

**Tikhonova N. V.**

Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Head of the Department of Food Engineering  
of Agricultural Production, Ural State  
Agrarian University, Yekaterinburg.  
E-mail: [kaf.zooring@urgau.ru](mailto:kaf.zooring@urgau.ru).

УДК 615.468

*Д. В. Минаков, А. А. Минакова*  
*Алтайский государственный университет*  
*(г. Барнаул)*

### **ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ РАНОЗАЖИВЛЯЮЩИХ ПЛЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ХИТИН- И ХИТОЗАН- ГЛЮКАНОВЫХ КОМПЛЕКСОВ ВЫСШИХ ГРИБОВ**

*Аннотация.* Исследованы способы получения хитин- и хитозан-глюкановых комплексов из плодовых тел высших базидиальных грибов *Armillaria mellea*, *Ganoderma lucidum*, *Ganoderma multipelium*. Выход хитин-глюкановых комплексов составил от 21,0 до 22,0 %, хитозан-глюкановых комплексов от 9,0 до 10,2 %. В результате исследования физико-химических свойств хитозан-глюкановых комплексов было установлено, что с максимальными значениями характеристической вязкости (2,3 см<sup>3</sup>/г), молекулярной массы (52 кДа) и степени деацетилирования (79 %) получен образец из биомассы плодовых тел *A. mellea*. Разработаны составы ранозаживляющих пленочных материалов на основе уксуснокислых растворов хитин- и хитозан-глюкановых комплексов. Исследована ранозаживляющая активность полученных растворов *in vivo*. Показано, что растворы хитин- и хитозан-глюкановых комплексов, составляющие основу пленок, обладают высокой ранозаживляющей активностью обеспечивая полную регенерацию эпидермиса, отсутствие воспалительного инфильтрата и возрастание количества фибробластов в дерме.

**Ключевые слова:** хитин- и хитозан-глюкановые комплексы, высшие грибы, ранозаживляющие пленки, плодовые тела, *Armillaria mellea*, *Ganoderma lucidum*, *Ganoderma multipelium*, регенерация, эпидермис

#### Для цитирования:

Минаков, Д. В. Получение и исследование ранозаживляющих пленочных материалов на основе хитин- и хитозан-глюкановых комплексов высших грибов / Д. В. Минаков, А. А. Минакова // Вестник биотехнологий. 2024. № 1.

### PREPARATION AND INVESTIGATION OF WOUND HEALING FILM MATERIALS BASED ON CHITIN- AND CHITOSAN-GLUCAN COMPLEXES OF HIGHER FUNGI

*Annotation.* Methods of obtaining chitin- and chitosan-glucan complexes from the fruit bodies of higher basidial fungi *Armillaria mellea*, *Ganoderma lucidum*, *Ganoderma multipelium* have been studied. The yield of chitin-glucan complexes ranged from 21.0 to 22.0%, chitosan-glucan complexes from 9.0 to 10.2%. As a result of the study of the physico-chemical properties of chitosan-glucan complexes, it was found that a sample from the biomass of *A. mellea* fruit bodies was obtained with maximum values of characteristic viscosity (2.3 cm<sup>3</sup>/g), molecular weight (52 kDa) and degree of deacetylation (79%). Compositions of wound healing film materials based on acetic acid solutions of chitin- and chitosan-glucan complexes have been developed. The wound healing activity of the obtained solutions has been studied *in vivo*. It has been shown that solutions of chitin- and chitosan-glucan complexes, which form the basis of films, have high wound healing activity, providing complete regeneration of the epidermis, the absence of inflammatory infiltration and an increase in the number of fibroblasts in the dermis.

**Keywords:** chitin- and chitosan-glucan complexes, higher fungi, wound healing films, fruit bodies, *Armillaria mellea*, *Ganoderma lucidum*, *Ganoderma multipelium*, regeneration, epidermis Введение

#### ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия происходит интенсивное развитие исследований в области создания перевязочных средств с биологически активными свойствами и направленным воздействием на течение раневого процесса [1]. Одним из наиболее ценных и перспективных продуктов для создания перевязочных материалов является хитин-глюкановый комплекс (ХГК), полученный из биомассы высших грибов, и его производные [1, 2].

