

ПРОМЫШЛЕННАЯ И АГРАРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

INDUSTRIAL AND AGRICULTURAL ECOLOGY

УДК 579.695

КОМПЛЕКСНАЯ БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ МЯСО-МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

М. С. ЧИРИКОВА¹⁾, Е. М. ГЛУШЕНЬ¹⁾, И. И. АЛЕШКЕВИЧ¹⁾, К. А. ГУБЧИК¹⁾

¹⁾Институт микробиологии Национальной академии наук Беларусь,
ул. Купревича, 2, 220141, г. Минск, Беларусь

В Республике Беларусь функционирует около 200 предприятий по производству мясной продукции и более 50 предприятий молочной промышленности. До 70 % используемой на данных производствах воды загрязняется жировыми веществами и белками. В настоящее время наибольшее распространение для очистки таких сточных вод получили физико-химические методы (коагуляция и флокуляция) и биологическая очистка с применением специализированных микроорганизмов-деструкторов загрязняющих веществ. Для достижения наилучших результатов при очистке сточных вод целесообразно использовать данные методы в совокупности. Большое внимание стало уделяться полной или частичной замене химических флокулянтов биологическими или микроорганизмами, обладающими

Образец цитирования:

Чирикова МС, Глушень ЕМ, Алешкевич ИИ, Губчик КА. Комплексная биологическая очистка сточных вод предприятий мясо-молочной промышленности. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2023;1:59–66.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2023-1-59-66>

For citation:

Chyrykava MS, Hlushen AM, Aliashkevich II, Hubchyk KA. Integrated biological wastewater treatment for meat and dairy industry. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2023;1:59–66. Russian.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2023-1-59-66>

Авторы:

Маргарита Сергеевна Чирикова – научный сотрудник лаборатории природоохранных биотехнологий.
Елена Михайловна Глушень – кандидат биологических наук, доцент; заведующий лабораторией природоохранных биотехнологий.
Ирина Ивановна Алешкевич – научный сотрудник лаборатории природоохранных биотехнологий.
Кирилл Александрович Губчик – научный сотрудник лаборатории природоохранных биотехнологий.

Authors:

Marharyta S. Chyrykava, researcher at the laboratory of environmental biotechnologies.
margarita.chirikova@mail.ru
Alena M. Hlushen, PhD (biology), docent; head of the laboratory of environmental biotechnologies.
gem@mbio.bas-net.by
Iryna I. Aliashkevich, researcher at the laboratory of environmental biotechnologies.
shuniborova@mail.ru
Kirył A. Hubchyk, researcher at the laboratory of environmental biotechnologies.
gubchikk@gmail.com

флокулирующей способностью. В настоящей работе рассматривается процесс очистки сточных вод предприятий мясно-молочной промышленности с использованием консорциума микроорганизмов-флокулянтов и микробного препарата Антойл. Показано, что исследуемый микробный консорциум не уступает по активности наиболее распространенным синтетическим флокулянтам на основе полиакриламида, которые используются для очистки сточных вод. Флокулирующие активности составили 92–98 %. Установлено, что процесс очистки исследуемых сточных вод с помощью используемого консорциума микроорганизмов-флокулянтов зависит от температуры и значения pH стоков. Стоки молочной и мясной промышленности очищались с эффективностью 60,9–98,0 % за 7 суток в диапазоне температур 10–40 °C и pH 4–9. Показано, что применение консорциума микроорганизмов-флокулянтов позволяет достичнуть высоких показателей очистки сточных вод сырьедельного комбината и птицефабрики не только по взвешенным веществам, но и по ХПК. Практически подтверждена эффективность совместного применения консорциума микроорганизмов-флокулянтов и микробного препарата Антойл для очистки сточных вод птицефабрик и поддержания эффективности очистки на высоком уровне (86,5–92,9 %) в период залповых сбросов.

Ключевые слова: микроорганизмы-деструкторы; флокулирующая активность; препарат Антойл; очистка сточных вод.

