

УДК 577.114.083

Поступила в редакцию 10.06.2019  
Received 10.06.2019**О.В. Павлова, О.К. Гладкая, М.М. Трусова***Учреждение образования «Гродненский государственный университет им. Я. Купалы»,  
г. Гродно, Республика Беларусь***ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ СОРБЦИИ НА СОРБЦИОННУЮ  
АКТИВНОСТЬ ХИТОЗАНА**

**Аннотация.** Во введении описывается строение хитозана, возможные области его использования в биотехнологическом производстве, пищевой промышленности и медицине, сельском хозяйстве. Представлен краткий обзор основной сырьевой базы для получения хитозана, отмечена необходимость нахождения оптимальных условий сорбции для проведения полного и детального анализа сорбционной активности хитозана.

Целью исследования является определение оптимальных условий системы сорбент-сорбат для выявления показателей сорбционной способности хитозана, а именно сорбционной емкости, удельной поверхности образцов сорбента и коэффициента распределения в системе сорбент-сорбат.

В основной части с целью изучения влияния исследуемых факторов на сорбционные способности хитозана был проведен двухфакторный эксперимент по оптимизации условий сорбции. Для проведения анализа значимости факторов с целью определения диапазона оптимальных значений этих показателей (экспозиция, температура) был проведен двухфакторный регрессионный анализ.

Результаты проведенного анализа показали, что на сорбционную способность хитозана достоверно влияют оба показателя (экспозиция, температура), значимым является и их сочетание. Максимальная сорбционная активность хитозана была выявлена при температуре 30 °С и экспозиции 60 мин. Полученные данные о диапазонах варьирования исследуемых факторов на контролируемый показатель послужили основой для использования оптимального режима при изучении сорбционных свойств хитозана.

Были установлены и проанализированы такие показатели сорбционной активности хитозана как, сорбционная емкость, удельная поверхность образцов сорбента, а также коэффициент распределения в системе сорбент-сорбат.

**Ключевые слова:** система сорбент-сорбат, хитозан, сорбционная активность, двухфакторный регрессионный анализ

**O.V. Pavlova, O.K. Gladkaya, M.M. Trusova***Educational institution «Yanka Kupala State University of Grodno», Minsk, Republic of Belarus***THE INFLUENCE OF THE SYSTEM SORBENT SORBATE  
ON THE SORPTION ACTIVITY OF CHITOSAN**

**Abstract.** The introduction describes the structure of chitosan, the possible areas of its use in biotechnological production, food industry and medicine, and agriculture. A brief review of the main raw materials bases of chitosan is presented, as well as noted the need to find the optimal mode of the sorbent-sorbate system, to conduct a complete and detailed analysis of the sorption activity of chitosan.

The purpose of the study is to determine the optimal conditions of the sorbent sorbate system to identify indicators of the sorption capacity of chitosan, namely the sorption capacity, the specific surface of the sorbent samples, as well as the distribution coefficient in the sorbent sorbate system.

In the main part, in order to study the influence of the studied factors on the sorption abilities of chitosan, a two-factor experiment was conducted to optimize the modes of the sorbent-sorbate system. To analyze the significance of factors in order to determine the range of optimal values of these indicators (exposure, temperature), two-factor analysis of variance was performed.

The results of the two-factor analysis of variance showed that both indicators (exposure, temperature) reliably influence the sorption capacity of chitosan, their combination is also significant. The maximum sorption activity of chitosan was detected at a temperature of 30 °С and exposure for 60 minutes. The obtained

data on the ranges of variation of the studied factors on a controlled indicator formed the basis for the use of the optimal mode in studying the sorption properties of chitosan.

Such indicators of chitosan sorption activity as sorption capacity, specific surface area of sorbent samples, as well as the distribution coefficient in the sorbent-sorbate system were established and analyzed.

**Keywords:** sorbent-sorbate system, chitosan, sorption activity, two-factor analysis of variance

**Введение.** Хитозан является продуктом деацетилирования хитина [1]. В зависимости от условий (концентрация и температура щелочной обработки) из хитина можно получить хитозан с различной степенью деацетилирования. Благодаря наличию аминных групп, хитозан обладает большей реакционной активностью по сравнению с хитином [2]. Хитозан является аминополисахаридом, полученным при удалении ацетильной группы из положения С<sub>2</sub> в хитине в результате обработки его в жестких условиях раствором щелочи, что позволяет заместить ацетильные группы хитина аминогруппами [3]. Уникальная структура макромолекулы хитозана и наличие положительного заряда обуславливают проявление антиоксидантных, радиопротекторных, волокно- и пленкообразующих, иммуномодулирующих, противоопухолевых свойств, а также его низкую токсичность и способность к биодеградации [4, 5, 6].

