценку проводили через 48–120 ч для всех культур. Полученные результаты представлены на рисунках 3–9.

Из представленных результатов на рисунке 3 видно, что зона подавления культур наблюдается на образцах с концентрацией экстракта исландского мха 0,5; 1 и 3% соответственно.

На следующим этапе проводили оценку антимикробных свойств у образцов через трое суток с концентрациями 0,5; 1 и 3% экстракта исландского мха, поскольку у них наблюдалась наибольшая антибактериальная активность по сравнению с контрольным образцом.

При визуальной оценке результатов, проведенной на пятые сутки, отмечены изменения зон подавления роста микроорганизмов. Таким образом, материалы с концентрацией 0,5%, 1% и 3% подавляют рост культуры *Escherichia coli* на протяжении всего периода наблюдения, но с течением времени зона подавления уменьшается.

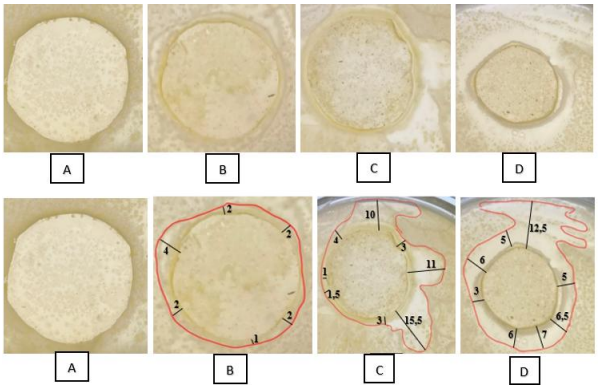


Рисунок 3. Внешний вид пленок инокулированных с *E. Coli* через двое суток: A – контрольный образец без антимикробной добавки; B – образец с концент-рацией экстракта исландского мха 0,5% (средняя зона подавления составила 2,2 мм); C – образец с концентрацией экстракта исландского мха 1% (средняя зона подавления составила 6,1 мм); D – образец с концентрацией экстракта исландского мха 3% (средняя зона подавления составила 6,4 мм)

Figure 3. Appearance of films inoculated with *E. Coli* after two days: A – control sample without antimicrobial additive; B – sample with 0.5% Iceland moss extract concentration (average inhibition zone was 2.2 mm); C – sample with 1% Iceland moss extract concentration (average inhibition zone was 6.1 mm); D – sample with 3% Iceland moss extract concentration (average inhibition zone was 6.4 mm)

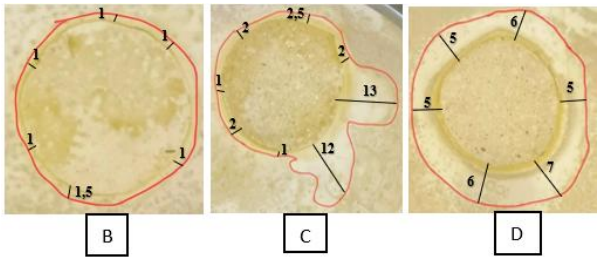


Рисунок 4. Внешний вид пленок инокулированных с *E. Coli* через трое суток: B – образец с концентрацией экстракта исландского мха 0,5% (средняя зона подавления составила 1,1 мм); C – образец с концентрацией экстракта исландского мха 1% (средняя зона подавления составила 4,4 мм); D – образец с концентрацией экстракта исландского мха 3% (средняя зона подавления составила 5,6 мм)

Figure 4. Appearance of films inoculated with *E. coli* after three days: B – sample with 0.5% Icelandic moss extract (average inhibition zone was 1.1 mm); C – sample with 1% Icelandic moss extract (average inhibition zone was 4.4 mm);

D – sample with 3% Icelandic moss extract (average inhibition zone was 5.6 mm)

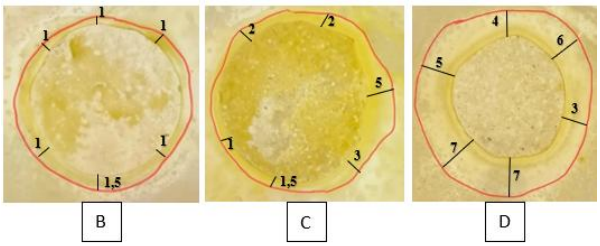


Рисунок 5. Внешний вид пленок инокулированных с *E. Coli* через 5 дней: B – образец с концентрацией экстракта исландского мха 0,5% (средняя зона подавления составила 1,1 мм); C – образец с концентрацией экстракта исландского мха 1% (средняя зона подавления составила 2,4 мм); D – образец с концентрацией экстракта исландского мха 3% (средняя зона подавления составила 5,3 мм)