INTEGRATED BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT FOR MEAT AND DAIRY INDUSTRY

M. S. CHYRYKAVA^a, A. M. HLUSHEN^a, I. I. ALIASKEVICH^a, K. A. HUBCHYK^a

^aInstitute of Microbiology National Academy of Sciences of Belarus,
2 Kuprevicha Street, Minsk 220141, Belarus

Corresponding author: M. S. Chyrykava (margarita.chirikova@mail.ru)

About 200 enterprises producing meat product and more than 50 enterprises of the dairy industry operate in the Republic of Belarus. Up to 70 % of the water used in these industries is contaminated with fatty substances. At present, physicochemical methods (coagulation and flocculation) and biological treatment using microorganisms-destructors of fats and oils are most widely used for the treatment of fat-containing wastewater, it is advisable to use these treatment methods in combination. Recently, more and more attention has been paid to the complete or partial replacement of chemical flocculants by biological or microorganisms with flocculating ability. In this paper, the process of wastewater treatment of meat and dairy industry enterprises was studied using a consortium of flocculant microorganisms and the microbial preparation Antoil. The investigated microbial consortium was shown to be as active as the most common polyacrylamide-based synthetic flocculants used for wastewater treatment. The flocculating activity was 92–98 %. It has been established that the process of purification of the studied wastewater with the help pf the consortium of microorganisms used depends on the temperature and pH value of the effluents. Dairy and meat industry wastewater was treated with an efficiency of 60.9–98.0 % in 7 days in the temperature range of 10–40 °C and pH 4–9. It is shown that the use of a consortium of flocculant microorganisms makes it possible to achieve high rates of wastewater treatment of a cheese-making plant and a poultry farm not only in terms of suspended solids, but also in terms of COD. The effectiveness of the combined use of a consortium of flocculant microorganisms and the microbial preparation Antoil for the treatment of wastewater from poultry farms and maintaining the treatment efficiency at a high level (86.5–92.9 %) during burst discharges has been practically confirmed.

Keywords: microorganisms-destructors; flocculating activity; Antoil; wastewater treatment.

Введение

Развитие промышленности наряду с бесконтрольным природопользованием сопровождается глобальными, порой необратимыми, нарушениями баланса естественных процессов в биосфере. В Республике Беларусь функционирует около 200 предприятий по производству мясной продукции и более 50 предприятий молочной промышленности. При этом до 70 % используемой на данных производствах воды загрязняется жировыми веществами и белками.

Неотъемлемой стадией очистки таких сточных вод в настоящее время являются методы реагентной физико-химической очистки, в частности коагуляция и флокуляция. В процессе коагуляции сточных вод утрачивается их седиментационная устойчивость, что позволяет далее с помощью флокулянтов осадить взвешенные и коллоидные загрязнения. Данные методы позволяют производить очистку сточных вод от загрязнений, различающихся как по химическому, так и по фазово-дисперсному составу [1; 2]. Однако использование химических флокулянтов (синтетические полимерные флокулянты) и коагулянтов (сульфат, оксихлорид и полиоксихлорид алюминия, алюминат натрия, сульфаты двух- и трехвалентного железа, а также хлорид железа) имеет существенные недостатки: тяжелые металлы и токсичные мономеры

переходят в осадок, тем самым ограничивая его пригодность для дальнейшего использования; обработка коагулянтами приводит к значительному снижению pH воды, что усиливает коррозию оборудования [3].

В связи с этим актуальной является разработка таких реагентных методов, которые включали бы преимущества физико-химической очистки при отсутствии недостатков использования химических реагентов. В последнее время все больше внимания стало уделяться использованию флокулянтов биологического происхождения или микроорганизмов, обладающих флокулирующей способностью [4]. Процесс биофлокуляции возможен за счет взаимодействия веществ как непосредственно с клеточной поверхностью микроорганизмов, так и с продуктами их метаболизма. Эффективность связывания соединений зависит от вида микроорганизма, структуры клеточной поверхности или структуры биофлокулянта, синтезируемого микроорганизмом, а также природы флокулируемой фазы [5].

Анализ литературы показал, что эффективность применения микробных флокулянтов для очистки пищевых сточных вод составляет 85–98 % и соответствует уровню эффективности очистки с использованием химических флокулянтов, при этом не образуется вторичного загрязнения окружающей среды. Изучена возможность очистки с помощью микробных флокулянтов сточных вод пивоваренного производства [6], молочных стоков [7; 8], коммунально-бытовых [9; 10], речных вод вблизи пищевых предприятий [11; 12], сточных вод рыбоперерабатывающих производств [13], стоков птицефабрик [14].