Интерес к исследованию такого биополимера, как хитозан, вызван его уникальными свойствами, позволяющими использовать его в различных областях человеческой деятельности [7]. В пищевой промышленности хитозан применяется в качестве загустителя и структурообразователя, при создании простых и многокомпонентных эмульсий, а также непосредственно при производстве продуктов питания, как один из компонентов в технологическом процессе. Благодаря тому, что хитозан обладает бактерицидным действием, его активно применяют при изготовлении пищевых пленок для хранения различной продукции [8]. Наличие хитозана в составе пищевых продуктов положительно сказывается на их биологической ценности. Хитозан попадая в пищеварительный тракт человека, не усваивается, а в кислой среде желудка образует раствор высокой вязкости, поэтому может быть использован как профилактический препарат в качестве энтеросорбента, ингибитора пепсина и регулятора кислотности желудочного сока [9]. В медицине хитозан нашел широкое применение в производстве хирургических нитей, искусственной кожи, лекарственных форм антисклеротического, антикоагуляторного и антиартрозного действия [10]. Немало важной является способность хитозано улучшать всасывание и эффективность труднорастворимых лекарственных препаратов, способствовать их пролонгированному действию, а также эффективно выводить из организма токсические продукты распада лекарственных средств [11]. В сельском хозяйстве хитозан применяется в качестве биостимулятора, обеспечивающего повышение урожайности сельскохозяйственных растений, как средство в борьбе с нематодами почв и корневой гнилью [12]. В ветеринарии активно разрабатываются кормовые добавки и обогащенные корма с добавлением хитозана, они способны повысить резистентность животных к инфекционным заболеваниям и укрепить общее здоровье поголовья [13]. В экологии и биотехнологии хитозан применяется для очистки сточных вод от органических и неорганических загрязнений, для иммобилизации ферментов и сорбции тяжелых металлов, радионуклидов [14]. Помимо всего перечисленного хитозан используется при изготовлении стиральных порошков, ткани, в бумажной промышленности [15].

Основной сырьевой базой для получения хитозана служит хитин, являющийся основой наружного скелета ракообразных, кутикулы насекомых, клеточной стенки грибов и некоторых бактерий [16]. Долгое время повсеместно в промышленном производстве хитозана основным сырьем служили ракообразные, но использование этого сырья может быть рентабельным только при условии одновременного извлечения всех полезных веществ, которые содержатся в панцире [17]. Кроме того, предприятия по получению хитина из панцирей ракообразных должны быть расположены в непосредственной близости от мест их лова. Поэтому, актуальным является получение хитозана из клеточных стенок грибов. Распространенность грибных организмов в природе и их высокая продуктивность делает этот источник хитозана промышленно значимым, особенно при использовании мицелия грибов, применяемых в биотехнологических процессах получения органических кислот, ферментов, антибиотиков [18]. Перспективным сырьевым источником хитинсодержащего сырья, целесообразным с экономической и экологической точки зрения, в Республике Беларусь является отход микробиологического синтеза лимонной кислоты – биомасса мицелиального гриба *Aspergillus niger*, выращиваемая в ходе глубинного культивирования на свекловичной мелассе (ОАО «Скидельский сахарный комбинат»).

Важными свойствами хитозана являются гигроскопичность, сорбционные свойства, способность к набуханию. Из-за того, что в молекуле хитозана содержится большое количество гидроксильных, аминных и других групп, его гигроскопичность очень велика (2–5 молекул на одно мономерное звено, которое находится в аморфных областях полимеров). По этому показателю хитозан уступает только глицерину и превосходит полиэтиленгликоль и каллериоль (высокополимерный спирт из

груши) [19]. Хитозан хорошо набухает и прочно удерживает в своей структуре растворитель, а также растворенные и взвешенные в нем вещества и в растворенном виде обладает намного большими сорбционными свойствами, чем в нерастворенном. Использование сорбирующих свойств хитозана в биотехнологическом производстве должно идти по пути оптимизации производственного процесса. Необходимо проведение полного и детального анализа оптимальных условий, при которых проявляется максимальная сорбционная активность хитозана. Таким образом, можно снизить количество затрачиваемого сорбента в технологическом процессе, и как следствие уменьшить себестоимости готового продукта.