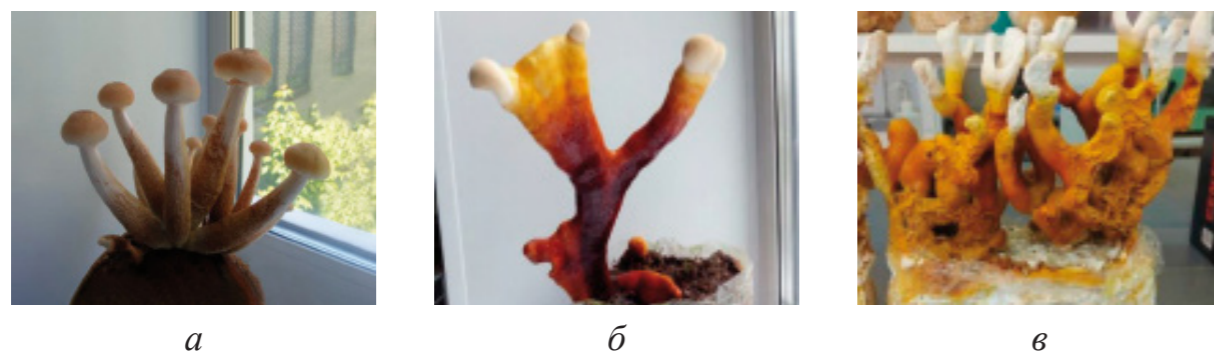
Раневой процесс – сложный биологический феномен, развивающийся в ответ на повреждение покровных тканей. Процесс заживления раны разделяют на три фазы: I – фазу воспаления, делящуюся на период сосудистых изменений и период очищения раны от погибших (некротических) тканей; II – фазу регенерации, образования и созревания грануляционной ткани; III – фазу реорганизации рубца и эпителизации [1, 3].

Современное использование перевязочных материалов основано в первую очередь на эмпирических знаниях, а не на реальном понимании процесса заживления. Известно, что хитин является физиологически растворимым вследствие действия фермента лизоцима, содержащегося в эластических волокнах кожи. Это позволяет предположить важность хитина для ориентации и сшивания коллагена, что приводит к ускоренной пролиферации клеток [4–6]. При нанесении хитозана на рану *in vivo* обнаружена высокая восприимчивость его к деполимеризации лизоцимом, что обеспечивает эффективную стимуляцию макрофагов, способствует упорядоченному отложению коллагена и одновременному запуску биосинтеза гиалуроновой кислоты и гликозаминогликанов [7–10]. Таким образом, создание ранозаживляющих материалов на основе хитин- и хитозан-глюкановых комплексов (ХтзГК), полученных из биомассы плодовых тел высших грибов, является перспективным направлением исследований.

Цель работы является получение и исследование ранозаживляющих пленочных материалов на основе хитин- и хитозан-глюкановых комплексов из высших базидиальных грибов *Armillaria mellea*, *Ganoderma lucidum*, *Ganoderma multipelium*.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объектов исследования использовали культуры высших грибов *Armillaria mellea* D-18, *Ganoderma lucidum* F-325, *Ganoderma multipelium* TF-05, приобретенные в ВКПМ и полученные из естественных местообитаний Алтайского края (рис. 1).



**Рисунок 1.** Плодовые тела грибов: *Armillaria mellea* (а), *Ganoderma lucidum* (б), *Ganoderma multipelium* (в)

Получение плодовых тел грибов проводили твердофазным культивированием на лигноцеллюлозных субстратах [11]. Хитин- и хитозан-глюкановые комплексы получали из плодовых тел грибов, хитин и хитозан – из камчатского краба, по способам, описанным в работе [11].

Количество основного вещества, зольных веществ и влагосодержание в образцах определяли гравиметрическим методом [11, 12]. Количественное содержание белковых веществ определяли методом Кьельдаля и вычисляли по формуле  $c_{бв} = N_{св} \times 6,25$ , где  $N_{св}$  – количество азота, 6,25 – коэффициент пересчета на содержание белка [12]. Определение характеристической вязкости уксуснокислых растворов ХтзГК проводили с использованием капиллярного вискозиметра Уббелюде [13]. Степень дезацетилирования и молекулярную массу определяли кондуктометрическим титрованием [11, 14]. Пленочные материалы готовили методом литья в полипропиленовые чашки Петри с последующим высушиванием [1, 15]. Исследование ранозаживляющих свойств проводили на лабораторных крысах, обрабатывая ожоговые раны уксуснокислыми растворами ХГК и ХтзГК [1, 6].

Математическая обработка данных проводилась с применением программных пакетов Microsoft Excel и Statsoft Statistica (v.5.5).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Получение ХГК состоит из нескольких технологических стадий, которые включают депротеинизацию, деминерализацию, депигментацию. Далее полученные образцы ХГК подвергали модифицированию реакцией дезацетилирования для получения ХтзГК.

