

УДК 663.63

[https://doi.org/10.47612/2073-4794-2023-16-1\(59\)-53-61](https://doi.org/10.47612/2073-4794-2023-16-1(59)-53-61)

Поступила в редакцию 24.08.2022

Received 24.08.2022

З. В. Ловкис¹, О. В. Павлова², Е. А. Белова², М. М. Трусова²¹*РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию», г. Минск, Республика Беларусь*²*Учреждение образования «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы», г. Гродно, Республика Беларусь*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ХИТОЗАНА ДЛЯ ОЧИСТКИ ПРИРОДНЫХ И СТОЧНЫХ ВОД

Аннотация. Адсорбция часто используется для очистки воды и приобрела популярность, потому что производит регенерацию и очищение стоков с наименьшими эксплуатационными расходами. Это эффективный, действенный и экономичный метод не только для очистки воды, но и для аналитических методов разделения. Цель работы — изучить возможность использования хитозана для очистки сточных и природных вод от химических компонентов в статических и динамических условиях. Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что данный природный сорбент обладает достаточными сорбционными способностями, следовательно, его целесообразно применять в качестве фильтрующего материала для очистки природных и сточных вод от загрязнений различного происхождения. С экономической точки зрения применение хитозана как фильтрующего материала является выгодным решением на предприятиях, нуждающихся в очистке сточных вод, так как он способен к регенерации, а его сорбционная способность не уступает активированному углю, который является известным сорбентом.

Ключевые слова: адсорбция, хитозан, природные и сточные воды, статика, динамика.

Z. V. Lovkis¹, O. V. Pavlova², E. A. Belova², M. M. Trusova²¹ *RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus”, Minsk, Republic of Belarus*² *Institution Education “Grodno State University named after Yanka Kupala”, Grodno, Republic of Belarus*

USE OF CHITOSAN FOR NATURAL AND WASTE WATER TREATMENT

Abstract. Adsorption is often used for water purification and has gained popularity because it produces high-quality treated wastewater with the lowest operating costs. It is an effective, efficient and economical method not only for water purification, but also for analytical separation methods. The purpose of the work is to evaluate the possibility of using chitosan for wastewater and natural water purification from chemical components in static and dynamic conditions. The results of the conducted studies indicate that the studied natural sorbent has sufficient sorption abilities, therefore, it is advisable to use it as a filter material for cleaning natural and wastewater from pollution of various origins. From an economic point of view, the use of chitosan as a filter material is an advantageous solution for enterprises in need of wastewater treatment, since it is capable of regeneration, and its sorption capacity is not inferior to activated carbon, which is a well-known sorbent.

Key words: adsorption, chitosan, natural and waste water, static, dynamics.

Введение. Хитозан представляет собой биополимер, состоящий из N-ацетил-D-глюкозаминовых и D-глюкозаминовых звеньев, получаемый различными способами: кислотнo-щелочным, ферментативным, комбинированным гидролизом, а также естественным путем, обнаруживаемым в некоторых грибах как часть их структуры [1].

Основным источником для получения хитозана в настоящее время являются членистоногие, а именно ракообразные. Наиболее доступными промышленными сырьевыми объектами для получения хитозана являются отходы переработки морских гидробионтов: крабов, кре-

веток, лобстеров и др. [2]. В качестве сырья для производства хитина и хитозана используют панцири головогруды и конечностей камчатского, синего, равношипного крабов. Другим наиболее массовым и легко добываемым объектом является рачок-бокоплав. Малая толщина панциря (100 — 500 мкм) и относительно высокое содержание хитина (25 — 30 %) и облегчают процесс его переработки для получения хитина и хитозана [3]. Еще одним перспективным источником является антарктический криль, обитающий в Атлантическом, Тихоокеанском и Индоокеанском секторах Антарктики [4]. Процесс получения хитозана из морских ракообразных является трудоемким и дорогостоящим, поэтому вопрос получения хитозана из других источников характеризуется все большей актуальностью. Перспективным сырьевым источником производства хитозана как с экономической, так и с экологической точки зрения является побочный продукт биотехнологических производств, в частности производства лимонной кислоты — мицелиальные грибы рода *Aspergillus* [5].