**Целью** исследования является определение оптимальных условий системы сорбент-сорбат для выявления показателей сорбционной способности хитозана, а именно сорбционной емкости, удельной поверхности образцов сорбента и коэффициента распределения.

**Объекты и методы исследований.** Хитозан выделяется из биомассы *Aspergillus niger* в результате последовательного четырёхступенчатого кислотного-щелочного гидролиза. На первой ступени сырую биомассу обрабатывали раствором NaOH с концентрацией 2 % при температуре 90 °С в течение 1 ч. Второй этап состоит в воздействии на полученный после первой стадии полупродукт раствором соляной кислоты с концентрацией 3 % при температуре 30 °С и экспозицией 1 ч.

Установлено, что заданный режим обработки исходного сырья, концентрация HCl 3 %; температура 30 °С; экспозиции обработки 1 ч, является более эффективным способом деминерализации исходной биомассы, так как, способствует значительному освобождению клеточной стенки от остатков минеральных веществ, процентное соотношение уменьшения концентрации химических элементов по сравнению с контрольными образцами [3]. Третья стадия заключается в обработке полученного полупродукта 6 % раствором перекиси водорода. После каждого этапа обработки образцы промываются дистиллированной водой до pH = 7 и отжимаются. На четвертом этапе сырье обрабатывалось раствором гидроокиси натрия с процентным содержанием 40 %, при температурном режиме 90 °С в течение 1 ч. Завершающим этапом являлась сушка полученного продукта на целлофане при температурном режиме 20 °С и дальнейшая гомогенизация.

Полученное сырьё используется для определения адсорбционной способности по метиловому оранжевому (технические условия ГОСТ 4453-74). Для построения градуировочного графика готовят растворы сравнения. Для этого в 10 мерных колб объемом 100 см<sup>3</sup> каждая вводят 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 7,0; 8,0; 9,0 см<sup>3</sup> рабочего раствора метилового оранжевого массовой концентрации 150 мг/дм<sup>3</sup> после чего объемы доводят водой температурой (20±2) °С до метки. Полученные растворы содержат в 1 дм<sup>3</sup> соответственно 0,75; 1,50; 3,00; 4,50; 6,00; 7,50; 9,00; 10,50; 12,00; 13,50 мг/дм<sup>3</sup> метилового оранжевого.

Оптическую плотность приготовленных растворов сравнения измеряют на фотоэлектроколориметре, используя светофильтр с длиной волны от 390 до 410 нм в кюветах с толщиной поглощающего свет слоя 10 мм. В качестве контрольного раствора применяют дистиллированную воду. По полученным данным строят градуировочный график зависимости оптической плотности от массовой концентрации раствора сравнения, данные для построения графика указаны в табл. 1.

Т а б л и ц а 1. Зависимость оптической плотности от массовой концентрации раствора  
Table 1. The dependence of optical density on the mass concentration of the solution

№ станд. р-ра	Стандартный раствор индикатора 150 мг/дм <sup>3</sup> , мл	Дистиллированная вода, см <sup>3</sup>	C – концентрация индикатора, мг/ дм <sup>3</sup>	D – оптическая плотность
1	0,5	99,5	0,75	0,116
2	1,0	99,0	1,50	0,179
3	2,0	98,0	3,00	0,243
4	3,0	97,0	4,50	0,294
5	4,0	96,0	6,00	0,550
6	5,0	95,0	7,50	0,425
7	6,0	94,0	9,00	0,479
8	7,0	93,0	10,50	0,538
9	8,0	92,0	12,00	0,598
10	9,0	91,0	13,50	0,643

Для проведения анализа готовят раствор индикатора массовой концентрации 1500 мг/дм<sup>3</sup>. Навеску хитозана массой 0,1 г помещают в коническую колбу, вместимостью 100 см<sup>3</sup>, прибавляют 25 см<sup>3</sup> раствора метилового оранжевого массовой концентрации 1500 мг/дм<sup>3</sup>, закрывают пробкой и взбалтывают на аппарате для встряхивания жидкости в сосудах в течение 20 мин. После взбалтывания

полученную суспензию переносят в пробирки для центрифугирования и центрифугируют в течение 15 мин. Осторожно отбирают пипеткой 1 см<sup>3</sup> осветленного раствора и переносят в мерную колбу вместимостью 100 см<sup>3</sup>. Раствор в колбе разбавляют дистиллированной водой до метки. Оптическая плотность раствора после разбавления равна 0,626 оптических единиц. Коэффициент разбавления при этом равен 100.

