



ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ БИОЦЕНОЗА АКТИВНОГО ИЛА ПРИ ФУНКЦИОНИРОВАНИИ В СРЕДЕ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ БЕЛКОВО-ЛИПИДНОГО КОМПОНЕНТА

Юлия Н. Дочкина¹ ✉, dochkina.j.n@yandex.ru, 0000-0001-9113-1564

Алина А. Плякина¹, alina.plyakina7@gmail.com, 0000-0001-7848-2685

Владимир И. Корчагин¹, kvi-vgta@rambler.ru, 0000-0001-7212-1627

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», пр. Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Изучение влияния белково-липидных компонентов на показатели жизнедеятельности активного ила является перспективным с позиции выработки рекомендаций по предварительной очистке высококонцентрированных стоков, поступающих на линию биологического окисления. Объекты исследования: 1. Активный ил (иловый индекс 92,0-125,0 см³/г; массовая концентрация 4,0-5,5 г/дм³; скорость оседания 0,5-0,6 см³/мин), 2. Пептон сухой ферментативный для бактериологических целей (ГОСТ 13805-76). Методы исследования: ФР 1.31.2008.04397, ФР 1.31.2008.04398, ФР 1.31.2008.04400, микроскопирование образцов с целью гидробиологического исследования, лабораторная установка, включающая емкость для дозирования сточной воды, аэротенк – смеситель, емкость для отстаивания избыточного активного ила, компрессор. Условия, при которых осуществляли биоокисление, следующие: скорость подачи стока в аэротенк 0,5 дм³/час, расход воздуха на аэрацию одного аэротенка 2 дм³/мин, режим работы непрерывный, аэрация мелкопузырчатая, равномерная, интенсивная, время проведения исследования 5 недель. Изучение влияния содержания белково-липидного компонента в стоках на основные гидрохимические и гидробиологические показатели состояния биоценоза активного ила проводили с использованием модельной сточной воды с содержанием пептона ферментативного С = 500 мг/дм³, С = 1000 мг/дм³, С = 2000 мг/дм³, С = 3000 мг/дм³, С = 4000 мг/дм³. Полученные данные свидетельствуют о необратимом негативном влиянии на гидрохимические и гидробиологические показатели биоценоза активного ила стока с содержанием белково-липидного компонента 3000 мг/дм³ и более. Однако, при содержании белково-липидного компонента менее 1000 мг/дм³ наблюдается стабильная динамика как по гидрохимическим, так и по гидробиологическим показателям.

Ключевые слова: активный ил, биоценоз, белки, жиры, белково-липидный компонент

Благодарности: Авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Дочкина Ю.Н. Оценка состояния биоценоза активного ила при функционировании в среде с высоким содержанием белково-липидного компонента / Ю.Н. Дочкина, В.И. Корчагин, А.А. Плякина // Лесотехнический журнал. – 2021. – Т. 11. – № 4 (44). – С. 43–56. – Библиогр.: с. 51–55 (29 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.4/4>.

Поступила: 08.11.2021 **Принята к публикации:** 27.12.2021 **Опубликована онлайн:** 30.12.2021

ASSESSMENT OF THE STATE OF THE ACTIVATED SLUDGE BIOCEANOSIS WHEN FUNCTIONING IN AN ENVIRONMENT WITH A HIGH CONTENT OF PROTEIN-LIPID COMPONENT

Yulia N Dochkina¹ ✉, dochkina.j.n@yandex.ru,  0000-0001-9113-1564

Alina A Plyakina¹, alina.plyakina7@gmail.com,  0000-0001-7848-2685

Vladimir I Korchagin¹, kvi-vgta@rambler.ru,  0000-0001-7212-1627

¹ FSBEI HE Voronezh State University of Engineering Technologies, 394036, 19 Revolyutsii Ave., Voronezh, Russia

Abstract

The study of the effect of protein-lipid components on the vital functions of activated sludge is promising from the standpoint of developing recommendations for preliminary treatment of highly concentrated effluents entering the biological oxidation line. Objects of research: 1. Active sludge (sludge index 92.0-125.0 cm³/g; mass concentration 4.0-5.5 g/dm³; sedimentation rate 0.5-0.6 cm³/min), 2. Enzymatic dry peptone for bacteriological purposes (13805-76 State Standard). Research methods: FR 1.31.2008.04397, FR 1.31.2008.04398, FR 1.31.2008.04400, microscopic examination of specimens for the purpose of hydrobiological research, laboratory installation, including a container for dosing waste water, aeration tank - mixer, a container for settling excess activated sludge, a compressor. The conditions under which the biooxidation was carried out were as follows: the flow rate into the aeration tank was 0.5 dm³/h, the air consumption for aeration of one aeration tank was 2 dm³/min, the operating mode was continuous, the aeration was fine-bubble, uniform, intensive, the study time was 5 weeks. The study of the effect of the content of the protein-lipid component in the effluents on the main hydrochemical and hydrobiological indicators of the state of the activated sludge biocenosis was carried out using model waste water containing enzymatic peptone C = 500 mg/dm³, C = 1000 mg/dm³, C = 2000 mg/dm³, C = 3000 mg/dm³, C = 4000 mg/dm³. The data obtained indicate an irreversible negative effect on the hydrochemical and hydrobiological parameters of activated sludge biocenosis with a protein-lipid component content of 3000 mg/dm³ and more. However, when the content of the protein-lipid component is less than 1000 mg/dm³, stable dynamics is observed both in hydrochemical and hydrobiological indicators.

Keywords: activated sludge, biocenosis, proteins, fats, protein-lipid component

Acknowledgments: The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Dochkina J.N., Korchagin V.I., Plyakina A.A. (2021) Assessment of the state of active sludge biocenosis when functioning in an environment with a high content of protein-lipid component. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forest Engineering journal], Vol. 11, No. 4 (4), pp. 43-56 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.4/4>.

Received: 08.11.2021 **Revised:** 03.12.2021 **Accepted:** 27.12.2021 **Published online:** 30.12.2021

Введение

В настоящее время достаточно остро стоит вопрос антропогенного загрязнения водных объектов, важнейших компонентов окружающей природной среды, загрязнителями недостаточно очищенных производственных и бытовых сточных вод [1]. Эффективность очистки стоков на технологи-

ческой линии обезвреживания преимущественно зависит от работы блока биохимического окисления, однако, загрязнители, содержащиеся в сточных водах в высоких концентрациях, способны частично «проскакивать» в поверхностные водные объекты, приводя к их деградации [2].

