

УДК 636.52/58.083:636.085.16

Научная статья

DOI: 10.32634/0869-8155-2023-377-12-138-142

Ж.Ю. Мурадян<sup>1</sup> ✉  
А.И. Албулов<sup>2</sup>  
Р.В. Рогов<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА им. К.И. Скрябина, Москва, Россия

<sup>2</sup>Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт биологической промышленности, Биокombинат, Московская обл., Россия

<sup>3</sup>Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

✉ zh\_muradyan@mail.ru

Поступила в редакцию:  
24.06.2023

Одобрена после рецензирования:  
24.11.2023

Принята к публикации:  
08.12.2023

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2023-377-12-138-142

Zhora Yu. Muradyan<sup>1</sup>  
Aleksey I. Albulov<sup>2</sup>  
Roman V. Rogov<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MBA named after K.I. Scriabin, Moscow, Russia

<sup>2</sup>All-Russian Scientific Research and Technological Institute of the Biological Industry, Biokombinat Settlement, Moscow Region, Russia

<sup>3</sup>Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

✉ zh\_muradyan@mail.ru

Received by the editorial office:  
24.06.2023

Accepted in revised:  
24.11.2023

Accepted for publication:  
08.12.2023

## Совершенствование технологии получения низкомолекулярного хитозана в условиях регулируемого ферментативного расщепления

### РЕЗЮМЕ

**Актуальность.** Представлены экспериментальные данные по совершенствованию технологии производства регулируемого ферментативного расщепления хитозана для получения его низкомолекулярных производных. Экспериментальные исследования проводили в условиях кафедры диагностики болезней, терапии, акушерства и репродукции животных Московской государственной академии ветеринарной медицины и биотехнологий — МВА им. К.И. Скрябина и на базе Всероссийского научно-исследовательского и технологического института биологической промышленности.

**Методы.** В качестве сырья для получения новых модификаций хитозана использовали кислоторастворимый хитозан из панциря камчатского краба (ММ 700 кДа, СДА 85%), сукцинат хитозана (ММ 330 кДа, СЗ 75,2 %), хитозан низкомолекулярный пищевой (гидрохлорид) (ММ 50 кДа), хитозан гелевый (2%-ный раствор в 2%-ной уксусной кислоте).

**Результаты.** В результате эксперимента были подобраны технологические параметры получения низкомолекулярного хитозана методом ферментативного гидролиза.

Достоверно наблюдалось наибольшее снижение динамической вязкости хитозана в опытно-промышленной серии II (в 29,3 раза), а опытно-промышленных серий I и III — в 6,9 и 10,6 раза соответственно. В результате ферментативного гидролиза хитозана в опытно-промышленной серии II удалось снизить молекулярную массу с 700 до 24 кДа, а в сериях I и III — до 102 и 66 кДа.

На основании результатов исследований разработана, апробирована и предложена для промышленного применения технологическая схема получения низкомолекулярных производных хитозана методом ферментативного гидролиза, разработаны технические условия.

**Ключевые слова:** низкомолекулярный хитозан, ферментативный гидролиз, ферментный препарат, молекулярная масса, динамическая вязкость, молекулярно-массовые характеристики, технологические параметры

**Для цитирования:** Мурадян Ж.Ю., Албулов А.И., Рогов Р.В. Совершенствование технологии получения низкомолекулярного хитозана в условиях регулируемого ферментативного расщепления. *Аграрная наука*. 2023; 377(12): 138–142. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-377-12-138-142>

© Мурадян Ж.Ю., Албулов А.И., Рогов Р.В.

## Improving the technology for obtaining of low molecular weight chitosan under conditions of controlled enzymatic cleavage

### ABSTRACT

**Relevance.** Annotation. Experimental data on improving the production technology of regulated enzymatic cleavage of chitosan to obtain its low-molecular derivatives are presented. Experimental studies were carried out in the conditions of the Department of Disease Diagnostics, Therapy, Obstetrics and Animal Reproduction of the Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MVA named after K.I. Skryabin and on the basis of the All-Russian Research and Technological Institute of the Biological Industry.

**Methods.** Acid-soluble chitosan from king crab shell (MM 700 kDa, SDA 85%), chitosan succinate (MM 330 kDa, SZ 75.2%), low-molecular food chitosan (hydrochloride) (MM 50 kDa) were used as raw materials for obtaining new modifications of chitosan, gel chitosan (2% solution in 2% acetic acid) manufactured by Bioprogress LLC.