Свойства хитозана (средняя степень полимеризации, степень N-деацетилирования, положительный заряд и природа химических модификаций его молекулы) непосредственно влияют на его биологическую активность. Аминовая группа в составе хитозана способствует динамике его коагулирующих, диспергирующих и хелатных свойств. Хитозан, в соответствии с молекулярной массой и степенью деацетилирования, подразделяется на несколько типов, а молекулярная масса и степень деацетилирования в свою очередь влияют на растворимость хитозана, как одно из важнейших свойств, определяющих во многих случаях возможность его целевого применения [6].

Хитозан, в отличие от практически нерастворимого хитина, хорошо растворяется в разбавленных двухосновных органических кислотах [7], а в растворенном виде хитозан обладает намного большим сорбционным потенциалом, чем в нерастворенном. Данное свойство открывает широкие возможности для его применения в различных отраслях промышленности. Благодаря гидрофобным взаимодействиям, хитозан может связывать предельные углеводороды, жиры и жирорастворимые соединения. Наличие в молекуле хитозана большого количества гидроксильных, аминных групп обуславливает его гигроскопичность, способность к набуханию и прочному удерживанию в своей структуре растворителя, а также растворенных и диспергированных в нем веществ [8].

В экологических целях хитозан и хитин могут использоваться для очистки сточных вод от тяжелых металлов, органических соединений, радионуклидов, белков, углеводов, пестицидов, красителей [9-11]. Очистка воды может быть успешно решена путем применения материалов на основе хитозана, имеющего высокие сорбционные и коагуляционные свойства.

Хитозан в основном используется в качестве эффективного биосорбента в инженерии окружающей среды. Основным преимуществом хитозана, по сравнению с обычным активированным углем и другими биосорбентами, является его низкая цена, высокое сродство к ряду загрязняющих веществ (благодаря наличию amino- и гидроксильных групп), химическая стабильность, высокая реакционная способность и селективность в отношении загрязнений [12]. Хитозан и его модификации успешно используются для удаления ионов металлов, красителей, фенолов, анионов, пестицидов, фунгицидов и гуминовых веществ путем адсорбции [13].

Адсорбция часто используется для очистки воды и в последние годы приобрела популярность среди экологов, потому что позволяет качественно очистить сточные воды с наименьшими эксплуатационными расходами. Это эффективный, действенный и экономичный метод не только для очистки воды, но и для аналитических методов разделения как в малых, так и в больших масштабах [14].

Объект исследования — природные и сточные воды.

Цель работы — изучить возможность использования хитозана для очистки сточных и природных вод.

Материалы и методы исследований. Хитозан выделяется из биомассы *Aspergillus niger* в результате последовательного четырехступенчатого кислотного-щелочного гидролиза [15].

В качестве модельной воды была использована вода из реки Городничанка (г. Гродно). Сорбцию химических компонентов природных вод проводили в статических (100 мг сорбента на 100 мл природной воды) и динамических условиях (рис.1).

При статической сорбции сорбент выдерживали в растворе исследуемой соли в течение 30 минут, затем фильтровали.

Динамическую сорбцию проводили следующим образом: была сооружена фильтрующая колонка, на которой закрепили воронку, в ней равномерным слоем расположили сорбент на тонком слое пенокерамического фильтра для удержания сорбента при пропускании воды. В пробах воды, до и после сорбции стандартными фотометрическими, титрометрическими

и весовыми методами определяли рН, сухой остаток, нитриты, нитраты, ионы аммония, хлориды, сульфаты, фосфаты, содержание железа общего, общую жесткость, перманганатную окисляемость (XPK_{perm}), биохимическое потребление кислорода (БПК), цветность воды [16].



Рис. 1. Схема проведения эксперимента
Fig. 1. Scheme of the experiment

Степень извлечения химических компонентов (α , %) определяли по формуле (1):

$$\alpha(\%) = \frac{(C_{исх.} - C_{к.})}{C_{исх.}} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

Количество сорбированного химического компонента природных вод (сорбционную емкость, a , мг/г) рассчитывали по формуле (2):

$$a = \frac{(C_{исх.} - C_{к.})}{m \cdot 1000} \cdot V, \quad (2)$$

где V — объем пробы, мл; m — масса навески, г; $C_{исх.}$ — исходная концентрация, мг/л; $C_{к.}$ — конечная концентрация, мг/л.