Производственные сточные воды являются многокомпонентной системой непостоянного качественно-количественного состава [3], а сточные воды предприятий пищевой отрасли являются в свою очередь, высококонцентрированными и требуют дополнительной обработки [4].

В настоящее время применяются различные способы снижения содержания поллютантов в производственных стоках: реагентная обработка под ультразвуком [5], обработка бинарными системами (коагулянт + флокулянт) [6], очистка электрокоагуляционными методами [7], различные способы обработки в электрических полях [8], электрофлотация [9], ультразвуковая кавитация [10], сорбция с использованием различных сорбентов, в том числе цеолитов [11], адсорбция [12-14], флотация с использованием флотокомбайнов [15], пневмосепарация с использованием гумата калия [16], различные металлоорганические каркасные соединения [17], комбинированные методы типа: напорная флотация или электрофлотация совместно с анаэробно - аэробным обезвреживанием» [18], коагуляция с использованием в качестве реагента промышленных отходов [19], внедрение микроводорослей [20].

Производственный сток предприятий по переработке птицы содержит кровь, жиры, белки, углеводы, частицы мяса, кожи, перья. Кроме того, в воде присутствуют неорганические вещества, грязь и песок. Концентрация загрязнителей может достигать по показателям БПК и ХПК до 5100 мг/дм³ и до 12500 мгО₂/дм³ соответственно, по взвешенным веществам до 12000 мг/дм³ [2].

На сегодняшний день проблема очистки жиросодержащих сточных вод стоит достаточно остро и активно изучается за рубежом [21-25]. В свою очередь биологическая очистка возможна только для сточных вод, загрязненных веществами, которые могут быть окислены биоценозом активного ила – сообществом водорослей, беспозвоночных микроорганизмов различных систематических групп [26].

Как показывает практика, для того, чтобы эффективно извлечь белково-липидные компоненты из высококонцентрированных стоков на предшествующих биологической очистке стадиях зачастую требуется добавление различных реагентов,

изменяющих химический состав стоков или их pH [27], соответственно приводя к вторичному загрязнению, что влечет за собой необходимость дополнительной обработки сточных вод перед их сбросом в поверхностный водный объект или в централизованную канализационную сеть.

Широко используемый в настоящее время способ обработки сточных вод на птицеперерабатывающих предприятиях напорной флотацией не позволяет снизить содержание загрязнителей до допустимых значений, и недостаточно очищенный сток, поступающий на линию биоокисления, приводит к критическому снижению основных гидрохимических и гидробиологических показателей жизнедеятельности активного ила [28].

Однако, представленные исследования позволяют полагать, что извлеченные безреагентным способом белково-липидные компоненты высококонцентрированных стоков могут быть в дальнейшем использованы в области биологической очистки сточных вод в качестве питательного субстрата для биоценоза активного ила, испытывающего голод в обедненном стоке малочисленных населенных пунктов [29].

Таким образом, изучение влияния белково-липидных компонентов на показатели жизнедеятельности активного ила является перспективным как с позиции выработки рекомендаций по предварительной очистке высококонцентрированных стоков, так и с позиции их дальнейшего использования в качестве подкормки.

Материалы и методы

Объекты исследования

1. Активный ил очистных сооружений г. Воронежа. Гидрохимические показатели исходного активного ила: иловый индекс 92,0-125,0 см³/г; массовая концентрация 4,0-5,5 г/дм³; скорость оседания 0,5-0,6 см³/мин; надильная вода прозрачная; хлопок плотный, компактный, гранулообразный.

Гидробиологические показатели представлены в таблице 1 с учетом следующей шкалы встречаемости: 1 – единичные представители, 2 – малочисленные, 3 – среднечисленные, 4 – многочисленные.

Микрофотографии проб исходного активного ила представлены на рис. 1.

Таблица 1
Гидробиологические показатели активного ила
Table 1
Hydrobiological indicators of active sludge

Укрупненные индикаторные группы Enlarged indicator groups	Балл встречаемости Conditional occurrence score
<i>Euglypha</i>	3-4
<i>Kinetophragminophora</i>	3-4
<i>Spirotrihida</i>	3-4
<i>Peritricha</i>	3-4
<i>Rotifera</i> (<i>Rotaria</i> , <i>Philodina</i> , <i>Cephalodella</i>)	3-4
<i>Testacealobsia</i>	3-4
<i>Zoogloea ramigera</i>	2-3
<i>Gymnamoebia</i>	1-2
<i>Phytomastigophorea</i>	1-2

Источник: собственные экспериментальные данные
Source: own experimental data

2. Пептон сухой ферментативный для бактериологических целей (ГОСТ 13805-76) получаемый из рубцов и летошки крупного рогатого скота, овец, коз, а также желудков свиней с использованием слизистой оболочки желудков и поджелудочной железы. Является источником белково-липидного компонента.

Методы исследования

1. Изучение гидрохимических показателей активного ила осуществляли по комплексу методик: «Определение массовой концентрации активного ила, илового индекса, прозрачности надильовой воды» ФР 1.31.2008.04397, ФР 1.31.2008.04398, ФР 1.31.2008.04400.

2. Гидробиологические показатели активного ила определяли посредством микроскопирования электронным микроскопом Livenhuk G670T с использованием определителя видового разнообразия микроорганизмов.

3. Экспериментальные исследования проводились на лабораторной установке, моделирующей работу проточного аэротенка-вытеснителя, представленной на рисунке 2.

4. Лабораторная установка включает в себя емкость для дозирования сточной воды, аэротенк – смеситель, емкость для отстаивания избыточного активного ила, компрессор.

5. Условия, при которых осуществляли биоокисление, следующие: скорость подачи стока в

аэротенк 0,5 дм³/ч, расход воздуха на аэрацию одного аэротенка 2 дм³/мин, режим работы непрерывный, аэрация мелкопузырчатая, равномерная, интенсивная, время проведения исследования 5 недель, количество параллельных опытов на каждое значение концентрации белково-липидного компонента – 3.