Характеристики полученных образцов ХГК, ХтГК, хитина и хитозана представлены в таблице 1.

**Таблица 1.** Характеристики ХГК, ХтГК, хитина и хитозана

Образец	Содержание			Выход % от сухого вещества
	Вода	Зола	Белок	
<b>Хитин-глюкановые комплексы</b>				
ХГК из <i>A. mellea</i>	7,7±0,8	0,5±0,1	1,0±0,1	21,0±0,8
ХГК из <i>G. lucidum</i>	8,4±0,6	0,6±0,2	3,5±0,2	22,0±0,7
ХГК из <i>G. multipelium</i>	8,0±1,0	0,6±0,1	2,5±0,2	21,5±0,9
Хитин из <i>Paralithodes camtschaticus</i>	7,5±0,4	0,4±0,1	1,6±0,1	26,1±1,0
<b>Хитозан-глюкановые комплексы</b>				
ХтГК из <i>A. mellea</i>	7,6±1,0	0,3±0,1	0,5±0,1	9,0±1,2
ХтГК из <i>G. lucidum</i>	8,2±0,6	0,4±0,1	0,7±0,2	10,2±0,8
ХтГК из <i>G. multipelium</i>	8,1±0,8	0,4±0,1	0,6±0,1	9,6±0,6
Хитозан из <i>Paralithodes camtschaticus</i>	7,8±0,4	0,3±0,1	0,2±0,1	12,3±1,1

В результате исследований наибольший выход ХГК был установлен при извлечении из плодовых тел *G. lucidum* (22,0 %) и мало отличался от выхода ХГК из *A. mellea* (21,0 %) и *G. multipelium* (21,5 %). Содержание белковых веществ у ХГК из грибов *G. multipelium* (2,5 %) и *G. lucidum* (3,5 %) было выше в 1,56 и 2,18 раза, в сравнении с хитином, полученным из камчатского краба. При получении ХтзГК выход составил от 9,0 до 10,2 %. Наибольший выход был установлен при получении ХтзГК грибов *G. lucidum*. В отличие от хитина из камчатского краба содержание белковых веществ в ХтзГК из *A. mellea*, *G. lucidum* и *G. multipelium* превышало в 2,5, 3,5 и 3,0 раза. Повышенное содержание белковых веществ, вероятно, связано с неполным их разрушением на стадии депротеинизации при получении ХГК и проведении реакции дезацетилирования. Помимо этого, повышенное со-

держание белков может быть связано с более «мягкими» условиями обработки плодовых тел грибов при получении ХГК и ХтзГК в отличие от панциря камчатского краба. Содержание минеральных веществ в полученных образцах ХГК и ХтзГК существенно не отличалось от хитина и хитозана камчатского краба и составляло от 0,3 до 0,6%.

В результате исследования физико-химических свойств ХтзГК было установлено, что с максимальными значениями характеристической вязкости (2,3 см<sup>3</sup>/г), молекулярной массы (52 кДа) и степени дезацетилирования (79%) получен образец ХтзГК из биомассы плодовых тел *A. mellea* (табл. 2).

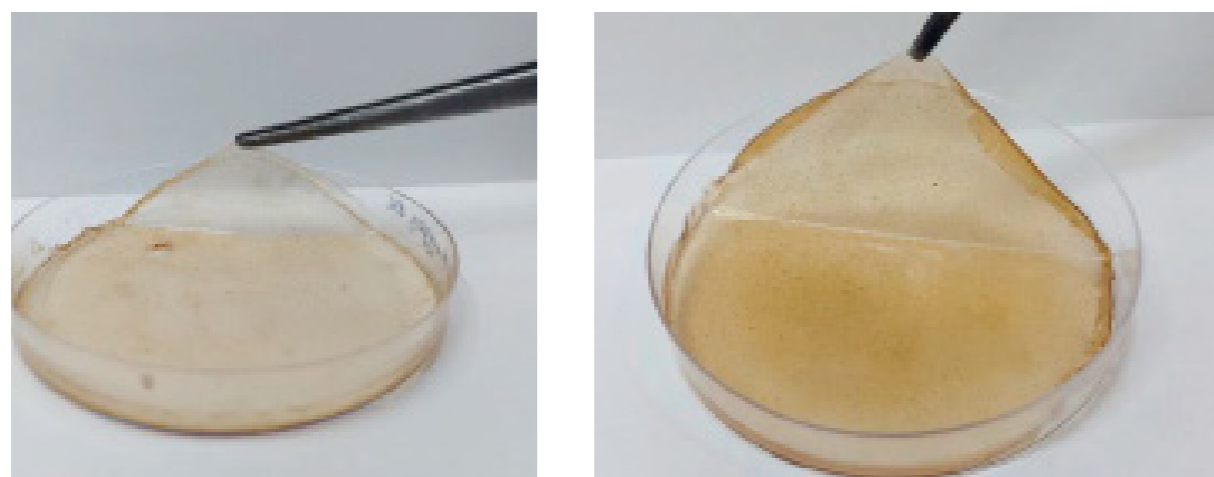
**Таблица 2.** Физико-химические свойства образцов ХтзГК и хитозана