**Results.** As a result of the experiment, the technological parameters of obtaining low-molecular chitosan by enzymatic hydrolysis were selected.

The greatest decrease in the dynamic viscosity of chitosan was reliably observed in the pilot-industrial series II (by 29.3 times), and the pilot-industrial series I and III — by 6.9 and 10.6 times, respectively. As a result of enzymatic hydrolysis of chitosan in the pilot series II, it was possible to reduce the molecular weight from 700 to 24 kDa, and in series I and III — to 102 and 66 kDa.

Based on the research results, a technological scheme for obtaining low-molecular-weight chitosan derivatives by enzymatic hydrolysis has been developed, tested and proposed for industrial use, technical conditions have been developed.

**Key words:** low molecular weight chitosan, enzymatic hydrolysis, enzyme preparation, molecular weight, dynamic viscosity, molecular weight characteristics, technological parameters

**For citation:** Muradyan Zh.Yu., Albulov A.I., Rogov R.V. Improving the technology for obtaining low-molecular chitosan under conditions of controlled enzymatic cleavage. *Agrarian science*. 2023; 377(12): 138–142 (In Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-377-12-138-142>

© Muradyan Zh.Yu., Albulov A.I., Rogov R.V.

## Введение/Introduction

Достижения биотехнологического прогресса — получение, изучение и внедрение в практику биополимеров хитозана и его производных. Особое внимание и важнейший интерес для перспективных применений хитозана представляют его низкомолекулярные формы [1]. В промышленных масштабах такие низкомолекулярные соединения получают методом химического или ферментативного гидролиза с хорошо известными ограничениями и недостатками, присущими этим технологиям [2].

Вопросу гидролиза хитозана, в том числе и ферментативного, в последнее время уделяется достаточно много внимания [3].

Преимущества ферментативного гидролиза, который проводят в гомогенной среде, — возможность достижения большого выхода олигосахаридов и малая степень реактирования. Для гидролиза используют как специфический для хитозана фермент хитиназу, так и неспецифические: коллагеназу, целлювиридин, трипсин, пепсин, липазу<sup>1</sup> [4]. Отмечается как сам факт проявления активности некоторых ферментов по отношению к хитозану, так и различного рода эффекты, сопровождающие данный процесс [5].

Применение ферментного препарата дает возможность регулировать молекулярную массу хитозана в широких пределах, изменяя такие параметры процесса, как длительность, pH и температура, но рациональным представляется регулирование молекулярной массы хитозана нормой внесения ферментативного препарата<sup>2</sup> [6].

Некоторые из этих препаратов проявляют гидролитическую активность (такую же, как хитиназы), а ряд протеаз даже более эффективно деполимеризуют хитозан по сравнению с препаратами хитиназ [7]. Между тем вопрос о причине воздействия неспецифических ферментов на хитозан до сих пор остается открытым [8]. Поскольку его свойства чрезвычайно сильно зависят от молекулярной массы, поэтому изучение закономерностей гидролиза хитозана представляет актуальную проблему в связи с производством и использованием различных продуктов на их основе [9].

Совершенствование химических способов переработки хитинсодержащего сырья и разработка новых технологий требуют детального изучения механизмов гидролиза хитозана в кислых и щелочных условиях и установления основных закономерностей этих превращений<sup>3</sup> [10].

Низкомолекулярный хитозан и его производные представляют значительный интерес в качестве препаратов для профилактики и лечения заболеваний, вызванных различными нарушениями иммунной системы, острыми или хроническими воспалительными процессами в организме<sup>4</sup> [11]. Поэтому исследования по созданию новых, более совершенных, экономичных и экологически безопасных технологий получения хитозана и его модификаций являются актуальными и имеют важное практическое значение [12].

**Цели исследования** — подобрать технологические параметры получения низкомолекулярного хитозана,

установить достоверное снижение динамической вязкости, определить молекулярно-массовые характеристики и физико-химические показатели в опытно-промышленных сериях.

## Материалы и методы исследования / Materials and methods

Экспериментальные исследования проведены в 2022 году на кафедре диагностики болезней, терапии, акушерства и репродукции животных Московской государственной академии ветеринарной медицины и биотехнологий — МВА им. К.И. Скрябина и на базе Всероссийского научно-исследовательского и технологического института биологической промышленности (г. Щелково, Московская обл., Россия).