Адсорбционную активность хитозана по индикатору в миллиграммах на 1 г продукта вычисляют по формуле 1:

$$X = \frac{(C_1 - C_2 K) \times 0,025}{m}, \quad (1)$$

где  $X$  – адсорбционная активность хитозана, (мг/г);  $C_1$  – массовая концентрация исходного раствора индикатора, (мг/дм<sup>3</sup>);  $C_2$  – массовая концентрация раствора после контактирования с хитозаном, (мг/дм<sup>3</sup>);  $K$  – коэффициент разбавления раствора; 0,025 – объем раствора индикатора, взятого для осветления, (дм<sup>3</sup>);  $m$  – масса навески хитозана, (г).

Определение удельной поверхности образцов сорбента в метрах на 1 г продукта производится по формуле 2:

$$S_{уд} = A \times S \times N_A, \quad (2)$$

где  $S_{уд}$  – удельная поверхность образцов сорбента, (м<sup>2</sup>/г);  $A$  – количество сорбированного индикатора, (мг/г);  $S$  – площадь занимаемая одной молекулой сорбента в монослое, (0,57\*10<sup>-18</sup> м<sup>2</sup>);  $N_A$  – число Авогадро, (6,02\*10<sup>23</sup>).

Определение коэффициента распределения в системе сорбент-сорбат вычисляют по формуле 3:

$$K_d = \frac{CE}{C_{кон}}, \quad (3)$$

где  $K_d$  – коэффициент распределения, (мл/г);  $CE$  – адсорбционная активность, (мг/г);  $C_{кон}$  – конечная концентрация, (мг/дм<sup>3</sup>).

Для построения эффективной математической модели целесообразно провести предварительный анализ значимости факторов (степени влияния на функцию), их ранжирование и исключить мало-значимые факторы. Планирование эксперимента и обработку экспериментальных данных проводили при помощи программ STATISTICA 6.1 и STATGRAPHICS.

При выборе факторов для проведения эксперимента учитывали соответствие факторов условиям управляемости (возможность установки и поддержания значения параметра постоянным), совместимости (не должны вызывать нарушения технологического процесса), независимости (устанавливаются независимо друг от друга) и однозначности (не являются функциями друг друга). Условия функционирования выбранных факторов указаны в табл. 2.

Таблица 2. Единицы варьирования компонентов среды  
Table 2. Units of variation of components of the environment

Компонент среды	Фактор	Уровень			Единица варьирования (λ)
		Нижний (-)	Средний (0)	Верхний (+)	
Температура, °С	$X_1$	20	30	40	10
Экспозиция, мин	$X_2$	20	40	60	20

**Результаты исследований и их обсуждение.** Составлена матрица полного факторного эксперимента (ПФЭ), согласно которой приготовлено 3<sup>2</sup> варианта режимов сорбции индикатора с целью определения оптимальных условий сорбции. Матрица планирования двухфакторного эксперимента по оценке влияния режимов системы на контролируемый показатель (сорбционную активность, мг/г) и его результаты представлены в табл. 3. Повторность опытов – трехкратная. Для построения эффективной математической модели проведён анализ значимости факторов (степени влияния на функцию), и исключение или фиксирование малозначимых факторов.

Результаты проведенного двухфакторного анализа показали, что на сорбционную способность хитозана достоверно влияют оба показателя (экспозиция, температура), значимым является их сочетание. Максимальная сорбционная активность хитозана была выявлена при температуре 30 °С и экспозиции 60 мин.

По результатам проведенных экспериментов получено уравнение регрессии, которое адекватно описывает взаимосвязь адсорбционной активности от температуры и экспозиции, и является эмпи-

рической математической моделью процесса сорбции. После исключения из уравнения незначимых факторов оно приобретает следующий вид:

$$Y = -803,69 + 60,31X_1 + 0,81X_2 - 0,99X_1^2 + 0,04X_1X_2 - 0,01X_2^2,$$

где  $Y$  – адсорбционная активность, (мг/г);  $X_1$  – температура, (°С);  $X_2$  – экспозиция, (мин.).