Образец	Характеристическая вязкость [η], см <sup>3</sup> /г	Молекулярная масса, кДа	Степень дезацетилирования, %
ХГК из <i>A. mellea</i>	2,3±0,1	52±3	79±2
ХГК из <i>G. lucidum</i>	2,0±0,2	45±2	66±2
ХГК из <i>G. multipelium</i>	2,1±0,1	46±3	69±3
Хитин из <i>Paralithodes camtschaticus</i>	4,4±0,2	113±4	88±3

Характеристическая вязкость у образцов ХтзГК из *A. mellea*, *G. lucidum* и *G. multipelium* была ниже в 1,9, 2,2 и 2,1 раза в отличие от хитозана. Молекулярная масса полученных образцов также значительно отличалась. Вероятно, это связано с тем, что в составе ХГК присутствуют β-глюканы, содержание которых может достигать 60 % [8]. Важным показателем, отвечающим за растворимость в водно-кислых средах и набухание в воде, является степень дезацетилирования (СД). Значения СД полученных образцов из *A. mellea*, *G. lucidum* и *G. multipelium* были ниже в 1,10, 1,33 и 1,27 раза, чем у хитозана. Несмотря на то, что по физико-химическим свойствам полу-

ченные образцы ХтзГК уступают хитозану,  $\beta$ -глюканы, связанные с грибным хитином, усиливают его биологическую активность. Известно, что  $\beta$ -глюканы, выделенные из клеточной стенки грибов, обладают противовирусными, противоопухолевыми и иммуномодулирующими свойствами [6, 8].

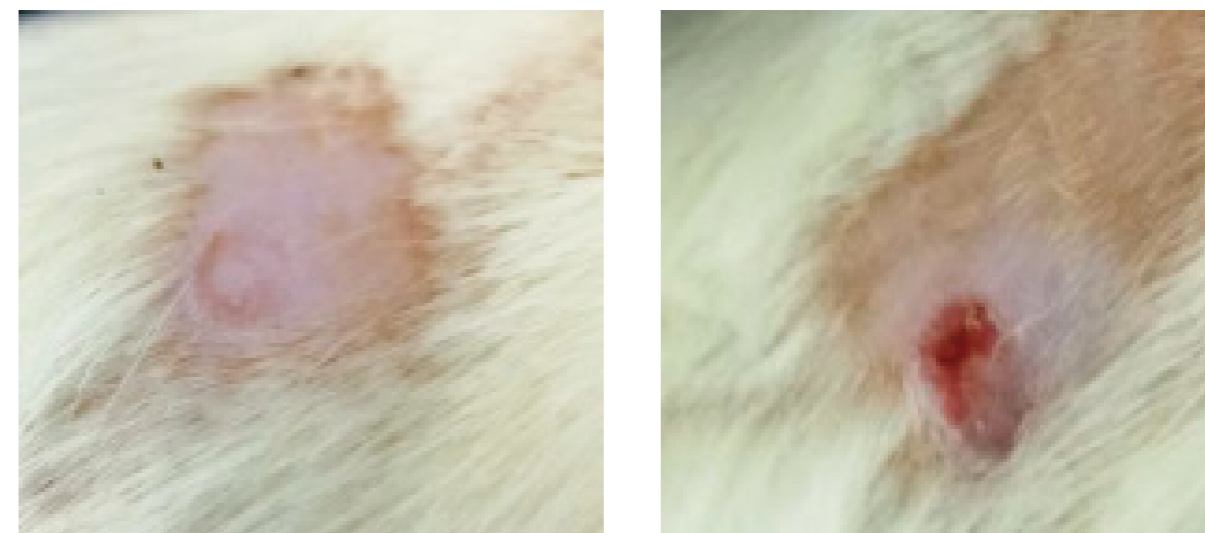
Для получения пленок проводили растворение порошков ХГК и ХтзГК в 2%-ной уксусной кислоте в концентрации 1% сухого вещества. Пленки готовили методом литья с последующим высушиванием при температуре 50 °С до постоянной массы. Образцы полученных пленок представлены на рисунке 2.