Для проведения ферментативного гидролиза использовали препарат «Целловиридин Г20Х» (завод биологических препаратов, г. Бердск, Россия) на основе штамма *Trichoderma reesei*.

Для получения новых модификаций хитозана использовали кислоторастворимый хитозан из панциря камчатского краба (ММ 700 кДа, СДА 85%), сукцинат хитозана (ММ 330 кДа, СЗ 75,2%), хитозан низкомолекулярный пищевой (гидрохлорид) (ММ 50 кДа), хитозан гелевый (2%-ный раствор в 2%-ной уксусной кислоте) («Биопрогресс», Россия).

Измерение pH проводили потенциометрическим методом, для этого использовали pH-метры, ионометры марки И-160 МИ и pH-метр MP-220 Basic pH/mV/°C (Mettler-Toledo GmbH, Швейцария).

Для проведения эксперимента были изготовлены три опытно-промышленные серии низкомолекулярного хитозана. В каждой из этих серий использовали исходный хитозан в количестве 2 кг, отличающийся по фермент-субстратному соотношению компонентов реакции: I серия — 1:100, II серия — 1:10, III серия — 1:50.

В качестве контроля использовали две пробы хитозана: K<sub>1</sub> — исходный препарат хитозана; K<sub>2</sub> — препарат хитозана, прошедший те же этапы технологической обработки, что и опытно-промышленные серии, но без фермента.

Определение динамической вязкости растворов модификаций хитозана — на ротационном вискозиметре Reotest-2 (RheoTest Messgerate Medingen GmbH, Германия) в системе коаксиальных цилиндров при скоростях сдвига от 3 до 1400 С<sup>-1</sup> в соответствии с инструкцией, прилагаемой к прибору; молекулярно-массовые характеристики модификаций хитозана — на хроматографе высокого давления (Gilson, США), оснащенном инжектором Rheodyne с петлей на 200 мкл и рефрактометрическим детектором GilsonR1, колонкой TKS-GelGMPW<sub>XL</sub> 7,8 mmx 30 cm (Tosoh Bioscience, Япония).

Калибровку системы проводили по набору полиэтиленоксидных стандартов. Условия анализа: элюент — 0,2 М, уксусная кислота + ацетат натрия — 0,1 М или 0,2 М, скорость потока — 1 мл/мин, объем пробы — 50–100 мкл. Остаточную влажность образцов модифицированного хитозана — высушиванием пробы при T = 105 °С.

<sup>1</sup> Апрятина К.В., Горшеин М.К., Смирнова Л.А. Патент РФ RU 2703437 С1. Способ получения низкомолекулярного олигомерного хитозана и его производных (от 16.10.2019).

<sup>2</sup> Левитин С.В., Денисова Е.В., Сичевой Д.В. Патент РФ. RU 2627540 С1. Способ получения нанокристаллитов низкомолекулярного хитозана (08.08.2017). <https://elibrary.ru/item.asp>

<sup>3</sup> Холявка М.Г., Артюхов В.Г., Панкова С.М. 2769243 С1. Способ получения гетерогенного ферментного препарата на основе фицина и низкомолекулярного хитозана (29.03.2022). <https://elibrary.ru/item.asp>

<sup>4</sup> Шагдарова Б.Ц., Лопатин С.А., Коновалова М.В., Ильина А.В., Албулов А.И., Варламов В.П. RU 2627870 С1. Способ получения низкомолекулярного хитозана и олигомеров хитозана (14.08.2017). <https://elibrary.ru/item>

Полученные результаты статистически обработаны с использованием *t*-критерия Стьюдента. Достоверными считали различия при  $p \leq 0,05$ .

**Результаты и обсуждение / Results and discussion**

Для изучения зависимости молекулярной массы получаемого низкомолекулярного хитозана от количества используемого фермента (фермент-субстратное соотношение) проводили при следующих параметрах: pH — 5,4, *t* — 55 °С, продолжительность ферментации — 4 часа.

В качестве контроля использовали раствор хитозана без добавления ферментного препарата.

На рисунке 1 показано, что наиболее динамичное снижение молекулярной массы происходит в интервале фермент-субстратных соотношений от 1:1000 до 1:50.