Еще одним распространенным методом очистки сточных вод мясо-молочной промышленности является биологическая очистка с применением специализированных микроорганизмов, способных использовать в качестве питательных веществ загрязнения, содержащиеся в сточных водах [15; 16]. Микроорганизмы в таких сооружениях находятся либо в свободном, либо в иммобилизованном состоянии [17–19]¹. Преимущества биологической очистки сточных вод с помощью микроорганизмов-деструкторов следующие: широкий спектр удаляемых загрязнений, отсутствие вторичного загрязнения воды более экономичны, так как требуют незначительных расходов во время эксплуатации биологических очистных сооружений. Однако применение биологического метода требует строгого соблюдения таких параметров, как температура и значение pH сточных вод, а также концентрация растворенного кислорода в аэротенках [20]. Несмотря на вышеперечисленные строгие требования биологический метод является обязательной стадией процесса очистки сточных вод, при котором происходит практически полное биологическое разложение органических соединений в воде.

Таким образом, для достижения наилучших результатов при удалении загрязнений из сточных вод мясо-молочной промышленности целесообразно использовать физико-химические и биологические методы очистки в совокупности.

Ранее в Институте микробиологии НАН Беларусь разработан микробный препарат Антойл и технология его применения для очистки коммунально-бытовых сточных вод, осложненных высоким содержанием жировых веществ [21]. Также получен консорциум микроорганизмов, обладающих высокой деструктивной активностью и флокулирующей способностью по отношению к гидрофобным загрязнениям сточных вод [22].

Цель исследования – изучение процесса очистки сточных вод предприятий мясо-молочной промышленности при совместном применении консорциума микроорганизмов-флокулянтов и микробного препарата Антойл.

Материалы и методы исследования

Эффективность очистки сточных вод предприятий мясной и молочной промышленности консорциумом микроорганизмов-флокулянтов проводили в лабораторной модельной установке биологической очистки сточных вод. Смешивали иловую суспензию и сточные воды в соотношении 2 : 8. Доза микробного консорциума – 0,5 %. Условия проведения процесса: рабочий объем модельного аэротенка 10 л, температура – 20–22 °C, скорость протока – 20 л/сутки. В исследовании были использованы сточные воды ОАО «Березовский сыродельный комбинат» (взвешенные вещества – 450 мг/л, химическое потребление кислорода (ХПК) – 6460 мгO₂/л, pH 5,3) и сточные воды ОАО «Витебская бройлерная птицефабрика» (взвешенные вещества – 380 мг/л, ХПК – 4830 мгO₂/л, pH 6,5). За процессом очистки наблюдали в течение 14 суток. Контролируемым показателем являлось химическое потребление кислорода (ХПК), которое определяли фотометрически с использованием анализатора «Эксперт-003-ХПК» по ГОСТ 31859-2012, и взвешенные вещества².

Отработку технологии совместного применения консорциума микроорганизмов-флокулянтов и микробного препарата Антойл проводили на очистных сооружениях птицефабрики РУП «Белоруснефть-Особино». Наработку препарата Антойл осуществляли в условиях научно-производственного центра биотехнологий

¹Самсонова А. С., Алещенкова З. М., Семочкина Н. Ф., Петрова Г. М., Толстолуцкая Л. И., Холдинская Н. В., Крук Н. И., Авсеев А. Е. Способ очистки коммунальных сточных вод от жировых веществ: патент BY 10605. Опубл. 30.06.2008.

²ГОСТ 31859-2012. Вода. Метод определения химического потребления кислорода. Москва: Стандартинформ, 2014. 11 с.

Института микробиологии НАН Беларусь. Контролируемыми показателями являлись ХПК, биохимическое потребление кислорода (БПК_5), а также взвешенные вещества. Контроль процесса очистки осуществляли ежемесячно. Данные по очистке предоставлены лабораторией РУП «Белоруснефть-Особино».

Результаты исследования и их обсуждение

Проведенная сравнительная оценка флокулирующей активности по отношению к каолиновой суспензии полученного ранее консорциума микроорганизмов-флокулянтов и синтетических флокулянтов показала, что их активности находились уровне 92–98 %. Таким образом, полученный консорциум не уступает по активности наиболее распространенным синтетическим флокулянтам на основе поликариламида, которые используются для очистки сточных вод.

При изучении возможности применения биофлокулянтов для очистки сточных вод важным этапом является проверка их действия на нативных сточных водах, так как состав стоков различных производств сильно отличается друг от друга. Биофлокулянты, синтезируемые микроорганизмами, различаются по своей химической структуре, и механизм флокуляции сточных вод может значительно отличаться от процесса флокуляции каолиновой суспензии, которая наиболее часто используется в качестве тест-системы. В связи с вышеизложенным на следующем этапе была изучена эффективность применения синтетических флокулянтов и консорциума микроорганизмов-флокулянтов для очистки производственных сточных вод ОАО «Березовский сыродельный комбинат» и ОАО «Витебская бройлерная птицефабрика» в модельных условиях.