Сорбционную активность хитозана к ионам железа изучали в модельных условиях. Содержание растворенного железа (III) в виде роданида $Fe(NSC)_4^-$ устанавливали фотометрическим методом, который основан на определении оптической плотности растворов комплексного соединения кроваво-красного цвета, образующегося при взаимодействии Fe^{3+} с роданидионом в кислой среде.

В процессе исследований была изучена сорбционная способность хитозана в зависимости от длительности его контакта (20, 40, 60 минут) с раствором-сорбатом на сорбционную активность по отношению к железу (III). Эксперименты проводили в статических условиях: температура $20^\circ C$, соотношение масс сорбента и металлсодержащих растворов — 1:50. Сорбент отделяли от раствора фильтрованием. Концентрацию ионов металлов в исходных растворах и после сорбции, определяли спектрофотометрическим методом (спектрофотометр PV 2201 (ЗАО «Solar», Беларусь)).

На следующем этапе испытания сорбционной способности образцов хитозана осуществляли на модельных растворах железа (III) при варьировании температуры взаимодействия системы сорбции ($20^\circ C$, $23^\circ C$, $26^\circ C$). Эксперименты проводили в статических условиях: экспозиция 1 час, соотношение масс сорбента и металлсодержащих растворов — 1:50. Сорбент отделяли от раствора фильтрованием. Концентрацию ионов металлов в исходных растворах и после сорбции, определяли спектрофотометрическим методом (спектрофотометр PV 2201 (ЗАО «Solar», Беларусь)).

Кроме того, исследована сорбционная способность хитозана в зависимости от концентрации раствора железа (III). Эксперименты проводили в статических условиях: температура $20^\circ C$ при соотношении масс сорбента и металлсодержащих растворов — 1:50. Сорбент отделяли от раствора фильтрованием. Концентрацию ионов металлов в исходных растворах и после сорбции, определяли спектрофотометрическим методом (спектрофотометр PV 2201 (ЗАО «Solar», Беларусь)).

Результаты исследований и их обсуждение. Для исследования возможности использования хитозана для очистки природных и сточных вод в качестве модельной среды послужила вода из реки Городничанка. Результаты первичных исследований сорбции основных ионов из природных вод приведены в табл. 1.

Таблица 1. Сорбционная способность хитозана по отношению к основным ионам природных вод
Table 1. Sorption capacity of chitosan in relation to the main ions of natural waters

Показатель	В условиях статической сорбции					
	Ионы аммония	Нитрат-ионы	Нитрит-ионы	Сульфат-ионы	Хлорид-ионы	Фосфат-ионы
Концентрация до сорбции*	3,60	12,50	0,22	4,10	45,72	0,093
Концентрация после сорбции*	3,20	12,50	0,10	2,50	39,19	0,093
Степень извлечения, (α, %)	11,10	-	54,55	39,00	14,28	-
Сорбционная емкость (a, мг/г)	0,40	-	0,12	3,20	6,53	-
Концентрация до сорбции, (мг/л)	4,20	14,30	0,22	4,6	44,58	0,041
Концентрация после сорбции, (мг/л)	3,60	14,20	0,086	2,7	43,78	0,039
Степень извлечения для, (α, %)	14,29	0,70	39,00	32,60	1,79	4,88
Сорбционная емкость (a, мг/г)	0,60	0,10	1,60	1,50	0,80	0,002

*Концентрация нитрит-ионов определялась по концентрации азота нитритов (мгN/л), концентрация всех остальных ионов определялась в мг/л.

В условиях статической сорбции наибольшую эффективность хитозан проявил по отношению к нитрат-ионам и сульфат-ионам (степень извлечения 54,55 % и 39 % соответственно). В условиях динамической сорбции наблюдалась та же закономерность, хотя степень сорбции снизилась (для нитрат-ионов она составила 39 %, а для сульфат-ионов 32,6 %). В статических условиях не выявлена способность хитозана извлекать из природных вод нитрат-ионы и фосфат-ионы, а в динамических условиях степень сорбции этих ионов была минимальная.