Проведение ферментативного гидролиза в течение четырех часов при фермент-субстратном соотношении 1:50 молекулярная масса хитозана снизилась практически в семь раз по сравнению с контрольным образцом, что составляет 100 кДа.

Проводимое осаждение низкомолекулярного хитозана при pH 9–10 позволяет получить выход целевого продукта на уровне 55–70%, так как самые низкомолекулярные фракции остаются в растворе и оказываются потерянными. Снижение pH до 8 при промывке осадка значительно увеличивает потери целевого продукта, так как фракции с молекулярной массой 5 кДа и ниже приобретают растворимость и теряются вместе с фильтратом.

Изучение влияния продолжительности процесса ферментации на молекулярную массу хитозана проводили при фермент-субстратном соотношении 1:100, pH — 5,4, *t* — 55 °С.

Таблица 1. Физико-химические показатели опытно-промышленных серий низкомолекулярного хитозана

Table 1. Physical and chemical parameters of pilot series of low molecular weight chitosan

Наименование показателя	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	Опытно-промышленные серии хитозана		
			I	II	III
Внешний вид	Чешуйки от светло-бежевого до светло-коричневого цвета				
Остаточная влажность, %	7,14 ± 0,31	7,86 ± 0,42	8,21 ± 0,05	7,40 ± 0,05*	7,97 ± 0,1
Динамическая вязкость 1%-ного раствора хитозана в 2%-ной уксусной кислоте, сПз	1122,2 ± 53,15	669,5 ± 15,3*	162,0 ± 6,18	38,23 ± 3,56*	105,43 ± 4,9

Примечание: \* различия достоверны при  $p \leq 0,05$ .

Таблица 2. Результаты молекулярно-массовых характеристик опытно-промышленных серий низкомолекулярного хитозана

Table 2. Results of molecular weight characteristics of pilot series of low molecular weight chitosan

№ серии п/п	M <sub>w</sub>	M <sub>n</sub>	M <sub>w</sub> /M <sub>n</sub>	M <sub>p</sub>
I	273 650 ± 1893	25 410 ± 467	10,77 ± 12,15	111 960 ± 1248
II	62 450 ± 736*	10 840 ± 350*	5,76 ± 1,43*	34 119 ± 684*
III	181 410 ± 1461*	20 650 ± 428*	8,78 ± 1,15	74 016 ± 896*

Примечание: \* различия достоверны при  $p \leq 0,05$ ; M<sub>w</sub> — средневесовая молекулярная масса, Да; M<sub>n</sub> — среднечисловая молекулярная масса, Да; M<sub>w</sub>/M<sub>n</sub> — молекулярно-массовое распределение; M<sub>p</sub> — молекулярная масса на максимуме пика, Да

Рис. 1. Изменение динамической вязкости растворов хитозана в процессе ферментации в зависимости от фермент-субстратного соотношения

Fig. 1. Changes in the dynamic viscosity of chitosan solutions during enzymatic lysis depending on the enzyme-substrate ratio

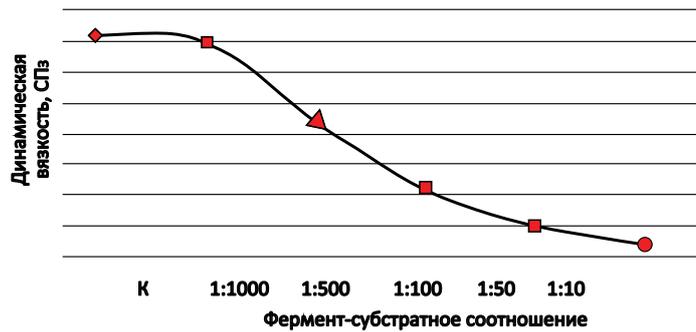
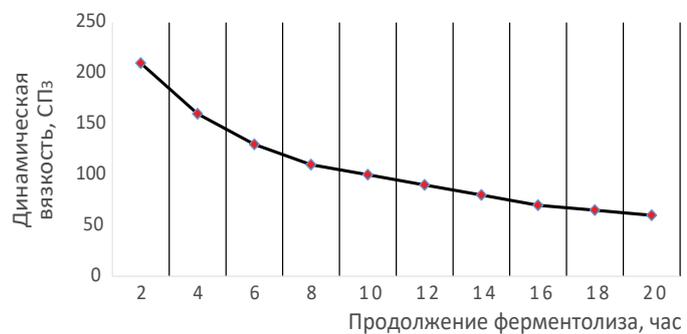


Рис. 2. Результаты изменения динамической вязкости растворов хитозана в зависимости от продолжительности процесса ферментации

Fig. 2. Results of changes in the dynamic viscosity of chitosan solutions depending on the duration of the fermentolysis process



Процесс ферментации осуществляли в течение 4–21 часа. Каждые два часа отбирали образцы хитозана для определения динамической вязкости его раствора.