Установлено, что эффективность очистки по ХПК сточных вод сыродельного комбината с помощью консорциума микроорганизмов-флокулянтов через 7 суток составила 72 %, а через 14 суток – 91 %. Содержание взвешенных веществ снизилось на 78 % уже на 2 сутки. При изучении эффективности очистки сточных вод птицефабрики наблюдалась такая же тенденция. Через 7 суток степень очистки по ХПК с помощью консорциума микроорганизмов составила 83 %, а через 14 суток – 95 %. Количество взвешенных веществ на 2 сутки наблюдения снизилось на 81 %.

Использование синтетических флокулянтов на основе поликариламида (Extraflock P170, Praestol 2500) привело к снижению содержания взвешенных веществ на 2 сутки на 85–89 %. Эффективность очистки по ХПК составила на 7 сутки 50,4–67,2 %, что на 4,8–6,4 % (для стоков сыродельного комбината) и 23,9–32,6 % (для стоков птицефабрики) ниже эффективности очистки с помощью консорциума микроорганизмов-флокулянтов.

Таким образом, использование полученного консорциума микроорганизмов-флокулянтов позволяет достигнуть высоких показателей очистки сточных вод сыродельного комбината и птицефабрики не только по взвешенным веществам, но и по ХПК.

Известно, что важными факторами, влияющими на процесс очистки сточных вод с помощью микроорганизмов, являются температура и значение pH. В связи с этим изучен в модельных условиях процесс очистки сточных вод ОАО «Березовский сыродельный комбинат» и ОАО «Витебская бройлерная птицефабрика» с помощью полученного консорциума микроорганизмов-флокулянтов в диапазоне температур от 5 до 40 °C и pH от 1 до 10. Установлено, что исследуемые стоки очищались с эффективностью 60,9–98 % за 7 суток в широком диапазоне температур 10–40 °C и pH 4–9 (табл. 1, 2).

Таблица 1
Эффективность очистки (%) сточных вод сыродельного комбината по ХПК

Table 1

Efficiency of treatment (%) of wastewater from a cheese-making plant in terms of COD

Значение pH	Температура, °C				
	5	10	20	30	40
1,0	5,7 ± 1,5	8,2 ± 2,2	7,1 ± 3,2	9,2 ± 0,9	13,3 ± 4,1
2,0	18,0 ± 3,2	23,0 ± 1,6	21,8 ± 2,6	14,0 ± 1,6	31,7 ± 3,0
3,0	28,1 ± 3,6	41,0 ± 4,4	32,2 ± 3,8	28,1 ± 2,2	36,0 ± 2,9
4,0	25,1 ± 4,8	39,4 ± 4,9	51,9 ± 6,4	54,8 ± 5,4	46,4 ± 4,1
5,0	30,2 ± 5,2	66,2 ± 5,3	73,6 ± 5,6	75,5 ± 3,4	62,8 ± 6,8
6,0	32,8 ± 5,6	68,7 ± 5,5	72,0 ± 5,9	75,2 ± 5,8	63,1 ± 5,7
7,0	34,8 ± 6,0	71,4 ± 5,0	75,4 ± 6,2	78,0 ± 6,9	68,0 ± 5,6
8,0	36,9 ± 5,1	64,4 ± 6,7	73,0 ± 6,3	77,3 ± 4,7	60,9 ± 5,9
9,0	24,0 ± 3,2	42,9 ± 3,5	58,2 ± 2,4	62,5 ± 5,1	56,7 ± 6,1
10,0	11,2 ± 1,1	32,7 ± 4,7	41,1 ± 3,1	50,0 ± 3,2	32,0 ± 3,4
11,0	3,5 ± 1,6	25,1 ± 2,6	18,0 ± 3,0	26,1 ± 2,2	17,4 ± 2,1