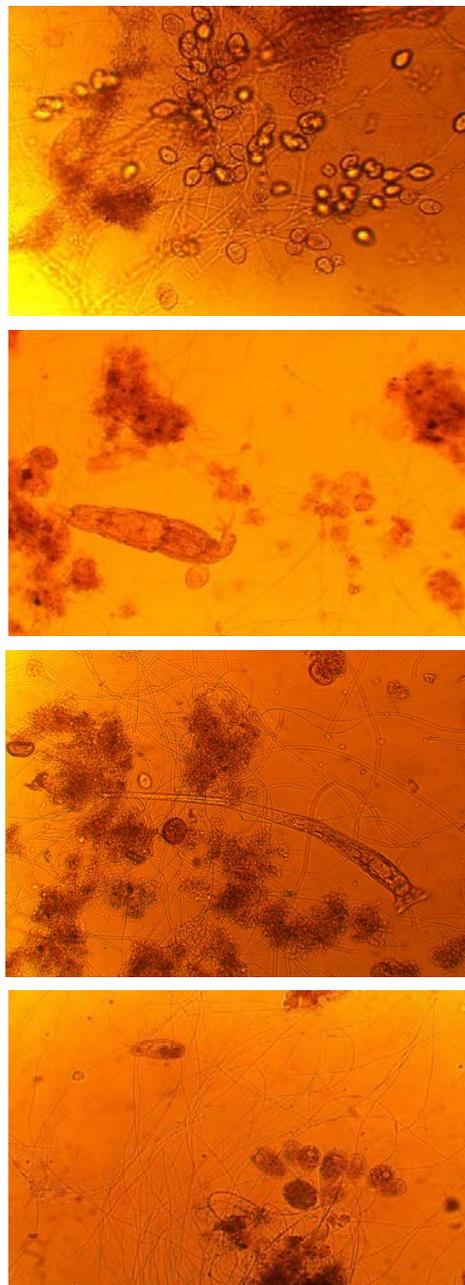


Рисунок 1. Микрофотографии исходного активного ила
Figure 1. Micrographs of the initial active sludge

Источник: собственные экспериментальные данные
Source: own experimental data



Рисунок 2. Экспериментальная установка

Figure 2. Experimental setup

Источник: собственная композиция авторов

Source: authors' composition

Результаты и обсуждение

Изучение влияния концентрации белково-липидного компонента в стоках на основные гидрохимические и гидробиологические показатели состояния биоценоза активного ила проводили с использованием модельной сточной воды с содер-

жанием пептона ферментативного $C = 500 \text{ мг/дм}^3$, $C = 1000 \text{ мг/дм}^3$, $C = 2000 \text{ мг/дм}^3$, $C = 3000 \text{ мг/дм}^3$, $C = 4000 \text{ мг/дм}^3$.

Результаты, полученные по истечении 5 недель экспериментальных исследований, представлены в табл. 2. Графическое отображение динамики основных гидрохимических показателей состояния биоценоза активного ила: массовой концентрации, илового индекса и скорости оседания представлены на рис. 3, на рис. 4 представлена визуализация полученных данных в виде статических диаграмм и таблиц расчетных значений. Микрофотографии образцов активного ила, осуществлявшего очистку сточных вод с содержанием белково-липидного компонента $C = 500 \text{ мг/дм}^3$, $C = 1000 \text{ мг/дм}^3$, $C = 2000 \text{ мг/дм}^3$, $C = 3000 \text{ мг/дм}^3$, $C = 4000 \text{ мг/дм}^3$, представлены на рис. 5.

Таблица 2

Гидрохимические показатели активного ила при биологической очистке белково-липидного стока

Table 2

Hydrochemical parameters of active sludge in the biological treatment of protein-lipid wastewater

Показатель Indicator	Концентрация пептона, C , мг/дм^3 Peptone concentration, C , mg/dm^3				
	500,0	1000,0	2000,0	3000,0	4000,0
Иловый индекс, $\text{см}^3/\text{г}$ Silt index, cm^3/g	78,18	135,1	462,5	212	48,2
Массовая концентрация, г/дм^3 Mass concentration, g/dm^3	3,76	2,66	1,16	0,92	0,28
Скорость оседания, $\text{см}^3/\text{мин}$ Settling rate, cm^3/min	0,63	0,53	0,16	0,71	0,82
Прозрачность надиловой воды Water transparency	прозрачная transparent		мутная muddy		
Хлопок Accumulation	крупный, компактный large, compact		средний, компактный medium, compact		диспергированный separated

Источник: собственные экспериментальные данные

Source: own experimental data

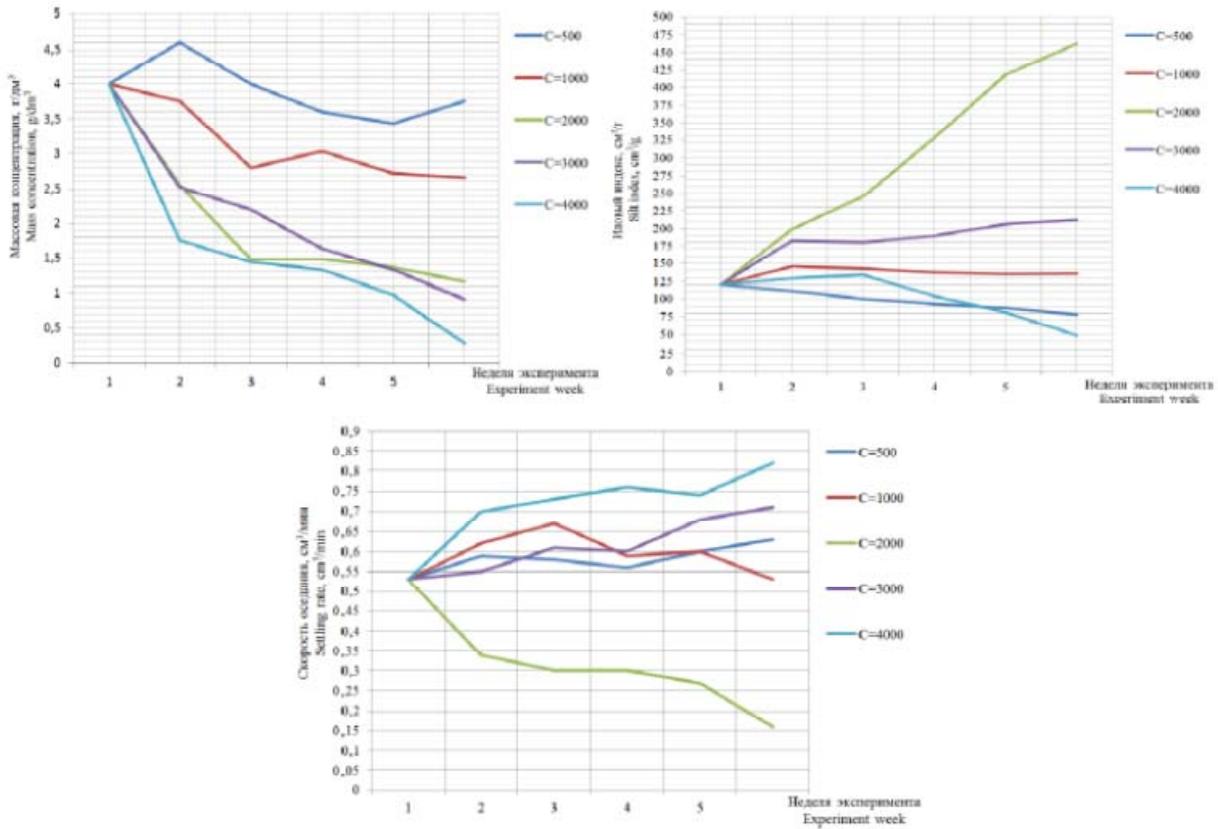
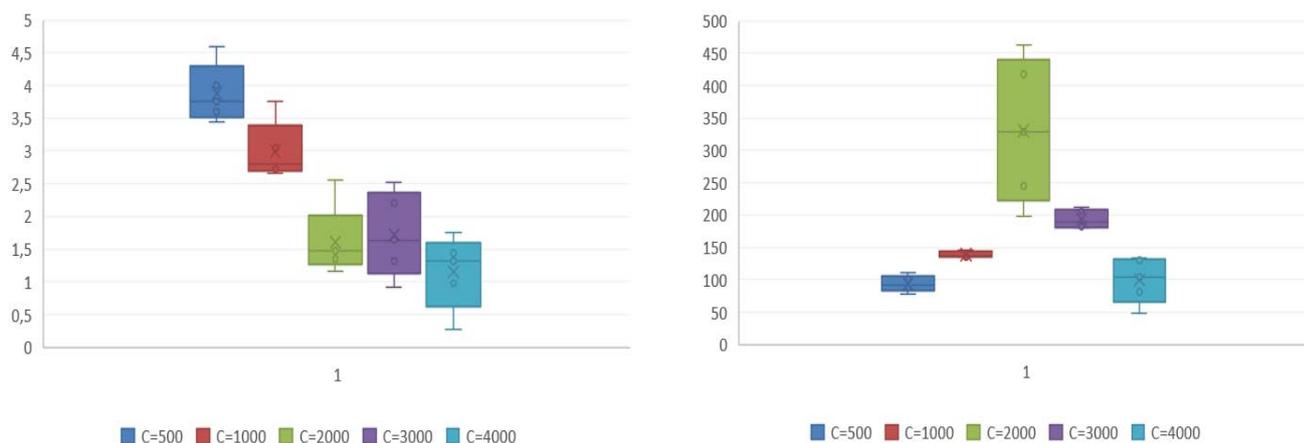