Figure 5. Appearance of films inoculated with *E. coli* after 5 days: B – sample with 0.5% Icelandic moss extract (average inhibition zone was 1.1 mm); C – sample with 1% Icelandic moss extract (average inhibition zone was 2.4 mm); D – sample with 3% Icelandic moss extract (average inhibition zone was 5.3 mm)

При визуальной оценке образцов инокулированных с *Bacillus subtilis*, зона подавления наблюдалась только у образца с концентрацией 3%.

Для образца с концентрацией 3% установлено, что зона подавления увеличилась на 0,3 мм по сравнению с первым измерением, что указывает на антибактериальную активность экстракта в данной концентрации.

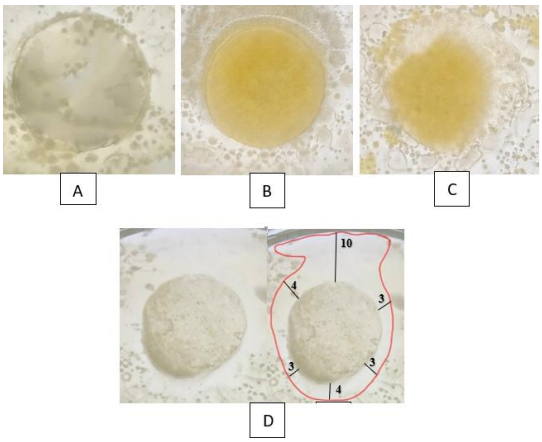


Рисунок 6. Внешний вид пленок инокулированных с Bacillus subtilis через двое суток: A – контрольный образец без антимикробной добавки; B – образец с концентрацией экстракта исландского мха 0,5%; C – образец с концентрацией экстракта исландского мха 1%; D – образец с концентрацией экстракта исландского мха 3% (средняя зона подавления составила 4,5 мм)

Figure 6. Appearance of films inoculated with *Bacillus subtilis* after two days: A – control sample without antimicrobial additive; B – sample with 0.5% Icelandic moss extract; C – sample with 1% Icelandic moss extract; D – sample with 3% Icelandic moss extract (average inhibition zone was 4.5 mm)

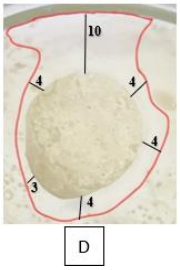


Рисунок 7. Внешний вид пленок инокулированных с *Bacillus subtilis* через трое суток: D – образец с концентрацией экстракта исландского мха 3% (средняя зона подавления составила 4,8 мм)

Figure 7. Appearance of films inoculated with *Bacillus subtilis* after three days: D – sample with 3% Icelandic moss extract (average inhibition zone was 4.8 mm)

Введение экстракта в полимерную матрицу подавляло рост как грамположительных, так и грамотрицательных бактерий.

Для *Escherichia coli* зоны подавления на вторые сутки составили: при концентрации 0,5% – 2,2 мм; при 1% – 6,1 мм; при 3% – 6,4 мм. К пятым суткам зоны уменьшились до 1,1 мм, 2,4 мм и 5,3 мм соответственно. То есть с ростом концентрации экстракта ингибирующий эффект усиливался, но со временем ослабевал.

В отношении *Bacillus subtilis* подавление роста наблюдалось только при максимальной концентрации экстракта (3%). На вторые сутки зона составила 4,5 мм, на третьи – увеличилась до 4,8 мм.

Ранее в работах [7, 18] уже было показано, что усниновая кислота в составе наногелей, аэрогелей и гидрогелей на основе альгината, хитозана и карбоната кальция (в концентрациях 0,03; 0,15; 0,3; 3 мг/мл) активна против *E. coli* и *B. subtilis*. В этих исследованиях также изучали действие на другие микроорганизмы, включая грибы.

Таким образом, наши результаты подтверждают, что экстракт исландского мха может служить эффективной антибактериальной добавкой для полимерных материалов [20]. В метилцеллюлозной матрице он показал более высокую активность против грамотрицательных бактерий (*E. coli*) по сравнению с грамположительными (*B. subtilis*) (Рисунок 6, 7).