*Рисунок 2. Образцы пленок из ХГК (а) и ХтзГК (б)*

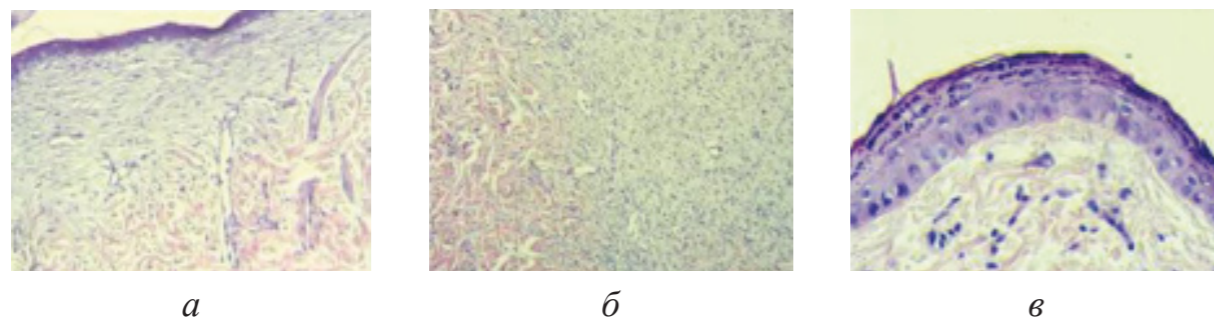
Исследования ранозаживляющей активности проводили на 4 опытных группах лабораторных крыс. У первой группы животных рану обрабатывали раствором ХГК, у второй группы – раствором ХтзГК, у третьей – облепиховым маслом (препарат сравнения) и у четвертой – физиологическим раствором (контроль). При моделировании раны были повреждены кожный покров и слои дермы – сосочковый и верхняя часть сетчатого.

В опытных группах при лечении исследуемыми образцами происходило заживление ожоговых ран по первичному натяжению под струпом. При этом не отмечалось признаков какой-либо экссудации, раздражения и зуда. Скорость заживления была выше, чем в контрольной группе и в группе, где использовали препарат сравнения. Это выражалось в более раннем сокращении диаметра раны к 11 суткам эксперимента, самоудалении струпа к концу эксперимента и наличием рубца на коже в области ожога. В контрольной группе полное заживление раны не наступило к концу эксперимента, а также отмечалось наличие небольшой раны и струпа на месте ожога (рис. 3).



*Рисунок 3. Внешний вид раны у животного на 10-е сутки после обработки: а) ХтзГК; б) физиологическим раствором*

Гистологическое исследование срезов с поверхности ран опытных животных показало полную регенерацию эпидермиса, отсутствие воспалительного инфильтрата и возрастание количества фибробластов в дерме (рис. 4).



**Рисунок 4.** Заживление раны у животных на примере 2 опытной группы (11 сутки эксперимента; окраска гематоксилин-эозином).

Увеличение: а)  $\times 40$ ; б)  $\times 100$ ; в)  $\times 400$ .

На рисунке 4в фиолетовым цветом окрашен верхний слой кожи – эпидермис. Отчетливо видно монослой стволовых клеток, которые сформировали базальную мембрану клетки и начали делиться, образуя верхние слои эпидермиса, включая роговой слой, что говорит о процессах восстановления после ожогов.

В таблице 3 представлены характеристики раны экспериментальных животных.

**Таблица 3.** Характеристика раны у животных в конце эксперимента (8–11 сутки)

Параметр	Характеристика параметра / номер группы			
	1	2	3	4
Форма раны	Овальная	Овальная	Овальная	Овальная
Диаметр, мм	5 → 1	6 → 4	10 → 5	11 → 8
Цвет поверхности	Белесоватый	Розовый	Темно-красный	Темно-красный
Общий вид	Рубец, волосы	Рана, по краям рубцевание, волосы	Тонкая корка, прорастают волосы	Тонкая корка, волосы
Болезненность	Нет	Нет	Нет	Нет

Таким образом, показано, что уксуснокислые растворы ХГК и ХтзГК, составляющие основу пленочных материалов, обладают высокой ранозаживляющей активностью в отношении ожоговых ран на экспериментальных животных без побочных эффектов. Обработанные растворами ХГК и ХтзГК раны на протяжении 11 суток эксперимента имели овальную форму диаметром от 1 до 4 мм, небольшой рубец и были безболезненны. Ожоговые раны, обработанные облепиховым маслом и физиологическим раствором, были темно-красного цвета с тонкой коркой и размером от 5 до 8 мм.