Таблица 3. Матрица планирования двухфакторного эксперимента и его результаты  
Table 3. Matrix planning a two-factor experiment and its results

Варианты среды	Исследуемые факторы		Адсорбционная активность, мг/г
	$X_1(t)$	$X_2(\tau)$	
1	-1	-1	36,25±0,005
2	-1	0	53,00±0,051
3	-1	+1	61,25±0,005
4	0	-1	147,00±0,011
5	0	0	178,00±0,068
6	0	+1	197,50±0,068
7	+1	-1	72,50±0,014
8	+1	0	102,50±0,021
9	+1	+1	128,00±0,121

Для сравнения эффектов влияния экспериментальных факторов на функцию отклика, а также оценки значимости полученных коэффициентов уравнений регрессии на рис. 1 представлена карта Парето. Из представленной на рис. 1 карты Парето видно, что исследуемые факторы действуют на адсорбционную активность хитозана не однонаправленно: повышение экспозиции взаимодействия ведет к увеличению адсорбционной активности, оптимальная температура сорбции приближается к 30 °С. Представленная диаграмма также подтверждает значимость коэффициентов уравнений регрессии.

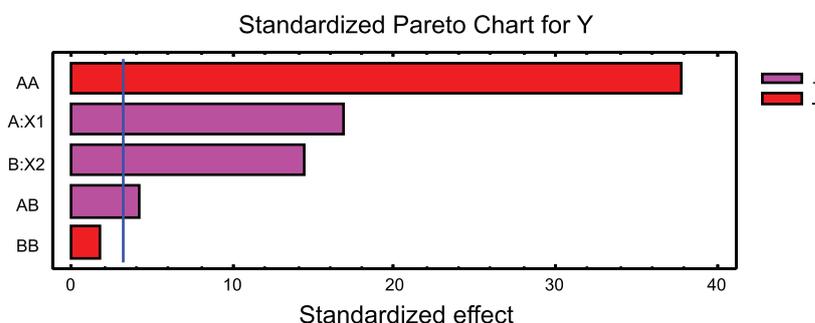


Рис. 1. Стандартизированная карта Парето для адсорбционной активности хитозана  
Fig. 1. Standardized Pareto map for chitosan adsorption activity

В результате анализа установлен коэффициент детерминации ( $R^2 = 0,9958$ ), который подтверждает адекватность полученной математической модели. Чем ближе его значение к 1, тем теснее связь результативного показателя, в данном случае адсорбционной активности, с исследуемыми факторами. Значение коэффициента детерминации достаточно. Чем значительнее доля объяснённой вариации, тем меньше роль прочих факторов, т.е. модель регрессии хорошо аппроксимирует исходные данные и такой моделью можно воспользоваться для прогноза значений результативного показателя.

Поверхность отклика, графически отражающая зависимость выходного параметра (адсорбционная активность, мг/г) от температуры и экспозиции, представлена на рис. 2. Данные поверхности позволяют выбрать диапазоны варьирования факторов, которые обуславливают получение максимальной адсорбционной активности.

Установлены и проанализированы такие показатели сорбционной активности хитозана как, удельная поверхность образцов сорбента и коэффициент распределения в системе сорбент-сорбат, значения данных показателей представлены в табл. 4. Значения удельной поверхности образцов сорбента, коэффициента распределения в системе сорбент-сорбат подтверждают заключение о том,

что оптимальными условиями для проведения сорбции с помощью хитозана являются температура 30 °С и экспозиция от 40 до 60 мин.

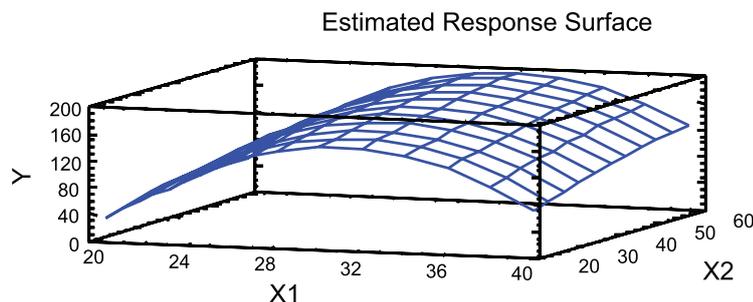


Рис. 2. Поверхность отклика, отражающая зависимость величины адсорбционной активности от температуры и экспозиции

Fig. 2. Response surface, reflecting the dependence of the value of adsorption activity on temperature and exposure

Таблица 4. Значение показателей сорбционной способности хитозана  
Table 4. The value of the sorption capacity of chitosan

Варианты среды	Удельная поверхность образцов сорбента, *10 <sup>3</sup> (м <sup>2</sup> /г)	Коэффициент распределения в системе сорбент-сорбат, *10 <sup>-3</sup> (мл/г)
1	124,35±0,019	30,33±0,003
2	182,20±0,176	47,02±0,026
3	210,17±0,019	55,93±0,003
4	504,41±0,039	196,01±0,008
5	610,89±0,232	284,76±0,062
6	677,59±0,233	359,13±0,071
7	248,81±0,052	69,04±0,008
8	351,61±0,071	110,21±0,012
9	439,28±0,417	155,08±0,085

**Заключение.** Полученные данные влияния условий сорбции на сорбционную способность хитозана при варьировании температурных режимов и экспозиции взаимодействия системы сорбент-сорбат явились основой для разработки оптимальных условий для осуществления сорбции при помощи хитозана. На основании полученных результатов составлен оптимальный режим сорбционной системы: температура 30 °С и экспозиция обработки от 40 до 60 мин.