На рисунке 8 видно, что экстракт исландского мха при любой концентрации не проявил антимикробную активность в отношении *Candida albicans*, о чём свидетельствуют отсутствие зоны подавления.

На рисунке 9 видно, что культура *Aspergillus niger* развивалась на всех образцах, зон подавления культуры на восьмые сутки не обнаружено.

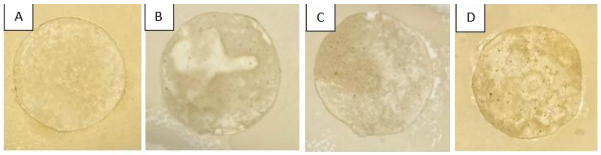


Рисунок 8. Внешний вид пленок инокулированных с *Candida albicans* через двое суток: A – контрольный образец без антимикробной добавки; B – образец с концентрацией экстракта исландского мха 0,5%; C – образец с концентрацией экстракта исландского мха 1%; D – образец с концентрацией экстракта исландского мха 3%

Figure 8. Appearance of films inoculated with *Candida albicans* after two days: A – control sample without antimicrobial additive; B – sample with 0.5% Icelandic moss extract; C – sample with 1% Icelandic moss extract; D – sample with 3% Icelandic moss extract

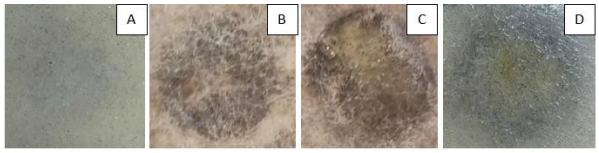


Рисунок 9. Внешний вид пленок инокулированных с *Aspergillus niger* через восемь дней: A – контрольный образец без антимикробной добавки; B – образец с концентрацией экстракта исландского мха 0,5%; C – образец с концентрацией экстракта исландского мха 1%; D – образец с концентрацией экстракта исландского мха 3%

Figure 9. Appearance of films inoculated with *Aspergillus niger* after eight days: A – control sample without antimicrobial additive; B – sample with 0.5% Icelandic moss extract; C – sample with 1% Icelandic moss extract; D – sample with 3% Icelandic moss extract

Антибактериальный эффект экстракта исландского мха оказался более выраженным, чем его действие на грибы *Candida albicans* и *Aspergillus niger*. Исследование показало, что экстракт не проявил подавляющего действия против штаммов *Candida albicans* и *Aspergillus niger* при всех исследуемых концентрациях. Возможной причиной этого может быть устойчивость клеточной стенки *Aspergillus niger*, богатой хитином и меланином, что ограничивает проникновение активных компонентов экстракта, либо отсутствие чувствительных ферментных систем-мишеней для усниновой кислоты и других полифенолов, содержащихся в экстракте.

На следующем этапе после изготовления пленок был проведен тест на определение прочности и относительного удлинения при растяжении образца на разрывной машине РМ-50 со скоростью 100 мм/мин (Рисунки 10–11).

По результатам испытаний установлено, что введение антимикробной добавки в полимерную пленку оказывает немонотонное влияние на механические свойства: при концентрации 0,5% наблюдается максимальная прочность (22,68 МПа) при снижении эластичности, тогда как при наивысшей концентрации прочность падает практически до уровня контроля (19,31 МПа), а относительное удлинение максимально возрастает (39,21%). Эти результаты также обусловлены тем, что все пленки были неодинаковой толщины и плотность возрастала от 260 до 320 мкм при увеличении концентрации добавки. При приготовлении пленок в каждую форму было распределено по 25 мл раствора полимерного материала, но плотность пленок возрастала от меньшей концентрации к большей. Это указывает, что добавление экстракта увеличивает толщину плёнок.

На основе этих данных можно сделать вывод, что существует оптимальная концентрация добавки, при которой материал становится более прочным и упругим. Передозировка может приводить к потере прочности. В нашем случае оптимальным стало количество добавки 0,5%, при которых образец показал максимальную прочность.