## ВЫВОДЫ

Исследованы способы получения ХГК и ХтзГК из биомассы высших базидиальных грибов. Установлено, что выход ХГК составил от 21,0 до 22,0%, ХтзГК от 9,0 до 10,2%. Изучены физико-химические свойства ХтзГК, полученных из биомассы плодовых тел грибов *A. mellea*, *G. lucidum* и *G. multipelium* – характеристическая вязкость (2,0–2,3 см<sup>3</sup>/г), степень деацетилирования (66–79%), молекулярная масса (45–52 кДа). Разработаны составы пленочных материалов на основе хитин- и хитозан-глюкановых комплексов. Показано, что пленки являются эластичными и обладают высокой ранозаживляющей активностью в отношении ожоговых ран на экспериментальных животных без побочных эффектов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Su, C.-H. Development of fungal mycelia as a skin substitute: Characterization of keratinocyte proliferation and matrix metalloproteinase expression during improvement in the wound-healing process / C.-H. Su, S.-H. Liu, S.-Y. Yu, Y.-L.

Hsieh, H.-O. Ho, C.-H. Hu, M.-T. Sheu // *Journal of Biomedical Materials Research Part A*. – 2004. – V. 72A(2). – P. 220–227. doi:10.1002/jbm.a.30235

2. Sheu, M.-T. Wound-healing effect of micronized sacchachitin (mSC) nanogel on corneal epithelium / M.-T. Sheu, Hsiu-O Ho Chen, Su Lui, Chen Lee // *International Journal of Nanomedicine*. – 2012. – V. 4697. doi:10.2147/ijn.s34530

3. Guo, S. Factors Affecting Wound Healing / S. Guo, L.A. DiPietro // *Journal of Dental Research*. – 2010. – V. 89(3). – P. 219–229. doi:10.1177/0022034509359125

4. Madlener, M. Matrix metalloprotein (MMP) and their physiological inhibitors (TIMP) are differentially expressed during excisional skin wound repair / M. Madlener, W.C. Parks, S. Wemer // *Exp Cell Res*. – 1998. – V. 242. – P. 201–210.

5. Rømer, J. Impaired wound healing in mice with a disrupted plasminogen gene / J. Rømer, T.H. Bugge, C. Fyke, L.R. Lund, M.J. Flick, J.L. Degen, K. Danø // *Nature Medicine*. – 1996. – V. 2(3). – P. 287–292. doi:10.1038/nm0396-287

6. Azuma, K. Derivatives for Wound Healing: Old and New Materials / K. Azuma, R. Izumi, T. Osaki, S. Ifuku, M. Morimoto, H. Saimoto, Y. Okamoto // *Journal of Functional Biomaterials*. – 2015. – V. 6(1). P. 104–142. doi:10.3390/jfb6010104

7. Shah, A. The wound healing and antibacterial potential of triple-component nanocomposite (chitosan-silver-sericin) films loaded with moxifloxacin / A. Shah, M. Ali Buabeid, E.-S. A. Arafa, I. Hussain, L. Li, G. Murtaza // *International Journal of Pharmaceutics*. – 2019. – V. 564. – P. 22–38. doi:10.1016/j.ijpharm.2019.04.046

8. Jones, M. Crab vs. Mushroom: A Review of Crustacean and Fungal Chitin in Wound Treatment / M. Jones, M. Kujundzic, S. John, A. Bismarck // *Marine Drugs*. – 2020. – V. 18(1). – P. 64. doi:10.3390/md18010064

9. Yusof, N.L.B.M. Flexible chitin films as potential wound-dressing materials: Wound model studies / N.L.B.M. Yusof, A. Wee, L.Y. Lim, E. Khor // *Journal of Biomedical Materials Research*. – 2003. – V. 66A(2). – P. 224–232. doi:10.1002/jbm.a.10545

10. Philibert, T. Current Status and New Perspectives on Chitin and Chitosan as Functional Biopolymers / T. Philibert, B.H. Lee, N. Fabien // *Applied Biochemistry and Biotechnology*. – 2016. – V. 181(4). – P. 1314–1337. doi:10.1007/s12010-016-2286-2

11. Минаков, Д. В. Выделение, структура и физико-химические свойства хитин-глюкановых комплексов высших грибов / Д.В. Минаков, А.А. Минакова, В.И. Маркин, Н.Г. Базарнова, С.Л. Тихонов, Е.Ю. Егорова // *Химия растительного сырья*. – 2023. – № 1. – С. 313 – 322.