Рисунок 3. Динамика гидрохимических показателей при очистке стоков с различной концентрацией пептона

Figure 3. Dynamics of hydrochemical parameters during wastewater treatment with different concentrations of peptone

Источник: собственные экспериментальные данные

Source: own experimental data



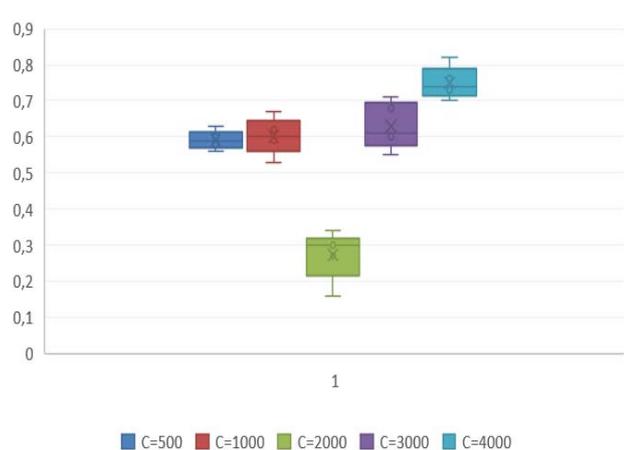
значение value	значение value					значение value	значение value				
	C=500	C=1000	C=2000	C=3000	C=4000		C=500	C=1000	C=2000	C=3000	C=4000
min	3,44	2,66	1,16	0,92	0,88	78,18	134,9	198,7	180,1	48,2	
Q ₁	3,6	2,72	1,36	1,32	0,98	87,4	135,1	245,2	182,5	81,4	
Me	3,76	2,8	1,48	1,64	1,02	92,5	137,2	328,1	189,4	103,6	
Q ₃	4	3,04	1,48	2,2	1,44	100,1	142,7	417,8	205,8	129,5	
max	4,6	3,76	2,56	2,52	1,76	110,6	145,2	462,5	212	134,1	

а) совокупность данных по массовой концентрации

a) a set of data on mass concentration

б) совокупность данных по иловому индексу

b) the set of data on the silt index



значение value	C=500	C=1000	C=2000	C=3000	C=4000
min	0,56	0,53	0,16	0,55	0,7
Q ₁	0,58	0,59	0,27	0,6	0,73
Me	0,59	0,6	0,3	0,61	0,74
Q ₃	0,6	0,62	0,3	0,68	0,76
max	0,63	0,67	0,34	0,71	0,82