Таблица 2. Сорбционная способность хитозана по отношению к обобщенным показателям качества вод
Table 2. Sorption capacity of chitosan in relation to generalized indicators of water quality

Показатель	В условиях статической сорбции						
	Общая жесткость, мг.экв./л	pH, ед.	Цветность, градус цветности	XПК _{перм.} , мгО/л	БПК, мгО/л	Железо общее, мг/л	Общая минерализация, г/л
Значение показателя до сорбции	8,77	6,96	45,00	3,30	31,70	0,48	0,55
Значение показателя после сорбции	2,72	8,22	80,00	8,70	8,90	0,07	0,56
Степень извлечения, (α, %)	68,99	-	-	-	71,80	85,00	-
Сорбционная емкость (a, мг/г)	6,05	-	-	-	22,80	0,40	-
Значение показателя до сорбции	5,94	6,94	40	4,72	6,46	0,610	0,592
Значение показателя после сорбции	3,51	7,69	62	7,21	8,09	0,014	0,596
Степень извлечения, (α, %)	40,9	-	-	-	-	97,70	-
Сорбционная емкость (a, мг/г)	2,43	-	-	-	-	0,60	-

*Значение показателя pH в единицах pH, общей минерализации в г/л, общей жесткости в мг.экв./л, железа общего в мг/л, БПК и ХПК в мгО/л, цветности в градусах цветности.

Хитозан подщелачивает воду, данный эффект также может быть связан с его структурой и сложными взаимодействиями в воде. Хитозан снижает показатели жесткости воды, сорбируя ионы кальция и магния, причем характерна большая эффективность сорбции — до 69 % в условиях статической сорбции. Однако в динамических условиях степень очистки снизилась и составила 40,9 %, что можно связать со спецификой условий проведения эксперимента. По результатам многих исследований, выявлена способность хитозана связывать и прочно удерживать ионы различных металлов, в том числе ионов Ca²⁺ и Mg²⁺, где степень очистки достигает 60 % [17].

Хитозан увеличил градус цветности воды, что можно объяснить наличием в воде мелкодисперсных нерастворимых частиц, оставшихся после фильтрации исследуемой воды.

В статических условиях отмечена высокая степень извлечения легкоокисляемых органических веществ из природных вод, характеризуемая по показателю БПК, составившая 71 %. В динамических условиях повторить результат не удалось, вероятно, из-за недостаточности времени для контакта сорбента с извлекаемыми веществами.

Влияния сорбента на показатель ХПК природных вод не было выявлено, вероятно, из-за особенностей методики определения данного показателя.

Хитозан эффективно связывает ионы железа в воде (степень извлечения равна 85 % в условиях статической сорбции и 97,7 % в условиях динамической сорбции). Хитозан увеличил общую минерализацию воды, что можно объяснить наличием в воде мелкодисперсных нерастворимых частиц, оставшихся после фильтрации исследуемой воды. Так как была выявлена высокая сорбционная способность хитозана к ионам железа, эксперимент был продолжен.

Для последующего изучения степени аккумуляции железа (III) хитозаном были приготовлены растворы сравнения с разными концентрациями (табл. 3).

Таблица 3. Приготовление растворов сравнения Fe (III)
Table 3. Preparation of reference solutions Fe (III)

Раствор Fe (III), мл	Дистиллированная вода, мл	Массовая концентрация, мкг/л	Оптическая плотность
0,2	43,8	0,4	0,092
0,4	43,6	0,8	0,116
0,8	43,2	1,6	0,158
1,2	42,8	2,4	0,211
1,6	42,4	3,2	0,259
1,8	42,2	3,6	0,289

Анализ сорбции железа трехвалентного хитозаном проводили после взаимодействия исследуемой пробы с сорбентом в течение 1 часа при температуре 20°C. Хитозан для исследования брали массой равной 0,1 г на 50 мл раствора, содержащего определенную концентрацию Fe (III). Содержание железа в отфильтрованных пробах после сорбции определяли фотометрическим методом. Исследуемые пробы анализировали в трех повторностях (табл. 4).

Таблица 4. Результаты определения содержания Fe (III) до и после сорбции
Table 4. The results of determining the content of Fe (III) before and after sorption

№ пробы	Оптическая плотность	Среднее значение оптической плотности	Концентрация Fe (III), мкг/л
Показатели до сорбции			
1	0,060	0,060	1
	0,060		
	0,059		
2	0,086	0,081	1,35
	0,074		
	0,084		
3	0,059	0,060	1
	0,058		
	0,063		
Показатели после сорбции			
1	0,032	0,031	0,52
	0,031		
	0,029		
2	0,046	0,047	0,78
	0,048		
	0,047		
3	0,032	0,032	0,53
	0,031		
	0,032		

Установлено, что общее содержание ионов железа существенно уменьшилось во всех исследуемых пробах. Выявлено, что средняя сорбционная емкость сорбента к трехвалентному железу составила 54,3 %.