В результате исследований процесс ферментации замедлился через 8–10 часов, о чем свидетельствует почти полное замедление падения динамической вязкости раствора хитозана (рис. 2).

Аналогичные результаты получены и при фермент-субстратном соотношении, равном 1:10. Однако в этих условиях снижение динамической вязкости раствора хитозана было более значительным — от 679,6 сПз исходного раствора до 15,2 сПз через 21 час гидролиза, то есть достоверное снижение в 44,7 раза соответственно. Молекулярная масса полученного хитозана в этом случае составила 15–16 кДа.

Физико-химические показатели опытно-промышленных серий хитозана представлены в таблице 1.

Как видно из данных (табл. 1), наибольшее снижение динамической вязкости хитозана достоверно наблюдалось в опытно-промышленной серии II (в 29,3 раза), а опытно-промышленных серий I и III — в 6,9 и 10,6 раза соответственно. В результате ферментативного гидролиза хитозана в опытно-промышленной серии II удалось снизить молекулярную массу с 700 до 24 кДа, а в сериях I и III — до 102 и 66 кДа.

**Рис. 3.** Блок-схема технологического процесса получения низкомолекулярного хитозана

**Fig. 3.** Block diagram of the technological process for obtaining low molecular weight chitosan



Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные.

Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу. Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ

- Скрябин К.Г., Вихорева Г.А., Варламов В.П. (ред.). Хитин и хитозан. Получение, свойства и применение. М.: Наука. 2002; 364. ISBN 5-02-006435-1 <https://www.elibrary.ru/rvymdh>
- Албулов А.И., Варламов В.П., Фролова М.А., Самуйленко А.Я., Гринь А.В. Технология получения низкомолекулярного хитозана для использования в медицине, ветеринарии и агробиологии. *Актуальная биотехнология*. 2019; (3): 678–680. <https://www.elibrary.ru/snojfy>
- Албулов А.И., Фролова М.А., Варламов В.П., Еремец В.И., Елисеев А.К., Ковалева Э.И. Применение ферментного препарата «Целловиридин Г20Х» в технологии получения низкомолекулярного хитозана. *Пищевая промышленность*. 2019; (4): 17–19. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10007>
- Васильева Т.М., Лопатин С.А., Варламов В.П. Получение низкомолекулярных форм хитина и хитозана в электронно-пучковой плазме. *Химия высоких энергий*. 2016; 50(2): 155–159. <https://doi.org/10.7868/S002311931602008X>
- Журавлева Н.В., Лукьянов П.А. Хитинолитические ферменты: источники, характеристика и применение в биотехнологии. *Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук*. 2004; (3): 76–86. <https://www.elibrary.ru/hpnbhv>
- Куликов С.Н., Лисовская С.А. Антимикотическая активность низкомолекулярных продуктов гидролиза хитозана в отношении дрожжеподобных грибов. *Успехи медицинской микологии*. 2018; 18: 149–152. <https://www.elibrary.ru/xqdfcx>
- Фролова М.А., Албулов А.И., Гринь С.А., Гринь А.В., Самуйленко А.Я. Технология изготовления низкомолекулярного хитозана на основе перекисного гидролиза. *Научные основы производства и обеспечения качества биологических препаратов для АПК. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию института. Щелково: ВНИТИБП*. 2019; 237–240. <https://www.elibrary.ru/vcmgel>
- Фролова М.А., Албулов А.И., Гринь С.А., Гринь А.В., Самуйленко А.Я. Разработка промышленной технологии изготовления низкомолекулярного хитозана. *Ветеринария и кормление*. 2019; (5): 35, 36. <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2019-5-13>

<sup>5</sup> ТУ 9289-038-11734126-15 Хитозан низкомолекулярный. Разработчик — отдел получения биологически активных веществ ФГБНУ ВНИТИБП. А.И. Албулов, М.А. Фролова, А.В. Гринь, Ж.Ю. Мурадян (утв. директором ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт биологической промышленности (ФГБНУ ВНИТИБП) А.Я. Самуйленко.