в) совокупность данных по скорости оседания

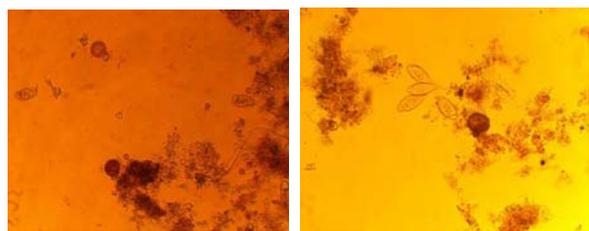
c) a set of data on the Settling rate

Рисунок 4. Статистические диаграммы

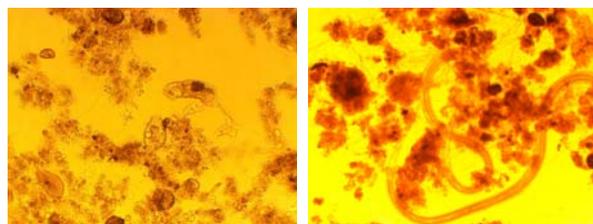
Figure 4. Statistical charts

Источник: собственные экспериментальные данные

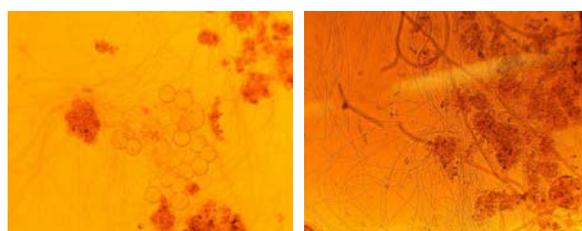
Source: own experimental data



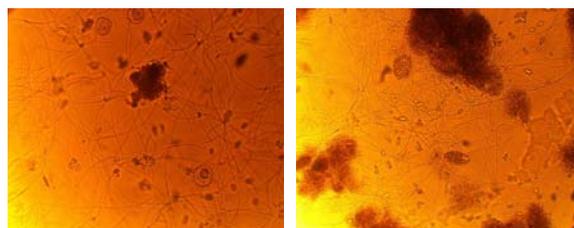
C = 500 мг/дм³



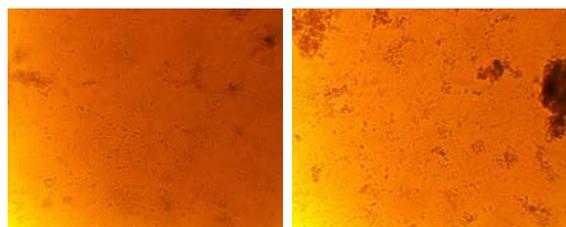
C = 1000 мг/дм³



C = 2000 мг/дм³



C = 3000 мг/дм³



C = 4000 мг/дм³

Рисунок 5. Микрофотографии проб активного ила при очистке стоков с различной концентрацией пептона

Figure 5. Micrographs of active sludge samples with different concentrations of peptone

Источник: собственные экспериментальные данные
Source: own experimental data

По результатам анализа полученных экспериментальных данных влияния белково-липидного

компонента сточных вод на состояние биоценоза активного ила, а также статистических диаграмм, можно заключить следующее.

1. Воздействие на активный ил сточных вод с содержанием пептона C = 500 мг/дм³.

Значения массовой концентрации, илового индекса и скорости оседания на протяжении эксперимента не выходили за пределы допустимых значений. Стоит отметить, что значение илового индекса существенно снизилось, до величины 78,18 см³/г относительно исходного образца. Видовое разнообразие образцов биоценоза преимущественно представлено различными прикрепленными инфузориями *Peritricha*, активными колероватками *Cephalodella*, *Lepadella*, *Rotaria*, *Philodina*, филозей *Euglypha*, водорослями *Algae*, *Zoogloea ramigera*, голыми амебами *Gymnamoebia*, инфузориями *Spirotrihida*, *Trochilia*, *Chilodonella*, *Colpidium*, *Colpoda*, *Nematoda Monhystera*.

2. Воздействие на активный ил сточных вод с содержанием пептона C = 1000 мг/дм³.

Аналогично предыдущему образцу гидрохимические показатели находились в допустимых пределах, однако, наблюдались значения илового индекса гораздо выше первоначальных – до 135,1 см³/г.

В результате микроскопирования установлено присутствие в пробах живых и активных колероваток *Lecane*, *Rotaria*, *Lepadella*, инфузорий *Peritricha*, *Chilodonella*, *Colpidium*, *Trachelius*, *Loxodes*, *Spirotrihida*, *Litonotus*, *Trochilia*, голых амеб *Gymnamoebia*, *Zoogloea ramigera*, филозей *Euglypha*, мицелий грибов, *Nematoda Monhystera*.

3. Воздействие на активный ил сточных вод с содержанием пептона C = 2000 мг/дм³.

В исследуемых образцах наблюдается экстремальное снижение массовой концентрации до 1,16 г/дм³, а также резкое возрастание илового индекса и снижение скорости оседания, что свидетельствует о начале необратимых изменений в биоценозе и вспухании активного ила.

Гидробиологическое исследование показало, что в образцах присутствует заметное количество нитчатых бактерий, *Zoogloea ramigera* и инфузорий *Colpidium*. Также в пробах встречаются инфузории

Peritricha, неподвижные коловратки *Rotaria*, *Lepadella*, инфузории *Spirotrihida*.

4. Воздействие на активный ил сточных вод с содержанием пептона $C = 3000$ мг/дм³ и $C = 4000$ мг/дм³.

В обоих образцах устойчиво снижается массовая концентрация до критических значений (ниже 1,0 г/дм³) и соотносимо повышается скорость оседания. Однако, в образце с концентрацией 3000 мг/дм³ иловый индекс повышается, что свидетельствует о процессах вспухания, а в образце с концентрацией 4000 мг/дм³ иловый индекс устойчиво снижается, что говорит об утяжелении бактериального хлопка и его минерализации, ввиду воздействия высоких концентраций органического вещества.

Видовое разнообразие образца с концентрацией 3000 мг/дм³ сводится к малочисленным *Zoogloea ramigera* и нитчатым бактериям, и многочисленным особям инфузорий *Colpidium* – характерном обитателе перегруженного активного ила.

Гидробиологические показатели образца с концентрацией 4000 мг/дм³ определяются практически 100 % представителями инфузорий *Colpidium* и отсутствием других особей биоценоза активного ила.

Выводы

Полученные данные свидетельствуют о неблагоприятном влиянии на гидрохимические и гидробиологические показатели биоценоза активного ила стока с концентрацией белково-липидного компонента 3000 мг/дм³ и более.

Однако при концентрациях белково-липидного компонента не более 1000 мг/дм³ наблюдается стабильная динамика как по гидрохимическим, так и по гидробиологическим показателям, следовательно, можно заключить, что максимальной рабочей концентрацией белково-липидных соединений в сточных водах является 1000 мг/дм³, а кратковременное повышение до 2000 мг/дм³ не приведет к значимым негативным последствиям.

Список литературы

1. Носкова Т. В., Панина М. С., Лабузова О. М. (и др.) Оценка антропогенной нагрузки на водные объекты в городской черте. Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 3. С. 98–103. DOI: 10.25750/1995-4301-2021-3-098-103.
2. Корчагин В. И., Дочкина Ю. Н., Денисова-Барабаш Е. А., Плякина А. А. Сравнительная оценка эффективности коагуляционных методов при извлечении биологически активных компонентов из высококонцентрированных стоков. Вестник ВГУИТ. 2020. № 1. С. 213–218. DOI: 10.20914/2310-1202-2020-1-213-218.
3. Шлёкова, И. Ю., Кныш А. И. Повышение эффективности аэробной биологической очистки нефтесодержащих сточных вод. Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 1. С. 203–209. DOI: 10.25750/1995-4301-2021-1-203-209.
4. Поливанова Т. В., Чернышев М. А., Григорьева Е. В. Оптимизация технологии очистки сточных вод животноводческих комплексов. Юность и Знания – Гарантия Успеха. Курск, 2017. С. 64–68.
5. Savchuk L., Znak Z., Kurylets O. [et al.] Research into processes of wastewater treatment at plants of meat processing industry by flotation and coagulation. Eastern-European journal of enterprise technologies. 2017. Vol. 3. P. 4–9. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.101736.
6. Makhlay, K., Tseitlin M., Raiko V. A study of wastewater treatment conditions for the poultry meat processing enter. Eastern-European journal of enterprise technologies. 2018. Vol. 3. P. 15–20. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.131122.
7. Mervat A. Sadik. Removal of reactive dye from textile mill wastewater by leading electro-coagulation process using aluminum as a sacrificial anode. Scientific research publishing. 2019. Vol. 9. P. 182–193. DOI:10.4236/aces.2019.92014.