Для применения хитозана в качестве эффективного сорбента необходима его предварительная обработка дистиллированной водой до состояния насыщения раствора солеобразующими компонентами хитозана [18].

Также был проведен анализ сорбционной способности хитозана в зависимости от концентрации Fe (III) в растворе (табл. 5).

Таблица 5. Результаты определения содержания Fe (III) до и после сорбции
Table 5. The results of determining the content of Fe (III) before and after sorption

До сорбции		После сорбции	
Концентрация Fe (III), мкг/л	Оптическая плотность	Концентрация Fe (III), мкг/л	Оптическая плотность
0,4	0,022	0,22	0,013
0,8	0,046	0,45	0,027
1,6	0,088	0,82	0,049
2,4	0,141	1,03	0,062
3,2	0,189	1,53	0,092
3,6	0,219	1,75	0,105

Изучение зависимости доли поглощенного Fe (III) от его концентрации показало, что сорбционная активность максимальна при концентрации Fe³⁺ 2,4 мкг/л и минимальна при 0,8 мкг/л (рис. 2).

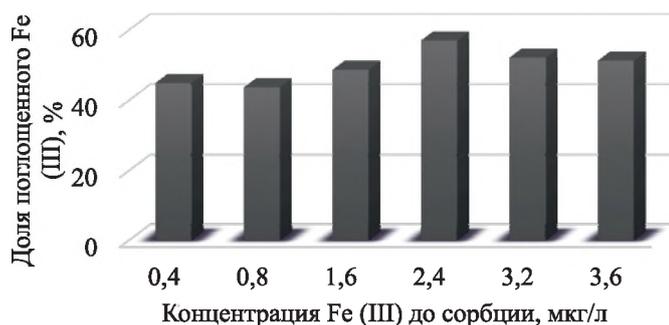


Рис. 2. Зависимость доли поглощенного Fe (III) от его концентрации
Fig. 2. Dependence of the share of absorbed Fe (III) on its concentration

В число важнейших характеристик сорбентов входит скорость достижения динамического равновесия между сорбентом и сорбатом. Проведено исследование влияния длительности контакта хитозана с раствором-сорбатом на сорбционную активность по отношению к железу (III). Показано, что сорбционная активность возрастает в системе сорбент — сорбат с увеличением длительности контакта сорбента с раствором (рис. 3).

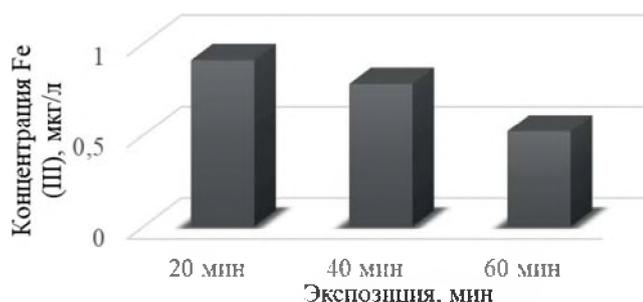


Рис. 3. Зависимость содержания Fe (III) от времени сорбции
Fig. 3. Dependence of Fe (III) content on sorption time

Проведено исследование влияния температуры системы сорбции на сорбционную активность хитозана по отношению к железу (III). Изучение зависимости сорбционной способности сорбента от температуры в диапазоне 20–26 °С показало, что сорбционная активность увеличивается с повышением температуры раствора (рис. 4). При этом в некоторых источниках в качестве оптимальной температуры для сорбции ионов металлов приводится 45 °С [19].