В таблице 2 представлены результаты определения молекулярно-массовых характеристик опытно-промышленных серий низкомолекулярного хитозана, определенные методом ВЭЖХ.

На основании результатов исследований разработана, апробирована и предложена для промышленного применения усовершенствованная технологическая схема получения низкомолекулярных производных хитозана методом ферментативного гидролиза, разработаны ТУ «Хитозан низкомолекулярный»<sup>5</sup> (ТУ 9289-038-11734126-15).

#### Выводы/Conclusion

Показано, что при проведении процесса ферментативного гидролиза хитозана (молекулярная масса — 700 кДа, СДА — 85%, pH — 5,4,  $t = 55^\circ\text{C}$ , продолжительность — 4 часа) позволяет получить низкомолекулярный хитозан с молекулярной массой от 15 до 24 кДа.

Наибольшее снижение динамической вязкости хитозана достоверно наблюдалось в опытно-промышленной серии II (в 29,3 раза), а опытно-промышленных серий I и III — в 6,9 и 10,6 раза соответственно.

В результате ферментативного гидролиза хитозана в опытно-промышленной серии II удалось снизить молекулярную массу с 700 до 24 кДа, а в сериях I и III — до 102 и 66 кДа.

В результате исследований были подобраны технологические параметры получения низкомолекулярного хитозана и определены физико-химические показатели опытно-промышленных серий в процессе ферментации.

All authors bear responsibility for the work and presented data.

All authors have made an equal contribution to this scientific work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

#### REFERENCES

- Skryabin K.G., Vikhoreva G.A., Varlamov V.P. (eds.). Chitin and Chitosan. Obtaining, properties and application. Moscow: Nauka. 2002; 364 (In Russian). ISBN 5-02-006435-1 <https://www.elibrary.ru/rvymdh>
- Albulov A.I., Varlamov V.P., Frolova M.A., Samuylenko A.Ya., Grin A.V. Technology for obtaining low molecular weight chitosan for use in medicine, veterinary medicine and agrobiolgy. *Topical biotechnology*. 2019; (3): 678–680 (In Russian). <https://www.elibrary.ru/snojfy>
- Albulov A.I., Frolova M.A., Varlamov V.P., Yeremets V.I., Eliseev A.K., Kovaleva E.I. The use of the enzyme preparation «Celloviridin G20H» in the technology for producing low molecular weight chitosan. *Food Industry*. 2019; (4): 17–19 (In Russian). <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10007>
- Vasilyeva T.M., Lopatin S.A., Varlamov V.P. Production of the low-molecular-weight chitin and chitosan forms in electron-beam plasma. *High Energy Chemistry*. 2016; 50(2): 155–159. <https://doi.org/10.1134/S0018143916020089>
- Zhuravleva N.V., Lukyanov P.A. Chitinolytic enzymes: sources, characteristics, and application in biotechnology. *Vestnik of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2004; (3): 76–86 (In Russian). <https://www.elibrary.ru/hpnbhv>
- Kulikov S.N., Lisovskaya S.A. Antimycotic activity of low molecular weight products of chitosan hydrolysis against yeast-like fungi. *Advances in Medical Mycology*. 2018; 18: 149–152 (In Russian). <https://www.elibrary.ru/xqdfcx>
- Frolova M.A., Albulov A.I., Grin S.A., Grin A.V., Samuylenko A.Ya. Manufacturing technology of low molecular weight chitosan based on peroxide hydrolysis. *Scientific basis for the production and quality assurance of biological preparations for the agro-industrial complex. Proceedings of the International scientific and practical conference dedicated to the 50th anniversary of the Institute. Shchelkovo: All-Russian Scientific Research and Technological Institute of Biological Industry*. 2019; 237–240 (In Russian). <https://www.elibrary.ru/vcmgel>
- Frolova M.A., Albulov A.I., Grin S.A., Grin A.V., Samuylenko A.Ya. Development of industrial technology for the manufacture of low molecular weight chitosan. *Veterinaria i kormlenie*. 2019; (5): 35, 36 (In Russian). <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2019-5-13>

9. Aktuganov G.E., Melentiev A.I. Specific features of chitosan depolymerization by chitinases, chitosanases, and nonspecific enzymes in the production of bioactive chitoooligosaccharides (Review). *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2017; 53(6): 611–627. <https://doi.org/10.1134/S0003683817060023>

10. Vasilieva T., Lopatin S., Varlamov V., Aung Tun Win. Controllable degradation of polysaccharides stimulated by electron-beam plasma. *22nd International Symposium on Plasma Chemistry*. 2015; II-11-11.