8. Ghernaout D., Elboughdir N. Electrochemical technology for wastewater treatment: dares and trends / D. Ghernaout. Open access library journal. 2020. Vol. 7. P. 1–17. DOI: 10.4236/oalib.1106020.
9. Korchagin V. I., Dochkina Yu. N., Popova L. V., Denisova-Barabash E. A. Extraction nutrient substrate from highly concentrated poultry processing plants effluents. Earth and environmental science. 2020. EESE6402062. DOI: 10.1088/1755-1315/640/2/022062.
10. Сагитов Р. Ф., Коротков В. Г., Быков А. В. и др. Электрофизический способ очистки сточных вод дрожжевых и хлебопекарных предприятий. Экология и промышленность России. 2017. № 9. С. 48–52. DOI: 10.18412/1816-0395-2017-9-48-52.
11. Обуздина М. В., Руш Е. А., Шалунц Л. В. Решение экологических проблем очистки сточных вод путем создания сорбента на основе цеолита. Экология и промышленность России. 2017. № 8. С. 20–25. DOI: 10.18412/1816-0395-2017-8-20-25.
12. Краснова, Т. А. Адсорбционные технологии очистки воды при производстве фруктово-сывороточных напитков / Т. А. Краснова, И. В. Тимошук, А. К. Горелкина и др. // Экология и промышленность России. – 2018. – № 10. – С. 4–10. – DOI: 10.18412/1816-0395-2018-10-4-10.
13. Краснова Т. А., Горелкина А. К., Кирсанов М. П. Использование адсорбции для снижения загрязнения водных ресурсов. Экология и промышленность России. 2018. № 1. С. 44–49. DOI: 10.18412/1816-0395-2018-1-44-49.
14. Шлёкова И. Ю., Кныш А. И. Интенсификация биологической очистки производственных сточных вод в аэротенках с помощью адсорбентов. Экология и промышленность России. 2018. № 6. С. 20–25. DOI: 10.18412/1816-0395-2018-6-20-25.
15. Ксенофонтов Б. С., Козодаев А. С., Таранов Р. А. и др. Физико-химическая очистка сточных вод от сложных органических веществ с использованием флотокомбайнов. Экология и промышленность России. 2019. № 12. С. 4–8. DOI: 10.18412/1816-0395-2019-12-4-8.
16. Гальченко С. В., Воробьева Е. В., Чердакова А. С. Экологические аспекты очистки сточных вод от нефтепродуктов методом пневмосепарации при внесении гумата калия. Экология и промышленность России. 2018. № 1. С. 38–43. DOI: 10.18412/1816-0395-2018-1-38-43.
17. Власова Е. А., Кулешова Н. К., Афанасьева А. В. Применение каркасных соединений для очистки окрашенных сточных вод пищевых производств. Экология и промышленность России. 2019. № 1. С. 15–19. DOI: 10.18412/1816-0395-2019-1-15-19.
18. Зубарева Г. И. Глубокая очистка сточных вод с чрезмерно высоким содержанием жира. Экология и промышленность России. 2019. № 10. С. 34–38. DOI: 10.18412/1816-0395-2019-10-34-38.
19. Суханов Е. В., Сапронова Ж. А., Свергузова С. В. и др. Некоторые особенности коагуляционной очистки воды с помощью пыли электросталеплавильного производства. Экология и промышленность России. 2017. № 1. С. 24–29. DOI: 10.18412/1816-0395-2017-1-24-29.
20. Зибарев Н. В., Жажков В. В., Адрианова М. Ю. и др. Комплексное использование микроводорослей в очистке сточных вод и переработке отходов пищевой промышленности. Экология и промышленность России. 2021. № 11. С. 18–23. DOI: 10.18412/1816-0395-2021-11.
21. Bingo M. N., Njoya M., Basitere M. [et al.] Performance evaluation of an integrated multi-stage poultry slaughterhouse wastewater treatment system. Journal of water process engineering. 2021. Vol. 43. P. 102309. DOI: 10.1016/j.jwpe.2021.102309.
22. Njoya M., Basitere M., Karabo Obed Ntwampe S. Performance evaluation and kinetic modeling of down-flow high-rate anaerobic bioreactors for poultry slaughterhouse wastewater treatment. Environmental science and pollution research. 2020. № 28. P. 9529–9541. DOI: 10.1007/s11356-020-11397-5.
23. Ilyasov O. R., Koshelev S. N., Khomyakova V. S. [et al.] Improvement of the biotechnology of wastewater treatment from livestock and poultry farms. Chief animal technician. 2020. № 9. P. 13–19. DOI: 10.33920/sel-03-2009-02.

24. Laca A., Laca A., Diaz M. Environmental impact of poultry farming and egg production. Environmental impact of agro-food industry and food consumption. 2021. P. 81–100. DOI: 10.1016/B978-0-12-821363-6.00010-2.
25. Bingo M. N., Basitere M., Ntwampe S. K. O. Poultry slaughterhouse wastewater treatment plant design advancements. 16th South Africa int'l conference on agricultural, chemical, biological & environmental sciences (ACBES-19) Nov. 18-19. Johannesburg (S.A.), 2019. P. 289–294. DOI: 10.17758/EARES8.EAP1119145.
26. Домрачева Л. И., Скугорева С. Г., Ашихмина Т. Я. и др. Использование отработанного активного ила для очистки сточных вод, загрязненных тяжелыми металлами. Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 4. С. 176–184. DOI: 10.25750/1995-4301-2020-4-176-184.
27. Дочкина Ю. Н., Корчагин В. И. Особенности биологической очистки высококонцентрированных стоков, прошедших электрофлотационную обработку. Материалы LIX отчетной научной конференции преподавателей и научных сотрудников ВГУИТ за 2020 год. Воронеж, 2021. С. 113.
28. Плякина А. А., Закаблукова Ю. В., Дочкина Ю. Н. Оценка состояния биоценоза активного ила при биологической очистке высококонцентрированных сточных вод. Материалы студенческой научной конференции за 2020 год. Воронеж, 2020. С. 93.
29. Плякина А. А., Дочкина Ю. Н., Корчагин В. И. Исследование гидрохимических и гидробиологических показателей биоценоза активного ила в процессе подкормки субстратом, содержащим биологически активные компоненты. Материалы студенческой научной конференции за 2021 год. Воронеж, 2021. С. 283.