Таблица 2

Эффективность очистки (%) сточных вод птицефабрики по ХПК

Table 2

Efficiency of treatment (%) of wastewater from a poultry farm in terms of COD

Значение pH	Температура, °C				
	5	10	20	30	40
1,0	11,5 ± 5,3	18,0 ± 2,9	19,1 ± 3,3	24,9 ± 3,8	20,1 ± 6,0
2,0	19,0 ± 2,9	27,1 ± 6,5	35,8 ± 5,7	47,1 ± 6,5	41,1 ± 3,4
3,0	29,6 ± 3,5	43,5 ± 3,4	52,6 ± 4,2	54,9 ± 4,7	57,8 ± 7,1
4,0	37,6 ± 6,1	69,8 ± 6,9	76,2 ± 5,6	82,4 ± 4,3	73,5 ± 5,9
5,0	45,8 ± 4,2	77,9 ± 7,0	88,4 ± 6,1	91,1 ± 5,9	84,4 ± 4,6
6,0	51,7 ± 8,8	78,2 ± 5,4	85,3 ± 2,8	93,3 ± 6,8	82,5 ± 8,5
7,0	52,8 ± 6,9	76,4 ± 4,2	86,9 ± 6,9	98,0 ± 4,7	86,1 ± 3,6
8,0	49,3 ± 5,7	77,0 ± 5,1	81,2 ± 5,4	90,2 ± 4,8	80,1 ± 6,9
9,0	36,2 ± 5,0	68,2 ± 1,6	70,0 ± 6,6	68,2 ± 5,3	59,1 ± 7,4
10,0	19,7 ± 3,6	45,7 ± 4,3	53,1 ± 5,7	41,1 ± 4,2	42,0 ± 7,2
11,0	9,6 ± 4,8	29,1 ± 2,5	26,0 ± 2,5	21,0 ± 6,7	16,4 ± 5,0

Производственные испытания очистки сточных вод проводились в рамках научно-исследовательской и опытно-технологической работы на очистных сооружениях одной из птицефабрик Витебской области. Высокие концентрации жиров и взвешенных веществ в сточных водах предприятия приводили к снижению деструктивного потенциала активного ила, его вспуханию, что вызывало ряд сложностей при очистке, а также проблемы в эксплуатации очистных сооружений после жироуловителя. В связи с этим для очистки данных стоков использовали консорциум микроорганизмов-флокулянтов, а также микробный препарат Антойл, предназначенный для интенсификации очистки сточных вод от жировых веществ. Консорциум микроорганизмов-флокулянтов вносили в усреднитель сточных вод, а микробный препарат Антойл – в аэротенк. Совмещение напорной флотации с применением микробного консорциума позволило добиться высокой степени очистки при значительном снижении количества химических реагентов и при более низком давлении во флотаторе. Эффективность очистки во флотаторе достигала 90–97 % по сравнению с 80–92 % с используемым ранее на предприятии режиме флотации. Применение микроорганизмов-деструкторов жировых веществ в составе микробного препарата Антойл повысило окислительную мощность активного ила. Через 2 недели после внесения отмечено увеличение степени очистки сточных вод по ХПК на 17 %.

Технология совместного применения консорциума микроорганизмов-флокулянтов и микробного препарата Антойл отработана на очистных сооружениях птицефабрики РУП «Белоруснефть-Особино». Основными проблемами на предприятии являлись плохое удаление взвешенных веществ, а также вспухание активного ила и его вынос из вторичных отстойников при запуске убойного цеха. Как следствие, увеличение материальных затрат на дополнительную очистку.

Контролируемыми показателями являлись ХПК, БПК₅, а также взвешенные вещества. Характеристика сточных вод, поступающих на очистку, представлена в табл. 3.

Таблица 3

Характеристика сточных вод по контролируемым показателям

Table 3

Characteristics of wastewater by controlled indicators

Показатель	Количество, мг/дм ³	
	Режим работы очистных	
	штатный	заплывы сбросы при работе убойного цеха
ХПК	181–266	505–616
БПК ₅	50–78	199–213
Взвешенные вещества	63–93	97–117

Консорциум микроорганизмов-флокулянтов и микробный препарат Антойл вносили непосредственно в аэротенки. Первоначально внесение осуществляли дискретно с интервалом в три недели, затем каждые шесть месяцев вносились поддерживающая доза. Анализ контролируемых показателей очистки до внесения микробной загрузки и в течение года после первого внесения показал увеличение степени очистки по ХПК на 5,8–15,4 %, по БПК₅ – на 5,3–9,2 %. Отмечено снижение показателя илового индекса с 172 см³/г до 134 см³/г. На протяжении всего периода исследований наблюдалось постепенное восстановление биоценоза активного ила, снижение количества нитчатых прокариот, а следовательно, улучшение седиментационных свойств и уменьшение выноса ила из вторичных отстойников.