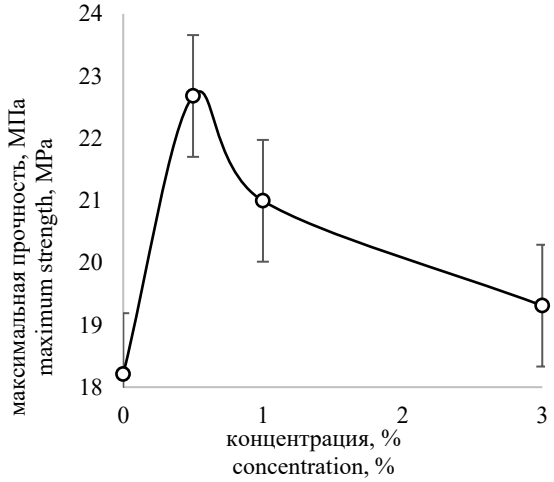


Рисунок 10. Зависимость прочности пленки на основе метилцеллюлозы от концентрации экстракта исландского мха

Figure 10. Dependence of the strength of methylcellulose-based films on the concentration of Icelandic moss extract

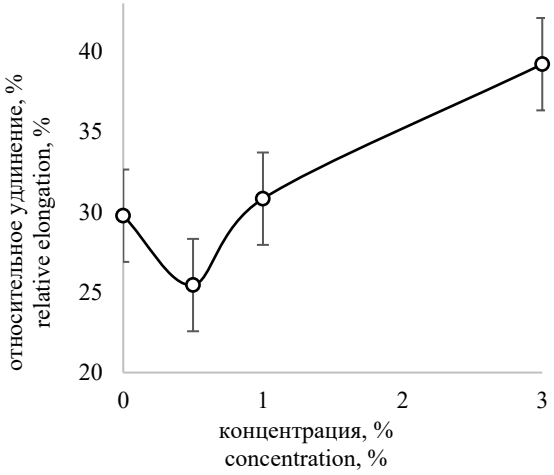


Рисунок 11. Зависимость относительного удлинения от концентрации экстракта

Figure 11. Dependence of the elongation at break on the extract concentration

Также в данном исследовании пленки с добавлением экстракта исландского мха были исследованы с помощью микроскопа при увеличении 4, 10 и 40. Было обнаружено, что с увеличением концентрации добавки зеленых включений становится всё больше и они имеют более четкую структуру (Рисунки 12–15).

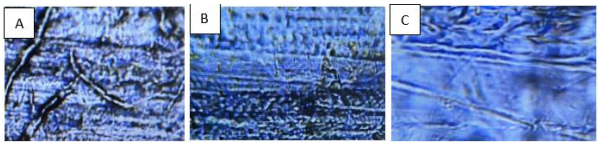


Рисунок 12. Вид полимерной пленки под микроскопом: А – контрольный образец при увеличении 4х, В – контрольный при увеличении 10х, С – контрольный образец при увеличении 40х

Figure 12. Microscopic appearance of polymer films: A – control sample at 4x magnification; B – control sample at 10x magnification; C – control sample at 40x magnification

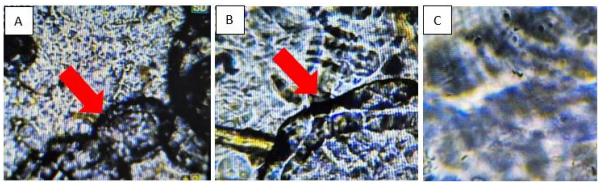


Рисунок 13. Вид полимерной пленки под микроскопом с концентрацией экстракта исландского мха 0,5%: А – образец при увеличении 4х, В – при увеличении 10х, С – при увеличении 40х

Figure 13. Microscopic appearance of the polymer film containing 0.5% Icelandic moss extract: A – sample at 4x magnification; B – at 10x magnification; C – at 40x magnification

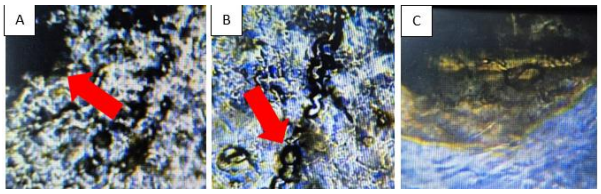


Рисунок 14. Вид полимерной пленки под микроскопом с концентрацией экстракта исландского мха 1%: А – образец при увеличении 4х, В – образец при увеличении 10х, С – образец при увеличении 40х

Figure 14. Microscopic appearance of the polymer film containing 1% Icelandic moss extract: A – sample at 4x magnification; B – sample at 10x magnification; C – sample at 40x magnification

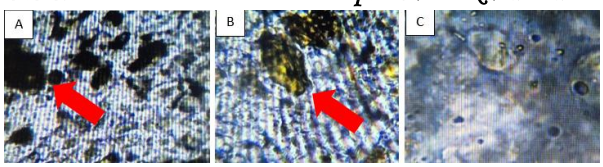


Рисунок 15. Вид полимерной пленки под микроскопом с концентрацией экстракта исландского мха 3%: А – образец при увеличении 4х, В – образец при увеличении 10х, С – образец при увеличении 40х