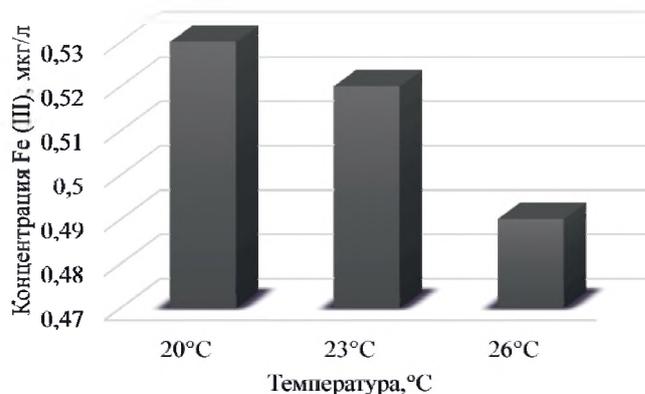


Рис. 4. Зависимость содержания Fe (III) от температуры сорбируемого раствора
Fig. 4. Dependence of the content of Fe (III) on the temperature of the sorbed solution

Проведено исследование оценки кратности использования хитозана для сорбции железа (III). Многократность использования позволяет снизить материальные затраты на получение хитозана. Показано, что сорбционная активность хитозана является достаточной при трехкратном его использовании (таблица 6).

Таблица 6. Результаты повторного использования хитозана для сорбции Fe (III)
Table 6. Results of repeated use of chitosan for Fe (III) sorption

Повторность, №	Оптическая плотность	Среднее значение оптической плотности	Концентрация Fe (III), мкг/л
1	0,032	0,031	0,52
	0,031		
	0,029		
2	0,039	0,037	0,62
	0,035		
	0,036		
3	0,041	0,040	0,67
	0,039		
	0,039		

Экспериментально установлено, что остаточная сорбционная активность при повторном использовании хитозана достаточно высока и составляет 33%, что говорит о возможности разработки системы очистки с многократным использованием хитозана. Исследуемый сорбент обладает высокой стабильностью в последовательных экспериментах, а гомогенизация делает данную систему более эффективной.

Заключение. Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что хитозан обладает достаточными сорбционными способностями и его целесообразно применять в качестве фильтрующего материала для очистки природных и сточных вод от загрязнений различного происхождения. С экономической точки зрения применение хитозана как фильтрующего материала является выгодным решением на предприятиях, нуждающихся в очистке сточных вод, так как он способен к регенерации, а его сорбционная способность не уступает активированному углю, который является известным сорбентом.

Список использованных источников

1. Domard, A. The International Conference on Chitin and Chitosan [Electronic resource] / A. Domard, E. Guibal // International Journal of Biological Macromolecules. — 2008. — Vol. 43, iss. 1. — P. 1.