11. Varlamov V.P., Ilyina A.V., Shagdarova B.Ts., Lunkov A.P., Mysyakina I.S. Chitin/Chitosan and Its Derivatives: Fundamental Problems and Practical Approaches. *Biochemistry, Moscow*. 2020; 85(S1): 154–176. <https://doi.org/10.1134/S0006297920140084>

12. Zargar V., Asghari M., Dashti A. A Review on Chitin and Chitosan Polymers: Structure, Chemistry, Solubility, Derivatives, and Applications. *ChemBioEng Reviews*. 2015; 2(3): 204–226. <https://doi.org/10.1002/cben.201400025>

9. Aktuganov G.E., Melentiev A.I. Specific features of chitosan depolymerization by chitinases, chitosanases, and nonspecific enzymes in the production of bioactive chitoooligosaccharides (Review). *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2017; 53(6): 611–627. <https://doi.org/10.1134/S0003683817060023>

10. Vasilieva T., Lopatin S., Varlamov V., Aung Tun Win. Controllable degradation of polysaccharides stimulated by electron-beam plasma. *22nd International Symposium on Plasma Chemistry*. 2015; II-11-11.

11. Varlamov V.P., Ilyina A.V., Shagdarova B.Ts., Lunkov A.P., Mysyakina I.S. Chitin/Chitosan and Its Derivatives: Fundamental Problems and Practical Approaches. *Biochemistry, Moscow*. 2020; 85(S1): 154–176. <https://doi.org/10.1134/S0006297920140084>

12. Zargar V., Asghari M., Dashti A. A Review on Chitin and Chitosan Polymers: Structure, Chemistry, Solubility, Derivatives, and Applications. *ChemBioEng Reviews*. 2015; 2(3): 204–226. <https://doi.org/10.1002/cben.201400025>

#### ОБ АВТОРАХ

##### Жора Юрикович Мурадян<sup>1</sup>

кандидат биологических наук, доцент кафедры диагностики болезней, терапии, акушерства и репродукции животных  
zh\_muradyan@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-2516-7627>

##### Алексей Иванович Албулов<sup>2</sup>

доктор биологических наук, профессор, заведующий отделом биологически активных веществ  
info@bioprogress.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-7914-4397>

##### Роман Васильевич Рогов<sup>3</sup>

кандидат биологических наук, доцент департамента ветеринарной медицины Аграрно-технологического института  
r.v.rogov@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-3010-5714>

<sup>1</sup>Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА им. К.И. Скрябина, ул. Академика Скрябина, 23, Москва, 109472, Россия

<sup>2</sup>Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт биологической промышленности, пос. Биокombината, 17, Лосино-Петровский, Москва, 141142, Россия

<sup>3</sup>Российский университет дружбы народов, ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, 117198, Россия

#### ABOUT THE AUTHORS

##### Zhora Yurikovich Muradyan<sup>1</sup>

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Disease Diagnostics, Therapy, Obstetrics and Animal Reproduction  
zh\_muradyan@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-2516-7627>

##### Aleksey Ivanovich Albulov<sup>2</sup>

Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Biologically Active Substances  
info@bioprogress.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-7914-4397>

##### Roman Vasilievich Rogov<sup>3</sup>

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Veterinary Medicine Agricultural Technological Institute  
r.v.rogov@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-3010-5714>

<sup>1</sup>Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MVA named after K.I. Scriabin, 23 Academician Skryabin Str., Moscow, 109472, Russia

<sup>2</sup>All-Russian Research and Technological Institute of the Biological Industry, 17 Biokombinat, Losino-Petrovsky, Moscow, 141142, Russia

<sup>3</sup>Peoples' Friendship University, 6 Miklukho-Maclay Str., 117198, Moscow, Russia