Наиболее показательными являются результаты при внесении поддерживающей дозы консорциума микроорганизмов-флокулянтов и препарата Антойл перед запуском убойного цеха с целью снижения нагрузки на активный ил при залповом сбросе. Мониторинг процесса очистки сточных вод до и после внесения показал увеличение степени очистки по основным контролируемым показателям на 10,6–16,9 %, несмотря на то что показатели ХПК, БПК₅ и взвешенных веществ поступающей на очистку сточной воды в 1,4–3,9 раз были выше чем до запуска убойного цеха (табл. 4). На протяжении последующих трех месяцев после внесения эффективность очистки по вышеперечисленным показателям находилась на уровне 86,5–92,9 %. Улучшение деструктивного потенциала активного ила способствовало эффективной очистке стоков и предотвращению нитчатого всухания ила.

Таблица 4

Эффективность очистки сточных вод птицефабрики

Table 4

Poultry farm wastewater treatment efficiency

Период контроля	Эффективность очистки, %		
	ХПК	БПК ₅	Взвешенные вещества
До внесения (среднее за 6 месяцев)	79,5	75,8	74,6
После внесения (среднее за 3 месяца)	90,1	92,7	86,9
Увеличение степени очистки	+10,6	+16,9	+12,3

Заключение

Таким образом, полученные результаты подтверждают эффективность совместного применения консорциума микроорганизмов-флокулянтов и микробного препарата Антойл для очистки сточных вод птицефабрик и поддержания эффективности очистки на высоком уровне в период залповых сбросов.

Установлено, что применение консорциума микроорганизмов-флокулянтов позволяет достичнуть высоких показателей очистки сточных вод сырьевого комбината и птицефабрики не только по взвешенным веществам, но и по ХПК. Практически подтверждена возможность совместного применения консорциума микроорганизмов-флокулянтов и микробного препарата Антойл для очистки сточных вод птицефабрик, а также создания новых технологий очистки сточных вод предприятий мясо-молочной промышленности.

Библиографические ссылки

1. Lee CS, Robinson J, Chong MF. A review on application of flocculants in wastewater treatment. *Process Safety and Environmental Protection*. 2014;92(6):489–508. DOI: 10.1016/j.psep.2014.04.010.
2. Yang Q, Zhao X, Zhang J. Components of a bioflocculant for treating tannery wastewater. *Journal Residuals Science and Technology*. 2015;12(2):99–103. DOI: 10.12783/issn.1544-8053/12/2/9.
3. Okaiyeto K, Nwodo UU, Okoli SA. Implications for public health demands alternatives to inorganic and synthetic flocculants: bioflocculants as important candidates. *Microbiology Open*. 2016;5(2):177–211. DOI: 10.1002/mbo3.334.
4. Abdullah AM, Hamidah H, Alam MZ. Research progress in bioflocculants from bacteria. *International Food Research Journal*. 2014;24:402–409. URL: [http://www.ifrj.upm.edu.my/24%20\(07\)%](http://www.ifrj.upm.edu.my/24%20(07)%).
5. Liu P, Chen Z, Yang L. Increasing the bioflocculant production and identifying the effect of overexpressing epsB on the synthesis of polysaccharide and γ-PGA in *Bacillus licheniformis*. *Microbial Cell Factories*. 2017;16(1):163–172. DOI: 10.1186/s12934-017-0775-9.
6. Cosa S, Okoh A. Bioflocculant production by a consortium of two bacterial species and its potential application in industrial wastewater and river water treatment. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2014;23(3):689–696.
7. Шараева АА, Мефтахов РМ, Петухова НИ. Исследование флокулирующей активности экзополимеров микроорганизмов нефтеокисляющих биоценозов. *Нефтегазовое дело*. 2013;1:510–519.
8. Ugbenyen A, Okoh A. Characteristics of a bioflocculant produced by a consortium of *Cobetia* and *Bacillus* species and its application in the treatment of wastewaters. *Water SA*. 2014;40(1):139–144. DOI: 10.4314/wsa.v40i1.17.