Figure 15. Microscopic appearance of the polymer film containing 3% Icelandic moss extract at different magnifications: A – 4x; B – 10x; C – 40x

Заключение

Установлено, что полученные плёночные материалы на основе метилцеллюлозы, содержащие экстракт исландского мха в концентрациях 0,5; 1 и 3%, обладают выраженной антибактериальной активностью в отношении тестируемых микроорганизмов. Экспериментально подтверждена высокая эффективность полимерных плёнок с экстрактом цетрарии исландской в подавлении роста как грамотрицательных бактерий (*Escherichia coli*), так и грамположительных (*Bacillus subtilis*). В то же время в отношении *Candida albicans* и *Aspergillus niger* ингибирующая способность не отмечена.

Полученные в настоящем исследовании результаты не во всём согласуются с литературными данными. В частности, плёнки на основе метилцеллюлозы с добавлением экстракта цетрарии исландской не показали ингибирующего действия в отношении штаммов *Candida albicans* и *Aspergillus niger*. Это может объясняться тем, что в разных работах использовались различные методы получения экстракта, а также неодинаковые штаммы грибов.

При исследовании физико-механических свойств было выявлено, что добавление экстракта исландского мха в полимерную плёнку немонотонно влияло на показатели материала. Было выявлено, что оптимальной концентрацией является 0,5%, при которых материал показал максимальную прочность.

При анализе образцов методом микроскопии выявили прямую зависимость между содержанием экстракта цетрарии исландской и характером распределения добавки в матрице: по мере увеличения концентрации экстракта возрастала частота встречаемости зелёных включений, увеличивались их размеры, а их вид становился визуально более чёткий.

Таким образом, экстракт исландского мха показал себя как эффективная антимикробная добавка для плёнок на основе метилцеллюлозы. Полученные материалы можно рассматривать как перспективную основу для активной пищевой упаковки, способной продлить срок хранения продуктов.

Литература

1 Гаджиева А.М., Маллаева Д.А. Значение безопасных упаковок пищевых продуктов и перспективы их развития // Теория и практика современной науки. 2021. № 4 (70). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/znachenie-bezopasnyh-upakovok-pischevyh-produktov-i-perspektivy-ih-razvitiya (дата обращения: 01.10.2026).

2 Coban S.N., Polatoglu I., Eroglu E. Methyl cellulose/okra mucilage composite films, functionalized with Hypericum perforatum oil and gentamicin, as a potential wound dressing // International Journal of Biological Macromolecules. 2024. V. 254. Pt 1. P. 127757. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2023.127757

3 Ojagh S.M., Rezaei M., Razavi S.H., Hosseini S.M.H. Development and evaluation of a novel biodegradable film made from chitosan and cinnamon essential oil with low affinity toward water // Food Chemistry. 2010. V. 122. № 1. P. 161–166. doi: 10.1016/j.foodchem.2010.02.033

4 Безнаева О.В., Мерзляков В.А., Астахов В.А. и др. Свойства растворов и пленок из метилцеллюлозы и карбоксиметилцеллюлозы // Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология. 2024. № 3. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/svoystva-rastvorov-i-plenok-iz-metiltsellyulozy-i-karboksimetiltsellyulozy (дата обращения: 01.10.2026).

5 Tavassoli M., Khezerlou A., Sani M.A. et al. Methylcellulose/chitosan nanofiber-based composites doped with lactoferrin-loaded Ag-MOF nanoparticles for the preservation of fresh apple // International Journal of Biological Macromolecules. 2024. V. 259. Pt 2. P. 129182. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2023.129182

6 Крылов И.А., Кубасова Е.Д., Корельская Г.В., Кубасов Р.В. Перспективы разработки новых оригинальных антисептических средств на основе усниновой кислоты // Вестник современной клинической медицины. 2023. № 5. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-razrabotki-novyh-originalnyh-antisepticheskih-sredstv-na-osnove-usninovoy-kisloty (дата обращения: 01.10.2026).