References

1. Noskova T. V., Panina M. S., Labuzova O. M. [et al.] *Ocenka antropogennoj nagruzki na vodnye ob'ekty v gorodskoj cherte* [Assessment of anthropogenic load on water bodies in urban areas]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* [Theoretical and applied ecology], 2021, no. 3, pp. 98-103. DOI: 10.25750/1995-4301-2021-3-098-103.
2. Korchagin V. I., Dochkina Yu. N., Denisova-Barabash E. A., Plyakina A. A. *Sravnitel'naya ocenka effektivnosti koagulyacionnykh metodov pri izvlechenii biologicheskii aktivnykh komponentov iz vysokokoncentririrovannykh stokov* [Comparative evaluation of the coagulation methods effectiveness in the extraction of biologically active components from highly concentrated effluents]. *Vestnik VGUIT* [Vestnik VSUET], 2020, no. 82, pp. 213-218. DOI: 10.20914/2310-1202-2020-1-213-218.
3. Shlekova I. Yu., Knysh A. I. *Povyshenie effektivnosti aerobnoj biologicheskoy ochistki neftesoderzhashchih stochnykh vod* [Improving the efficiency of aerobic biological purification of oily wastewater]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* [Theoretical and applied ecology], 2021, no. 1, pp. 203-209. DOI: 10.25750/1995-4301-2021-1-203-209.
4. Polivanova T. V., Chernyshev M. A., Grigorieva E. V. *Optimizaciya tekhnologii ochistki stochnykh vod zhivotnovodcheskih kompleksov* [Optimization of wastewater treatment technology of livestock complexes]. *Yunost' i Znaniya – Garantiya Uspekha* [Youth and Knowledge - A Guarantee of Success.], 2017, pp. 64-68.
5. Savchuk L., Znak Z., Kurylets O. [et al.] (2017) Research into processes of wastewater treatment at plants of meat processing industry by flotation and coagulation. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. no. 3, pp. 1-7. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.101736.
6. Makhlay K., Tseitlin M., Raiko V. (2018) A study of wastewater treatment conditions for the poultry meat processing enter. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. no. 3, pp. 15-20. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.131122.
7. Mervat A. Sadik. (2019) Removal of reactive dye from textile mill wastewater by leading electro-coagulation process using aluminum as a sacrificial anode. *Scientific research publishin*. no. 9, pp. 182-193. DOI:10.4236/aces.2019.92014.

8. Ghernaout D., Elboughdir N. (2020) Electrochemical technology for wastewater treatment: dares and trends. *Open access library journal*. no. 7, pp. 1-17. DOI: 10.4236/oalib.1106020.
9. Korchagin V. I., Dochkina Yu. N., Popova L. V., Denisova-Barabash E. A. (2020) Extraction nutrient substrate from highly concentrated poultry processing plants effluents. *Earth and environmental science*, EESE6402062. DOI: 10.1088/1755-1315/640/2/022062.
10. Sagitov R. F., Korotkov V. G., Bykov A. V. [et al.] *Elektrofizicheskij sposob ochistki stochnyh vod drozhzhevyh i hlebopekarnyh predpriyatij* [Electrophysical method for treatment of waste water from yeast and baking plants]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and industry of Russia], 2017, no. 9, pp. 48-52. DOI: 10.18412/1816-0395-2017-9-48-52.
11. Obuzdina M. V., Rush E. A., Shalunz L. V. *Reshenie ekologicheskikh problem ochistki stochnyh vod putem sozdaniya sorbenta na osnove ceolita* [Solution of environmental issues of wastewater treatment by means of design of sorbent based on zeolite]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and industry of Russia], 2017, no. 8, pp. 20-25. DOI: 10.18412/1816-0395-2017-8-20-25.
12. Krasnova T. A., Timoshchuk I. V., Gorelkina A. K. [et al.] *Adsorbcionnye tekhnologii ochistki vody pri proizvodstve fruktovo-syvorotochnyh napitkov* [Adsorption technologies for water treatment in the production of fruit and whey drinks]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and industry of Russia], 2018, no. 10, pp. 4-10. DOI: 10.18412/1816-0395-2018-10-4-10.
13. Krasnova T. A., Gorelkina A. K., Kirsanov M. P. *Ispol'zovanie adsorbicii dlya snizheniya zagryazneniya vodnyh resursov* [Adsorption Use to Reduce Water Pollution]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and industry of Russia], 2018, no. 1, pp. 44-49. DOI: 10.18412/1816-0395-2018-1-44-49.
14. Shlekova I. Yu., Knysh A. I. *Intensifikaciya biologicheskoy ochistki proizvodstvennyh stochnyh vod v aerotenkah s pomoshch'yu adsorbentov* [Intensification of biological treatment of industrial wastewater in aerotanks using adsorbents]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and industry of Russia], 2018, no. 6, pp. 20-25. DOI: 10.18412/1816-0395-2018-6-20-25.
15. Ksenofontov B. S., Kozodaev A. S., Taranov R. A. [et al.] *Fiziko-himicheskaya ochistka stochnyh vod ot slozhnyh organicheskikh veshchestv s ispol'zovaniem flotokombajnov* [Physico-chemical wastewater treatment from complex organic substances using flotocombs]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and industry of Russia], 2019, no. 12, pp. 4-8. DOI: 10.18412/1816-0395-2019-12-4-8.
16. Galchenko S. V., Vorob'eva E. V., Cherdakova A. S. *Ekologicheskie aspekty ochistki stochnyh vod ot nefteproduktov metodom pnevmoseparacii pri vnesenii gumata kaliya* [Ecological aspects of wastewater treatment from petroleum products by the method of pneumoseparation when applying humate of potassium]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and industry of Russia], 2018; 1: 38-43. DOI: 10.18412/1816-0395-2018-1-38-43.
17. Vlasova E. A., Kuleshova N. K., Afanas'eva A. V. *Primenenie karkasnyh soedinenij dlya ochistki okrashennyh stochnyh vod pishchevyh proizvodstv* [Application of metal-organic frameworks for purification of colored waste water of food industry]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and industry of Russia], 2019, no. 1, pp. 15-19. DOI: 10.18412/1816-0395-2019-1-15-19.
18. Zubareva G. I. *Glubokaya ochistka stochnyh vod s chrezmerno vysokim sodержaniem zhira* [Deep wastewater treatment with excessively high fat content]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and industry of Russia], 2019, no. 10, pp. 34-38. DOI: 10.18412/1816-0395-2019-10-34-38.
19. Sukhanov E. V., Sapronova Zh. A., Sverguzova S. V. [et al.] *Nekotorye osobennosti koagulyacionnoj ochistki vody s pomoshch'yu pyli elektrostaleplavil'nogo proizvodstva* [Some features of the coagulation water treatment using dust of electric furnace steelmaking]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and industry of Russia], 2017, no. 1, pp. 24-29. DOI: 10.18412/1816-0395-2017-1-24-29.
20. Zibarev N. V., Zhazhkov V. V., Andrianova M. Yu. [et al.] *Kompleksnoe ispol'zovanie mikrovdoroslej v ochistke stochnyh vod i pererabotke othodov pishchevoj promyshlennosti* [Integrated use of microalgae in waste water