2. *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.
3. *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.
4. Антарктический криль: Справочник / под ред. В.М. Быковой. — М: ВНИРО, 2001. — 207 с.
5. Хитин-глюкановые комплексы (Физико-химические комплексы и молекулярные характеристики): учебное пособие / И. И. Осовская, Д. Л. Будилина, Е. Б. Тарабукина, Л. А. Нудьга. — Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский госуд. ун-т, 2010. — 52 с.
6. *Shen-Kun, Liao.* A Kinetic Study of Thermal Degradations of Chitosan/Polycaprolactam Blends / Chi-Chih Hung, Shen-Kun Liao, Ming-Fung Lin // *Macromolecular Research*. — 2004. — Vol. 12, No. 5. — P. 466–473.
7. *Domard, A.* Some physicochemical and structural basis for applicability of chitin and chitosan. / A. Domard // Proc. 2nd. Asia Pacific Symposium “Chitin and chitosan” / Ed.F. Stevens, M.S. Rao, S. Chandrkrchang, Bangkok, Thailand. — 1996. — P. 1–12.
8. *Chatelet, C.* Influence of the degree of acetylation on some biological properties of chitosan films / C. Chatelet., O. Damour, A. Domard // *Biomaterials*. — 2001. — Vol.22, N.3. — P. 261–268.
9. *Allegre, C.* Coagulation-flocculation-decantation of dye house effluents: concentrated effluents / C. Allegre, M. Maiseu, F. Charbit, P. Moulin // *Hazard Mater* 116. — 2004. — P. 57–64.
10. *Павлова, О. В.* Сорбционная активность хитинсодержащего комплекса *Aspergillus niger* к ионам металлов / О. В. Павлова // Пищевая промышленность: наука и технологии. — 2015. — №2 (28). — С. 86–92.
11. *Гладкая, О. К.* Сорбционная способность хитозана к органическим соединениям / О. К. Гладкая, О. В. Павлова // Природопользование и экологические риски: материалы науч.- практ. конф., Минск, 5 июня 2019 г. — Минск: БГТУ, 2019. — С. — 337–338.
12. *Bhathangar, A.* Applications of chitin and chitosan-derivatives for the detoxification of water and wastewater/ A. Bhathangar, M. Sillanpää // A short review. *Advances in Colloid and Interface Science*. — 2009. — Vol. 152. — P. 26–38.
13. *Chen, Y.* Progress of microbial flocculant study and its application / Y. Chen, B. Lian // *Bull. Mineral Petrol Geochem*. — 2004. — Vol.23 — P. 83–89.
14. *Ciesielski, W.* Interactions of starch with salts of metals from the transition groups / W. Ciesielski, C.-y. Lii, M.-T. Yen, P. Tomasik // *Carbohydr. Polym*. — 2003. — 51 (1). — P. 47–56.
15. *Pavlova, O. V.* Optimization of demineralization regimes of chitin-containing raw materials in the technology of chitosan production from mycelial fungi of the genus *Aspergillus* / *Vesnik of YankaKupala State University of Grodno. Series 6. Engineering Science*. — 2017. — T.7. — №. 1. — P. 75–82.
16. *Федорова, А. И.* Практикум по экологии и охране окружающей среды / А.И. Федорова — М: ВЛАДОС, 2003. — 288 с.
17. *Humelnicu, Doina.* Comparative Study on Cu²⁺, Zn²⁺, Ni²⁺, Fe³⁺, and Cr³⁺ Metal Ions Removal from Industrial Wastewaters by Chitosan-Based Composite Cryogels / Humelnicu, Doina; Dragan, Ecaterina S.; Ignat, Maria; Dinu, Maria V A // *Molecules*. -2020. 25, no. 11: 2664.
18. *Ахметова, И. Г.* Исследование некоторых условий, обеспечивающих высокую сорбционную активность хитозана в процессах очистки сточных вод. / И. Г. Ахметова, Л. М. Миндубаева // Проблемы энергетики. — 2005. — №7-8. — С. 76-79.
19. *Jideowno, A.* Sorption of Some Heavy Metal Ions by Chitosan and Chemically Modified Chitosan. / A. Jideowno, J.M. Okuo, P.O. Okolo // *Trends in Applied Sciences Research*. — 2007. — №2 (3). — P. 211–217.

Информация об авторах

Ловкис Зенон Валентинович, заслуженный деятель науки Республики Беларусь, академик Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: Lovkis.zv@mail.ru

Information about authors

Lovkis Zenon Valentinovich, Honored Science Worker of the Republic of Belarus, Academician of the National Academy of Sciences of Belarus, Doctor of Engineering sciences, Professor, Chief Researcher of RUE “Scientific and Practical Centre for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus” (29 Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: Lovkis.zv@mail.ru

Павлова Оксана Валерьевна, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии, физиологии и гигиены питания учреждения образования «Гродненский государственный университет им. Я. Купалы» (ул. Доватора, д. 3/1, 230029, г. Гродно, Республика Беларусь).

E-mail: pavlova@grsu.by

Белова Екатерина Александровна, старший преподаватель кафедры экологии УО «Гродненский государственный университет им. Я. Купалы» (ул. Доватора, д. 3/1, 230029, г. Гродно, Республика Беларусь).

E-mail: belova_ea@grsu.by

Трусова Мария Михайловна, старший преподаватель кафедры технологии, физиологии и гигиены питания учреждения образования «Гродненский государственный университет им. Я. Купалы» (ул. Доватора, д. 3/1, 230029, г. Гродно, Республика Беларусь).

E-mail: brui.92@mail.ru

Pavlova Oksana Valerievna, PhD (Technical), Associate Professor, Head of the Department of Technology, Physiology and Food Hygiene of the educational institution «Grodno State University named after Ya. Kupala» (3/1 Dovator St., 230029, Grodno, Republic of Belarus).

E-mail: pavlova@grsu.by

Belova Ekaterina Alexandrovna, Senior Lecturer of the Department of Ecology of the educational institution «Grodno State University named after Ya. Kupala» (3/1 Dovator St., 230029, Grodno, Republic of Belarus).

E-mail: belova_ea@grsu.by

Trusova Maria Mikhailovna, Senior Lecturer of the Department of Technology, Physiology and Food Hygiene of the educational institution «Grodno State University named after Ya. Kupala» (3/1 Dovator St., 230029, Grodno, Republic of Belarus).

E-mail: brui.92@mail.ru