7 Nath P.C., Sharma R., Mahapatra U. et al. Sustainable production of cellulosic biopolymers for enhanced smart food packaging: An up-to-date review // International Journal of Biological Macromolecules. 2024. V. 273. P. 133090. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2024.133090

8 Лузина О.А., Салахутдинов Н.Ф. Биологическая активность усниновой кислоты и ее производных. Часть 1. Активность в отношении одноклеточных организмов // Биоорганическая химия. 2016. Т. 42. № 2. С. 129. doi: 10.7868/S0132342316020081

9 Макаревич Е.В., Проценко М.А., Мазурков О.Ю. и др. Экспериментальные образцы препаратов на основе цетрарии исландской (Cetraria islandica), проявляющие противовирусную активность в отношении вируса гриппа А // Антибиотики и химиотерапия. 2023. № 9–10. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnye-obraztsy-preparatov-na-osnove-tsetrarii-islandskoy-setraria-islandica-proyavlyayuschie-protivovirusnuyu-aktivnost (дата обращения: 01.10.2026).

10 Ахатаева У.А., Омарова Р.А., Саякова Г.М. и др. Спектрофотометрическое определение биологически активных веществ в слоевище исландского мха (Cetraria islandica (L.) Ach.) // Вестник Казахского НМУ. 2018. № 4. С. 146–150.

11 Перова Д.И., Пивоварова Н.С. Изучение фармакологического действия мха исландского для дальнейшей разработки лекарственного препарата на его основе // Сандеровские чтения: сб. мат. науч.-метод. конф. с междунар. участием, Санкт-Петербург, 07 февраля 2025 г. СПб.: СПХФУ, 2025. С. 345–347.

12 Sánchez M., Ureña-Vacas I., González-Burgos E. et al. The Genus Cetraria s. str. – A Review of Its Botany, Phytochemistry, Traditional Uses and Pharmacology // Molecules. 2022. V. 27. № 15. P. 4990. doi: 10.3390/molecules27154990

13 Клячкина И.Л. Место Cetraria islandica в программе лечения острой респираторной вирусной инфекции // Фарматека. 2021. Т. 28. № 10. С. 117–123. doi: 10.18565/pharmateca.2021.10.117-123

14 Чуб О.П. Пищевая пенная система на основе цетрарии исландской: получение и перспективы использования в составе блюд лечебно-профилактического и функционального назначения // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК. 2023. № 1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/pischevaya-pennaya-sistema-na-osnove-tsetrarii-islandskoy-poluchenie-i-perspektivy-ispolzovaniya-v-sostave-blyud-lechebno (дата обращения: 01.10.2026).

15 Котова Т.В., Мальцева Е.М., Вальнюкова А.С. и др. Антиоксидантная активность цетрарии исландской (Cetraria islandica (L.) Ach.), используемой в качестве биологически активной добавки // Хранение и переработка сельхозсырья. 2022. № 2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/antioksidantnaya-aktivnost-tsetrarii-islandskoy-cetraria-islandica-l-ach-ispolzuemoy-v-kachestve-biologicheski-aktivnoy-dobavki (дата обращения: 01.10.2026).

16 Рыжикова К.А., Шумкин Н.А., Бородулин Д.В. Антибактериальная активность лишайников видов Xanthoria parietina, Cladonia rangiferina, Parmelia sulcata и Evernia prunastri в отношении бактерий рода Bacillus и Staphylococcus // Вестник науки. 2024. № 8 (77). Т. 3. С. 130–145.

17 Antonenko Y.N., Khailova L.S., Rokitskaya T.I. et al. Mechanism of action of an old antibiotic revisited: Role of calcium ions in protonophoric activity of usnic acid // Biochimica et Biophysica Acta – Bioenergetics. 2019. V. 1860. P. 310–316. doi: 10.1016/j.bbabio.2019.01.005

18 Li T., Zhang Y., Wang H. et al. Natural Product Usnic Acid as an Antibacterial Therapeutic Agent // ACS Infectious Diseases. 2025. V. 11. P. 1403–1415. doi: 10.1021/acsinfecdis.4c00976

19 Горшкова Н.А., Бровко О.С., Паламарчук И.А., Боголицын К.Г. Влияние структуры альгинат-хитозановых материалов на кинетику высвобождения усниновой кислоты // Прикладная биохимия и микробиология. 2022. Т. 58. № 2. С. 123–131.

20 Popovici V., Bucur L., Gîrd C.E. et al. Phenolic Secondary Metabolites and Antiradical and Antibacterial Activities of Different Extracts of Usnea barbata (L.) Weber ex F.H. Wigg from Călimani Mountains, Romania // Pharmaceuticals. 2022. V. 15. № 7. P. 829. doi: 10.3390/ph15070829

References

1 Gadzhieva A.M., Mallaeva D.A. The importance of safe food packaging and prospects for its development. Theory and Practice of Modern Science. 2021. no. 4 (70). Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/znachenie-bezopasnyh-upakovok-pischevyh-produktov-i-perspektivy-ih-razvitiya (accessed: 01.10.2026) (in Russian).