#### Список использованных источников

1. Унрод, В.И. Хитин- и хитозансодержащие комплексы из мицелиальных грибов: получение, свойства, применение / В.И. Унрод, Т.В. Солодовник // Биополимеры и клетка. – 2001. – Т. 17, № 6. – С. 526–533.
2. Лябин, М.П. Совершенствование технологии получения хитозана / М.П. Лябин // Биология и биотехнология. – 2011. – №2. – С. 17–21.
3. Павлова, О.В. Оптимизация режимов деминерализации хитинсодержащего сырья в технологии получения хитозана из мицелиальных грибов рода *Aspergillus* / О.В. Павлова // Веснік ГрДУ імя Янкі Купалы. Сер 6. Тэхніка. – 2017. – Т. 7. – № 1. – С. 75–82.
4. Гальбрайт, Л.С. Хитин и хитозан: строение, свойства, применение / Л.С. Гальбрайт // Соросовский образовательный журнал. – 2001. – Т. 7, № 1. – С. 51–56.
5. Павлова, О.В. Технология выделения хитинсодержащих компонентов из биомассы мицелиальных грибов / О.В. Павлова, Б.В. Жидок // Молодежь и инновации – 2017: материалы междунар. науч. конф. молодых ученых, Горки, 1–3 июня 2017 г. – Горки, 2017.
6. Скрыбин, Г.А. Хитин и хитозан. Получение, свойства и применение / под ред. К.Г. Скрыбина, Г.А. Вихоревой, В.П. Варламова. – М. : Наука, 2002. – 368 с.
7. Горовой, Л.Ф. Сорбционные свойства хитина и его производных: Хитин, его строение и свойства / Л.Ф. Горовой, В.Н. Косяков В кн.: Хитин и хитозан. Получение, свойства и применение. – М. : Наука, 2002. – С. 217–246.

8. Тарановская, Е.А. Очистка сточных вод с применением хитозана / Е.А. Тарановская, Н.А. Собгайда, И.Н. Алферов, П.В. Морев // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2015. – № 10 (185). – С. 322–325.
9. Тыщенко, В.П. Физиология насекомых / В.П. Тыщенко. – М.: Высш. шк., 1986. – 303 с.
10. Сливкин, А.И. Разработка биокатализатора на основе трипсина, иммобилизованного на хитозане / А.И. Сливкин [и др.] // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2013. – Т. 13, № 1. – С. 53–59.
11. Ковалева, Т.А. Иммобилизация гидролитических ферментов на анионитах / Т.А. Ковалева [и др.] // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2008. – Т. 8, Вып. 6 – С. 1035–1041.
12. Немцев, С.В. Получение хитина и хитозана из медоносных пчел. / С.В. Немцев, О.Ю. Зуева, М.Р. Хисматуллин, А.И. Албулов, В.П. Варламов // Прикладная биохимия и микробиология. – 2004. – Т. 40. – № 1. – С. 46–50.
13. Красавцев, В.Е. Техничко-экономические перспективы производства хитина и хитозана из антарктического криля / Красавцев В.Е. // Современные перспективы в исследовании хитина и хитозана: материалы VII Международной конференции, Москва: ВНИРО, 2003. – С. 7–9.
14. Мезенова, О.Я. Гаммарус балтийский – потенциальный источник получения хитина и хитозана / О.Я. Мезенова, А.С. Лысова, Е.В. Григорьева // Современные перспективы в исследовании хитина и хитозана: материалы VII Международной конференции. – М.: ВНИРО, 2003. – С. 32.–33.
15. Антарктический криль: Справочник / Под ред. В.М. Быковой. – М: ВНИРО, 2001. – 207 с.
16. Осовская, И.И. Хитин-глюкановые комплексы (Физико-химические комплексы и молекулярные характеристики): учебное пособие / И.И. Осовская, Д.Л. Будилина, Е.Б. Тарабукина, Л.А. Нудьга, Санкт-Петербургский госуд. ун-т. – Санкт-Петербург, 2010. – 52 с.
17. Способ получения глюкан-хитозанового комплекса: пат. № 2043995 Россия, заявл. 1995 / Тесленко, А.Я., Воеводина И.Н., Галкин А.В., Львова Е.Б., Никифорова Т.А., Николаев С.В., Михайло Б.В., Козлов В.П. – 1995.
18. Харсун, А.И. Биохимия насекомых / А.И Харсун. – Кишинев: Карта, 1976. – С.170–181.
19. Курченко, В.П. Технологические основы получения хитина и хитозана из насекомых / В.П. Курченко, С.В. Буга, Н.В. Петрашкевич, Т.В. Буткевич, А.А. Ветошкин, Е.Л. Демченков, А.Д. Лодыгин О.Ю. Зуева, В.П. Варламов, О.И. Бородин – Труды БГУ. – 2016. – том 11, часть 1. – С. 110–126.