12. Ившин, В. П. Методы выделения хитин-глюканового комплекса из нативной биомассы высших грибов / В.П. Ившин, С.Д. Артамонова, Т.Н. Ившина, Ф.Ф. // *Высокомолекулярные соединения, Серия Б*. – 2007. – том 49, № 12. – С. 2215 – 2222.

13. Lyalina, T. Correlation Analysis of Chitosan Physicochemical Parameters Determined by Different Methods / T. Lyalina, A. Zubareva, S. Lopatin, V. Zubov, S. Sizova, E. Svirshchevskaya // *Org. Med. Chem*. – 2017. – Vol. 1, № 3. – P. 1–9.

14. Федосеева, Е. Н. Вязкостные свойства растворов хитозана и его реакционная способность / Е. Н. Федосеева, Л. А. Смирнова, В. Б. Федосеев // *Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского*. – 2008. – № 4. – С. 59–64.

15. Muzzarelli, R. A. A. Biomedical Exploitation of Chitin and Chitosan via Mechano-Chemical Disassembly, Electrospinning, Dissolution in Imidazolium Ionic Liquids, and Supercritical Drying / R. A. A. Muzzarelli // *Marine Drugs*. – 2011. – 9(9). – P. 1510–1533. doi:10.3390/md9091510

**Минаков Д. В.**

кандидат биологических наук, доцент  
кафедры органической химии, ФГБОУ ВО  
«Алтайский государственный университет».  
Российская Федерация, г. Барнаул.  
E-mail: [minakovd-1990@yandex.ru](mailto:minakovd-1990@yandex.ru).

**Минакова А. А.**

к. х. н., доцент кафедры органической химии,  
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный  
университет». Российская Федерация, г. Барнаул.  
E-mail: [nastyasinitsyna.1994@mail.ru](mailto:nastyasinitsyna.1994@mail.ru).

## REFERENCES

1. Su, C.-H. Development of fungal mycelia as a skin substitute: Characterization of keratinocyte proliferation and matrix metalloproteinase expression during improvement in the wound-healing process / C.-H. Su, S.-H. Liu, S.-Y. Yu, Y.-L. Hsieh, H.-O. Ho, C.-H. Hu, M.-T. Sheu // *Journal of Biomedical Materials Research Part A*. – 2004. – V. 72A(2). – P. 220–227. doi:10.1002/jbm.a.30235
2. Sheu, M.-T. Wound-healing effect of micronized sacchachitin (mSC) nanogel on corneal epithelium / M.-T. Sheu, Hsiu-O Ho Chen, Su Lui, Chen Lee // *International Journal of Nanomedicine*. – 2012. – V. 4697. doi:10.2147/ijn.s34530
3. Guo, S. Factors Affecting Wound Healing / S. Guo, L.A. DiPietro // *Journal of Dental Research*. – 2010. – V. 89(3). – P. 219–229. doi:10.1177/0022034509359125
4. Madlener, M. Matrix metalloprotein (MMP) and their physiological inhibitors (TIMP) are differentially expressed during excisional skin wound repair / M. Madlener, W.C. Parks, S. Wemer // *Exp Cell Res*. – 1998. – V. 242. – P. 201–210.
5. Rømer, J. Impaired wound healing in mice with a disrupted plasminogen gene / J. Rømer, T.H. Bugge, C. Fyke, L. R. Lund, M. J. Flick, J. L. Degen, K. Danø // *Nature Medicine*. – 1996. – V. 2(3). – P. 287–292. doi:10.1038/nm0396-287
6. Azuma, K. Derivatives for Wound Healing: Old and New Materials / K. Azuma, R. Izumi, T. Osaki, S. Ifuku, M. Morimoto, H. Saimoto, Y. Okamoto // *Journal of Functional Biomaterials*. – 2015. – V. 6(1). P. 104–142. doi:10.3390/jfb6010104
7. Shah, A. The wound healing and antibacterial potential of triple-component nanocomposite (chitosan-silver-sericin) films loaded with moxifloxacin / A. Shah, M.