2 Coban S.N., Polatoglu I., Eroglu E. Methyl cellulose/okra mucilage composite films, functionalized with Hypericum perforatum oil and gentamicin, as a potential wound dressing. International Journal of Biological Macromolecules. 2024. vol. 254. pt 1. article 127757. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2023.127757.

3 Ojagh S.M., Rezaei M., Razavi S.H., Hosseini S.M.H. Development and evaluation of a novel biodegradable film made from chitosan and cinnamon essential oil with low affinity toward water. Food Chemistry. 2010. vol. 122. no. 1. pp. 161–166. doi: 10.1016/j.foodchem.2010.02.033.

4 Beznaeva O.V., Merzlyakov V.A., Astakhov V.A. et al. Properties of solutions and films from methylcellulose and carboxymethylcellulose. Bulletin of PNRPU. Chemical Technology and Biotechnology. 2024. no. 3. Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/svoystva-rastvorov-i-plenok-iz-metiltsellyulozy-i-karboksimetiltsellyulozy (accessed: 01.10.2026) (in Russian).

5 Tavassoli M., Khezerlou A., Sani M.A. et al. Methylcellulose/chitosan nanofiber-based composites doped with lactoferrin-loaded Ag-MOF nanoparticles for the preservation of fresh apple. International Journal of Biological Macromolecules. 2024. vol. 259. pt 2. article 129182. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2023.129182.

6 Krylov I.A., Kubasova E.D., Korelskaya G.V., Kubasov R.V. Prospects for the development of new original antiseptic agents based on usnic acid. Bulletin of Modern Clinical Medicine. 2023. no. 5. Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-razrabotki-novyh-originalnyh-antisepticheskih-sredstv-na-osnove-usninovoy-kisloty (accessed: 01.10.2026) (in Russian).

7 Nath P.C., Sharma R., Mahapatra U. et al. Sustainable production of cellulosic biopolymers for enhanced smart food packaging: An up-to-date review. International Journal of Biological Macromolecules. 2024. vol. 273. article 133090. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2024.133090.

8 Luzina O.A., Salakhutdinov N.F. Biological activity of usnic acid and its derivatives. Part 1. Activity against unicellular organisms. Bioorganic Chemistry. 2016. vol. 42. no. 2. p. 129. doi: 10.7868/S0132342316020081 (in Russian).

9 Makarevich E.V., Protsenko M.A., Mazurkov O.Yu. et al. Experimental samples of preparations based on Icelandic moss (Cetraria islandica) exhibiting antiviral activity against influenza A virus. Antibiotics and Chemotherapy. 2023. no. 9–10. Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnye-obraztsy-preparatov-na-osnove-tsetrarii-islandskoy-setraria-islandica-proyavlyayuschie-protivovirusnuyu-aktivnost (accessed: 01.10.2026) (in Russian).

10 Akhataeva U.A., Omarova R.A., Sayakova G.M. et al. Spectrophotometric determination of biologically active substances in the thallus of Icelandic moss (Cetraria islandica (L.) Ach.). Bulletin of Kazakh NMU. 2018. no. 4. pp. 146–150. (in Russian).

11 Perova D.I., Pivovarova N.S. Study of the pharmacological action of Icelandic moss for the further development of a medicinal product based on it. In: Sander Readings: Collection of materials of the scientific and methodological conference with international participation, Saint Petersburg, February 07, 2025. Saint Petersburg: SPCPU, 2025. pp. 345–347. (in Russian).

12 Sánchez M., Ureña-Vacas I., González-Burgos E. et al. The Genus Cetraria s. str. – A Review of Its Botany, Phytochemistry, Traditional Uses and Pharmacology. Molecules. 2022. vol. 27. no. 15. article 4990. doi: 10.3390/molecules27154990.

13 Klyachkina I.L. The place of Cetraria islandica in the treatment program for acute respiratory viral infection. Pharmateca. 2021. vol. 28. no. 10. pp. 117–123. doi: 10.18565/pharmateca.2021.10.117-123 (in Russian).