## References

1. Unrod, V.I. Khitin- i khitozansoderzhashchie komplekсы iz mitselial'nykh gribov: poluchenie, svoistva i primeneniye [*Chitin- and chitosan-containing complexes from filamentous fungi: preparation, properties, and application*] / Biopolimery i kletka. [*Biopolymers and a cell*] 2001. V. 17. №6. pp. 526–533 (in Russian).
2. Liabin, M.P. Sovershenstvovanie tekhnologii polucheniia khitozana [*Improving the technology of chitosan*] / Biologiia i biotekhnologiia. [*Biology and Biotechnology*] 2011. №2. P. 17–21 (in Russian).
3. Pavlova, O.V. Optimizatsiia rezhimov demineralizatsii khitinsoderzhashchego syr'ia v tekhnologii polucheniia khitozana iz mitselial'nykh gribov roda Aspergillus [*Optimization of demineralization regimes of chitin-containing raw materials in the technology of chitosan production from filamentous fungi of the genus Aspergillus*] / Vesnik GrDU imia Ianki Kupaly. Ser 6. Tekhnika. [*Vesnik GrdU imya Yanke Kupalya*] 2017. T.7. № 1. P. 75–82 (in Russian).
4. Gal'braikh, L.S. Khitin i khitozan: stroenie, svoistva, primeneniye [*Chitin and chitosan: structure, properties, application*] Sorosovskii obrazovatel'nyi zhurnal [*Soros Educational Journal*] – 2001. – T.7, №1. – P. 51–56 (in Russian).
5. Pavlova, O.V. Tekhnologiia vydeleniia khitinsoderzhashchikh komponentov iz biomassy mitselial'nykh gribov [*Technology for isolating chitin-containing components from filamentous fungal biomass*] / Molodezh' i innovatsii – 2017: materialy mezhdunar. nauch. konf. molodykh uchenykh, Gorki, 1–3 iyunia 2017 g. [*Youth and Innovations - 2017: materials of the Intern. scientific conf. Young Scientists, Gorki, June 1-3, 2017*] – Gorki, 2017 (in Russian).
6. Skriabin, G.A. Khitin i khitozan. Poluchenie, svoistva i primeneniye [*Chitin and chitosan. Receipt, properties and application*] M.: Nauka [*Science*], 2002. – 368 p. (in Russian).
7. Gorovoi, L.F. Sorbsionnye svoistva khitina i ego proizvodnykh: Khitin, ego stroenie i svoistva [*Sorption properties of chitin and its derivatives: Chitin, its structure and properties*] M.: Nauka [*Science*], 2002. – P. 217–246 (in Russian).
8. Taranovskaia, E.A. Ochistka stochnykh vod s primeneniem khitozana [*Wastewater treatment using chitosan*] Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. [*Bulletin of Orenburg State University*] – 2015. – № 10 (185) – P. 322–325 (in Russian).