Ali Buabeid, E.-S. A. Arafa, I. Hussain, L. Li, G. Murtaza // *International Journal of Pharmaceutics*. – 2019. – V. 564. – P. 22–38. doi:10.1016/j.ijpharm.2019.04.046

8. Jones, M. Crab vs. Mushroom: A Review of Crustacean and Fungal Chitin in Wound Treatment / M. Jones, M. Kujundzic, S. John, A. Bismarck // *Marine Drugs*. – 2020. – V. 18(1). – P. 64. doi:10.3390/md18010064

9. Yusof, N.L.B.M. Flexible chitin films as potential wound-dressing materials: Wound model studies / N.L.B.M. Yusof, A. Wee, L.Y. Lim, E. Khor // *Journal of Biomedical Materials Research*. – 2003. – V. 66A(2). – P. 224–232. doi:10.1002/jbm.a.10545

10. Philibert, T. Current Status and New Perspectives on Chitin and Chitosan as Functional Biopolymers / T. Philibert, B.H. Lee, N. Fabien // *Applied Biochemistry and Biotechnology*. – 2016. – V. 181(4). – P. 1314–1337. doi:10.1007/s12010-016-2286-2

11. Minakov, D. V. Isolation, structure and physico-chemical properties of chitin-glucan complexes of higher fungi / D.V. Minakov, A.A. Minakova, V.I. Markin, N.G. Bazarnova, S.L. Tikhonov, E.Y. Egorova // *Chemistry of vegetable raw materials*. – 2023. – No. 1. – pp. 313–322.

12. Ivshin, V. P. Methods of isolation of the chitin-glucan complex from the native biomass of higher fungi / V.P. Ivshin, S.D. Artamonova, T.N. Ivshina, F.F. // *High-molecular compounds, Series B*. – 2007. – volume 49, No. 12. – pp. 2215 – 2222.

13. Lyalina, T. Correlation Analysis of Chitosan Physicochemical Parameters Determined by Different Methods / T. Lyalina, A. Zubareva, S. Lopatin, V. Zubov, S. Sizova, E. Svirshchevskaya // *Org. Med. Chem*. – 2017. – Vol. 1, № 3. – P. 1–9.

14. Fedoseeva, E. N. Viscous properties of chitosan solutions and its reactivity / E.N. Fedoseeva, L.A. Smirnova, V.B. Fedoseev // *Bulletin of the Nizhny Novgorod University named after N.I. Lobachevsky*. – 2008. – No. 4. – pp. 59–64.

15. Muzzarelli, R.A.A. Biomedical Exploitation of Chitin and Chitosan via Mechanical-Chemical Disassembly, Electrospinning, Dissolution in Imidazolium Ionic Liquids, and Supercritical Drying / R.A.A. Muzzarelli // *Marine Drugs*. – 2011. – 9(9). – P. 1510–1533. doi:10.3390/md9091510



**Minakov D. V.**

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Organic Chemistry, Altai State University. Barnaul, Russian Federation. E-mail: [minakovd-1990@yandex.ru](mailto:minakovd-1990@yandex.ru).

**Minakova A. A.**

PhD, Associate Professor of the Department of Organic Chemistry, Altai State University. Barnaul, Russian Federation. E-mail: [nastya.sinitsyna.1994@mail.ru](mailto:nastya.sinitsyna.1994@mail.ru).

УДК 637.3.05: 637.238.4

**И. А. Бакин**

*Российский государственный аграрный университет – МСХА  
(г. Москва)*

**Д. С. Бычков**

*Кузбасский государственный аграрный университет  
(г. Кемерово)*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОХРАННОСТИ  
ЛИОФИЛИЗИРОВАННОГО ТВОРОЖНОГО БИОПРОДУКТА  
С ЯГОДНЫМИ ДОБАВКАМИ**

*Аннотация. Использование ягод и продуктов их переработки в качестве добавок придает творожным продуктам уникальные вкус и структуру. Технология лиофилизации сохраняет биологическую активность и физико-химические свойства обогащающих добавок. В работе изучена технология сублимации творожного продукта с добавками ягодной мезги. Целью исследований было изучение влияния обогащающих добавок на сохранность и структурные характеристики лиофилизированного творожного продукта. Для этого решались задачи выявления перспектив обогащения состава творожного продукта растительными компонентами из вторичного ягодного сырья, определение показателей сохранности и изменения структуры в процессе лиофилизации. Структура образцов исследована методами сканирующей микроскопии и анализа изображений. Описаны характеристики продукта и дана количественная оценка различий структурных характеристик. Использование приемов лиофилизации позволяет сохранить вноси-*