14 Chub O.P. Food foam system based on Icelandic moss: production and prospects for use in the composition of therapeutic, prophylactic and functional dishes. Technologies of Food and Processing Industry of the Agro-Industrial Complex. 2023. no. 1. Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/pischevaya-pennaya-sistema-na-osnove-tsetrarii-islandskoy-poluchenie-i-perspektivy-ispolzovaniya-v-sostave-blyud-lechebno (accessed: 01.10.2026) (in Russian).

15 Kotova T.V., Maltseva E.M., Valnyukova A.S. et al. Antioxidant activity of Icelandic moss (Cetraria islandica (L.) Ach.) used as a biologically active additive. Storage and Processing of Agricultural Raw Materials. 2022. no. 2. Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/antioksidantnaya-aktivnost-tsetrarii-islandskoy-cetraria-islandica-l-ach-ispolzuemoy-v-kachestve-biologicheski-aktivnoy-dobavki (accessed: 01.10.2026) (in Russian).

16 Ryzhikova K.A., Shumkin N.A., Borodulin D.V. Antibacterial activity of lichens of the species Xanthoria parietina, Cladonia rangiferina, Parmelia sulcata and Evernia prunastri against bacteria of the genera Bacillus and Staphylococcus. Bulletin of Science. 2024. no. 8 (77). vol. 3. pp. 130–145. (in Russian).

17 Antonenko Y.N., Khailova L.S., Rokitskaya T.I. et al. Mechanism of action of an old antibiotic revisited: Role of calcium ions in protonophoric activity of usnic acid. Biochimica et Biophysica Acta – Bioenergetics. 2019. vol. 1860. pp. 310–316. doi: 10.1016/j.bbabio.2019.01.005.

18 Li T., Zhang Y., Wang H. et al. Natural Product Usnic Acid as an Antibacterial Therapeutic Agent. ACS Infectious Diseases. 2025. vol. 11. pp. 1403–1415. doi: 10.1021/acsinfecdis.4c00976.

19 Gorshkova N.A., Brovko O.S., Palamarchuk I.A., Bogolitsyn K.G. Influence of the structure of alginate-chitosan materials on the kinetics of usnic acid release. Applied Biochemistry and Microbiology. 2022. vol. 58. no. 2. pp. 123–131. (in Russian).

20 Popovici V., Bucur L., Gîrd C.E. et al. Phenolic Secondary Metabolites and Antiradical and Antibacterial Activities of Different Extracts of Usnea barbata (L.) Weber ex F.H. Wigg from Călimani Mountains, Romania. Pharmaceuticals. 2022. vol. 15. no. 7. article 829. doi: 10.3390/ph15070829.

Сведения об авторах

Ксения С. Шорохова студент, кафедра химии, технологии полимеров и упаковочных решений, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Волоколамское шоссе 11, Москва, 125080, Россия, shorokhovaksenya@gmail.com
https://orcid.org/0009-0007-8735-2701

Анастасия А. Денисова студент, кафедра химии, технологии полимеров и упаковочных решений, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Волоколамское шоссе 11, Москва, 125080, Россия, denisovaa2007@mail.ru
https://orcid.org/0009-0005-7081-5576

Али Я. Альхаир старший преподаватель, кафедра химии, технологии полимеров и упаковочных решений, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Волоколамское шоссе 11, Москва, 125080, Россия, alkhaira@mgupp.ru
https://orcid.org/0000-0002-9518-7781

Information about authors

Ksenya S. Shorokhova student, Department of Chemistry, Polymer Technology and Packaging Solutions, Russian Biotechnological University (BIOTECH University), Volokolamskoe shosse 11, Moscow, 125080, Russia, shorokhovaksenya@gmail.com
https://orcid.org/0009-0007-8735-2701

Anastasia A. Denisova student, Department of Chemistry, Polymer Technology and Packaging Solutions, Russian Biotechnological University (BIOTECH University), Volokolamskoe shosse 11, Moscow, 125080, Russia, denisovaa2007@mail.ru
https://orcid.org/0009-0005-7081-5576

Alkhair Y. Ali senior lecturer, Department of Chemistry, Polymer Technology and Packaging Solutions, Russian Biotechnological University (BIOTECH University), Volokolamskoe shosse 11, Moscow, 125080, Russia, alkhaira@mgupp.ru
https://orcid.org/0000-0002-9518-7781

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 01/07/2026	**После редакции** 18/07/2026	**Принята в печать** 20/08/2026
Received 01/07/2026	**Accepted in revised** 18/07/2026	**Accepted** 20/08/2026