purification and processing of food industry waste]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and industry of Russia], 2021, no. 11, pp. 18-23. DOI: 10.18412/1816-0395-2021-11.

21. Bingo M. N., Njoya M., Basitere M. [et al.] (2021) Performance evaluation of an integrated multi-stage poultry slaughterhouse wastewater treatment system. *Journal of water process engineering*. no. 43, pp. 102309. DOI: 10.1016/j.jwpe.2021.102309.

22. Njoya M., Basitere M., Karabo Obed Ntwampe S. (2020) Performance evaluation and kinetic modeling of down-flow high-rate anaerobic bioreactors for poultry slaughterhouse wastewater treatment. *Environmental science and pollution research*. no. 28, pp. 9529-9541. DOI: 10.1007/s11356-020-11397-5.

23. Ilyasov O. R., Koshelev S. N., Khomyakova V. S. [et al.] (2020) Improvement of the biotechnology of wastewater treatment from livestock and poultry farms. *Chief animal technician*. no. 9, pp. 13-19. DOI: 10.33920/sel-03-2009-02.

24. Laca A., Laca A., Diaz M. (2021) Environmental impact of poultry farming and egg production. *Environmental impact of agro-food industry and food consumption*. pp. 81-100. DOI: 10.1016/B978-0-12-821363-6.00010-2.

25. Bingo M. N., Basitere M., Ntwampe S. K. O. (2019) Poultry slaughterhouse wastewater treatment plant design advancements. *16th South Africa int'l conference on agricultural, chemical, biological & environmental sciences (ACBES-19) Nov. 18-19*. pp. 289-294. DOI: 10.17758/EARES8.EAP1119145.

26. Domracheva L. I., Skugoreva S. G., Ashikhmina T. Ya. [et al.] *Ispol'zovanie otrabotannogo aktivnogo ila dlya ochistki stochnyh vod, zagryaznennyh tyazhelymi metallami* [The use of spent activated sludge for the treatment of wastewater contaminated with heavy metals]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* [Theoretical and applied ecology], 2020, no. 4, pp. 176-184. DOI: 10.25750/1995-4301-2020-4-176-184.

27. Dochkina Yu. N., Korchagin V. I. *Osobennosti biologicheskoy ochistki vysokokonzentrirovannyh stokov, proshedshih elektroflotacionnyu obrabotku* [Features of biological purification of highly concentrated effluents that have undergone electroflotation treatment]. *Materialy LIX otchetnoj nauchnoj konferencii prepodavatelej i nauchnyh sotrudnikov VGUIT za 2020 god* [Materials of the LIX reporting scientific conference of VSUET teachers and researchers for 2020], 2021, pp. 113.

28. Plyakina A. A., Zakablukova Yu. V., Dochkina Yu. N. *Ocenka sostoyaniya biocenoza aktivnogo ila pri biologicheskoy ochistke vysokokonzentrirovannyh stochnyh vod* [Assessment of the state of the biocenosis of activated sludge in the biological treatment of highly concentrated wastewater]. *Materialy studencheskoj nauchnoj konferencii za 2020 god* [Materials of the student scientific conference for 2020], 2020, pp. 93.

29. Plyakina A. A., Dochkina Yu. N., Korchagin V. I. *Issledovanie gidrohimicheskikh i gidrobiologicheskikh pokazatelej biocenoza aktivnogo ila v processe podkormki substratom, sodержashchim biologicheski aktivnye komponenty* [Investigation of hydrochemical and hydrobiological indicators of the biocenosis of activated sludge in the process of fertilizing with a substrate containing biologically active components]. *Materialy studencheskoj nauchnoj konferencii za 2021 god* [Materials of the student scientific conference for 2021], 2021, pp. 283.

Сведения об авторах

✉ *Дочкина Юлия Николаевна* – ведущий инженер лаборатории промышленной экологии и промышленной безопасности, старший преподаватель кафедры промышленной экологии, оборудования химических и нефтехимических производств ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», пр. Революции, 19, г. Воронеж, Российская Федерация, 394036, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9113-1564>, e-mail: dochkina.j.n@yandex.ru.

Плякина Алина Анатольевна – студентка кафедры промышленной экологии, оборудования химических и нефтехимических производств ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», пр. Революции, 19, г. Воронеж, Российская Федерация, 394036, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7848-2685>, e-mail: alina.plyakina7@gmail.com.

Корчагин Владимир Иванович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой промышленной экологии, оборудования химических и нефтехимических производств ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», пр. Революции, 19, г. Воронеж, Российская Федерация, 394036, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7212-1627>, e-mail: kvi-vgta@rambler.ru.

Information about the authors

✉ *Yulia N. Dochkina* – leading engineer of the laboratory of industrial ecology and industrial safety, senior lecturer of the department of industrial ecology, equipment of chemical and petrochemical industries, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Ave., 19, Voronezh, Russian Federation, 394036, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9113-1564>, e-mail: dochkina.j.n@yandex.ru.

Alina A. Plyakina – student of the department of industrial ecology, equipment of chemical and petrochemical industries, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Ave., 19, Voronezh, Russian Federation, 394036, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7848-2685>, e-mail: alina.plyakina7@gmail.com.

Vladimir I. Korchagin – Doctor of technical sciences, professor, head of the department of industrial ecology, equipment of chemical and petrochemical industries, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Ave., 19, Voronezh, Russian Federation, 394036, ORCID: [http://orcid.org / 0000-0001-7212-1627](http://orcid.org/0000-0001-7212-1627), e-mail: kvi-vgta@rambler.ru.

✉ – Для контактов/Corresponding author