9. Ding R, Laipeng L, Han R. Rapid Production of a novel Al(III) dependent bioflocculant isolated from *Raoultella ornithinolytica* 160-1 and its application combined with inorganic salts. *Frontiers in Microbiology*. 2021;11:62–73. DOI: 10.3389/fmicb.2020.622365.
10. Hassimi AH, Hafiz RE, Muhamad MH. Bioflocculant production using palm oil mill and sago mill effluent as a fermentation feedstock: characterization and mechanism of flocculation. *Journal of Environmental Management*. 2020;260:110–117. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.110046.
11. Kurniawan SB, Abdullah SR, Imron MF. Challenges and opportunities of biocoagulant/bioflocculant application for drinking water and wastewater treatment and its potential for sludge recovery. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020;17(24):9312–9344. DOI: 10.3390/ijerph17249312.
12. Humudat YR, Al-Naseri SK, Kadhim SA. Production of highly efficient bacterial flocculant in water treatment. *International Journal of Advanced Research*. 2014;2(9):297–301.
13. Цесь IOB, Васильева ЖВ. Разработка технологии очистки сточных вод рыбоперерабатывающих предприятий с помощью биофлокулянтов. *Научный журнал НИУ ИТМО*. 2014;1:16–21.
14. Dlangamandla C, Ntwampe SK, Basitere M. A bioflocculant-supported dissolved air flotation system for the removal of suspended solids, lipids and protein matter from poultry slaughterhouse wastewater. *Water Science Technology*. 2018;78(2):452–458. DOI: 10.2166/wst.2018.324.
15. Lauprasert P, Chansirirattana J, Paengjan J. Effect of selected bacteria as bioremediation on the degradation of fats oils and greases in wastewater from cafeteria grease traps. *European Journal of Sustainable Development*. 2017;6(2):181–186. DOI: 10.14207/ejsd.2017.v6n2p181.
16. Tzirita M, Papanicolaou S, Chatzifragkou A. Waste fat biodegradation and biomodification by *Yarrowia lipolytica* and a bacterial consortium composed of *Bacillus* spp. and *Pseudomonas putida*. *Engineering in Life Sciences*. 2018;18(12):932–942. DOI: 10.1002/elsc.201800067.
17. Matran RM, Blaga AK, Cascaval D. Comparative studies on kinetics of anaerobic and aerobic biodegradation of lipids from olive oil mill wastewaters with mixture of *Bacillus* spp. cells. *Environmental Engineering and Management Journal*. 2015;14(3):575–579. DOI: 10.30638/eemj.2015.062.
18. Deng J, Chen Q, Hu B. Synergic effect of adsorption and biodegradation by microsphere immobilizing *Bacillus velezensis* for enhanced removal organics in slaughter wastewater. *Processes*. 2021;9(7):1145–1155. DOI: 10.3390/pr9071145.
19. Agualimpia B, Otero JV, Zafra G. Evaluation of native microorganisms for biodegradation of oil and grease in palm oil refinery effluents. *Biotecnología Aplicada*. 2016;33:1221–1226.
20. Ручай НС, Маркевич РМ. Экологическая биотехнология. Минск: БГТУ; 2006. 312 с.
21. Чирикова МС, Глушень ЕМ, Самсонова АС. Биоинтенсификация очистки коммунально-бытовых сточных вод, осложненных высоким содержанием жировых веществ. *Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты*. 2019;11:560–570.
22. Чирикова МС, Глушень ЕМ. Флокулирующий и деструктивный потенциал нового микробного консорциума для очистки сточных вод предприятий молочной и мясоперерабатывающей промышленности. *Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты*. 2018;10:486–494.