9. Tyshchenko, V.P. Fiziologiya nasekomykh [*Insect physiology*] M: Vyssh.shk [*M: Higher*], 1986. – 303 p. (in Russian).
10. Slivkin, A.I. Razrabotka biokatalizatora na osnove tripsina, immobilizovannogo na khitozane [*Development of a biocatalyst based on trypsin immobilized on chitosan*] Sorbtionnye i khromatograficheskie protsessy [*Sorption and chromatographic processes*]. – 2013. – T.13, № 1. – P. 53–59 (in Russian).
11. Kovaleva, T.A. Immobilizatsiya gidroliticheskikh fermentov na anionitakh [*Immobilization of hydrolytic enzymes on anion exchanger*] Sorbtionnye i khromatograficheskie protsessy [*Sorption and Chromatographic Processes*] – 2008. – T.8, Vyp.6 – P. 1035–1041 (in Russian).
12. Nemtsev, S.V. Poluchenie khitina i khitozana iz medonosnykh pchel. [*Getting chitin and chitosan from honeybees*] Prikladnaia biokhimiia i mikrobiologiya. [*Applied Biochemistry and Microbiology*] – 2004. – T.40. №1, P. 46–50 (in Russian).
13. Krasavtsev, V.E. Tekhniko-ekonomicheskie perspektivy proizvodstva khitina i khitozana iz antarkticheskogo krilia [*Techno-economic prospects for the production of chitin and chitosan from Antarctic krill*] Sovremennye perspektivy v issledovanii khitina i khitozana: materialy VII Mezhdunarodnoi konferentsii, Moskva: VNIRO, 2003. [*Modern perspectives in the study of chitin and chitosan: proceedings of the VII International Conference, Moscow: VNIRO, 2003.*] – P. 7–9 (in Russian).
14. Mezenova, O.Ia. Gammarus baltiiskii – potentsial'nyi istochnik polucheniia khitina i khitozana [*Gammarus Baltic - a potential source of chitin and chitosan*] Sovremennye perspektivy v issledovanii khitina i khitozana: materialy VII Mezhdunarodnoi konferentsii. – M.: VNIRO, 2003. [*Modern perspectives in the study of chitin and chitosan: proceedings of the VII International Conference. – M.: VNIRO, 2003.*] – P. 32–33 (in Russian).
15. Antarkticheskii kril': Spravochnik [*Antarctic krill: a Handbook*]. – M: VNIRO [*M: VNIRO*], 2001. – 207 p. (in Russian).
16. Osovskaya, I.I. Khitin-gliukanovye komplekсы (Fiziko-khimicheskie komplekсы i molekuliarnye kharakteristiki): uchebnoe posobie [*Chitin-glucan complexes (Physicochemical complexes and molecular characteristics): study guide*] Sankt-Peterburgskii gosud. un-t. [*Petersburg State*] – Sankt-Peterburg, 2010. – 52 p. (in Russian).
17. Sposob polucheniia gliukan-khitozanovogo kompleksa: pat. № 2043995 Rossiia, zaiavl. [*The method of obtaining the glucan-chitosan complex: Pat. No. 2043995 Russia*] 1995 (in Russian).
18. Kharsun, A.I. Biokhimiia nasekomykh. [*Biochemistry of insects*] – Kishinev: Karta [*Chisinau: Map*], 1976. – P. 170–181 (in Russian).
19. Kurchenko, V.P. Tekhnologicheskie osnovy polucheniia khitina i khitozana iz nasekomykh [*Technological basis for the production of chitin and chitosan from insects*] – Trudy BGU. [*Proceedings of BSU*] – 2016. – volume 11, part 1. – p. 110–126 (in Russian).

#### Информация об авторах

Павлова Оксана Валерьевна – кандидат технических наук, доцент, заместитель декана по научной работе ГрГУ им. Я. Купалы (ул. Доватора, д. 3/1, каб. 121 а, 230029, г. Гродно, Республика Беларусь). E-mail: pavlova@grsu.by

Гладкая Ольга Константиновна – магистрант факультета биологии и экологии ГрГУ им. Я. Купалы (ул. Доватора, д. 3/1, каб. 226 а, 230029, г. Гродно, Республика Беларусь). E-mail: o.gladkaya@grsu.by

Трусова Мария Михайловна – магистрант факультета биологии и экологии ГрГУ им. Я. Купалы (ул. Доватора, д. 3/1, каб. 226 а, 230029, г. Гродно, Республика Беларусь). E-mail: brui.92@mail.ru

#### Information about authors

Pavlova Oksana V. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Deputy Dean for Scientific Work of the Grodno State University named after Y. Kupala (Dovator st., 3/1, room 121 a, 230029, Grodno, Republic of Belarus). E-mail: pavlova@grsu.by

Gladkaya Olga K. – graduate student of the Faculty of Biology and Ecology of the Grodno State University named after Y. Kupala (Dovator st., 3/1, room 226 a, 230029, Grodno, Republic of Belarus). E-mail: o.gladkaya@grsu.by

Trusova Maria M. – graduate student of the Faculty of Biology and Ecology of the Grodno State University named after Y. Kupala (Dovator st., 3/1, room 226 a, 230029, Grodno, Republic of Belarus). E-mail: brui.92@mail.ru