References

1. Lee CS, Robinson J, Chong MF. A review on application of flocculants in wastewater treatment. *Process Safety and Environmental Protection*. 2014;92(6):489–508. DOI: 10.1016/j.psep.2014.04.010.
2. Yang Q, Zhao X, Zhang J. Components of a bioflocculant for treating tannery wastewater. *Journal Residuals Science and Technology*. 2015;12(2):99–103. DOI: 10.12783/issn.1544-8053/12/2/9.
3. Okaiyeto K, Nwodo UU, Okoli SA. Implications for public health demands alternatives to inorganic and synthetic flocculants: bioflocculants as important candidates. *Microbiology Open*. 2016;5(2):177–211. DOI: 10.1002/mbo3.334.
4. Abdullah AM, Hamidah H, Alam MZ. Research progress in bioflocculants from bacteria. *International Food Research Journal*. 2014;24:402–409. URL: [http://www.ifrij.upm.edu.my/24%20\(07\)%](http://www.ifrij.upm.edu.my/24%20(07)%).
5. Liu P, Chen Z, Yang L. Increasing the bioflocculant production and identifying the effect of overexpressing *epsB* on the synthesis of polysaccharide and γ -PGA in *Bacillus licheniformis*. *Microbial Cell Factories*. 2017;16(1):163–172. DOI: 10.1186/s12934-017-0775-9.
6. Cosa S, Okoh A. Bioflocculant production by a consortium of two bacterial species and its potential application in industrial wastewater and river water treatment. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2014;23(3):689–696.
7. Sharaeva AA, Meftakhov RM, Petukhova NI. *Issledovanie flokuliruyushchei aktivnosti ekzopolimerov mikroorganizmov nefteokislyayushchikh biotsenozov* [Investigation of the flocculating activity of exopolymers of microorganisms of oil-oxidizing biocenoses]. *Neftegazovoe delo*. 2013;1:510–519. Russian.
8. Ugbenyen A, Okoh A. Characteristics of a bioflocculant produced by a consortium of *Cobetia* and *Bacillus* species and its application in the treatment of wastewaters. *Water SA*. 2014;40(1):139–144. DOI: 10.4314/wsa.v40i1.17.
9. Ding R, Laipeng L, Han R. Rapid Production of a novel Al(III) dependent bioflocculant isolated from *Raoultella ornithinolytica* 160-1 and its application combined with inorganic salts. *Frontiers in Microbiology*. 2021;11:62–73. DOI: 10.3389/fmicb.2020.622365.
10. Hassimi AH, Hafiz RE, Muhamad MH. Bioflocculant production using palm oil mill and sago mill effluent as a fermentation feedstock: characterization and mechanism of flocculation. *Journal of Environmental Management*. 2020;260:110–117. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.110046.
11. Kurniawan SB, Abdullah SR, Imron MF. Challenges and opportunities of biocoagulant/bioflocculant application for drinking water and wastewater treatment and its potential for sludge recovery. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020;17(24):9312–9344. DOI: 10.3390/ijerph17249312.
12. Humudat YR, Al-Naseri SK, Kadhim SA. Production of highly efficient bacterial flocculant in water treatment. *International Journal of Advanced Research*. 2014;2(9):297–301.
13. Tses' YuV, Vasil'eva ZhV. *Razrabotka tekhnologii ochistki stochnykh vod rybopererabatyvayushchikh predpriyatiis pomoshch'yu bioflokulyantov* [Development of wastewater treatment technology for fish processing enterprises using bioflocculants]. *Nauchnyi zhurnal NIU ITMO*. 2014;1:16–21. Russian.

14. Dlangamandla C, Ntwampe SK, Basitere M. A bioflocculant-supported dissolved air flotation system for the removal of suspended solids, lipids and protein matter from poultry slaughterhouse wastewater. *Water Science Technology*. 2018;78(2):452–458. DOI: 10.2166/wst.2018.324.
15. Lauprasert P, Chansirirattana J, Paengjan J. Effect of selected bacteria as bioremediation on the degradation of fats oils and greases in wastewater from cafeteria grease traps. *European Journal of Sustainable Development*. 2017;6(2):181–186. DOI: 10.14207/ejsd.2017.v6n2p181.
16. Tzirita M, Papanicolaou S, Chatzifragkou A. Waste fat biodegradation and biomodification by *Yarrowia lipolytica* and a bacterial consortium composed of *Bacillus* spp. and *Pseudomonas putida*. *Engineering in Life Sciences*. 2018;18(12):932–942. DOI: 10.1002/elsc.201800067.
17. Matran RM, Blaga AK, Cascaval D. Comparative studies on kinetics of anaerobic and aerobic biodegradation of lipids from olive oil mill wastewaters with mixture of *Bacillus* spp. cells. *Environmnal Engineering and Management Journal*. 2015;14(3):575–579. DOI: 10.30638/eemj.2015.062.
18. Deng J, Chen Q, Hu B. Synergic effect of adsorption and biodegradation by microsphere immobilizing *Bacillus velezensis* for enhanced removal organics in slaughter wastewater. *Processes*. 2021;9(7):1145–1155. DOI:10.3390/pr9071145.
19. Agualimpia B, Otero JV, Zafra G. Evaluation of native microorganisms for biodegradation of oil and grease in palm oil refinery effluents. *Biotecnología Aplicada*. 2016;33:1221–1226.
20. Ruchai NS, Markevich RM. *Ekologicheskaya biotekhnologiya* [Ecological biotechnology] Minsk: BSTU;2006. Russian.
21. Chirikova MS, Glushen' EM, Samsonova AS. *Biointensifikatsiya ochistki kommunal'no-bytovykh stochnykh vod, oslozhnennykh vysokim soderzhaniem zhirovykh veshchestv* [Biointensification of municipal wastewater treatment, complicated by a high content of fatty substances]. *Mikrobye biotekhnologii: fundamental'nye i prikladnye aspekty*. 2019;11:560–570. Russian.
22. Chirikova MS, Glushen' EM. *Flokuliruyushchii i destruktivnyi potentsial novogo mikrobnogo konsortsiuma dlya ochistki stochnykh vod predpriyatii molochnoi i myasopererabatyvayushchei promyshlennosti* [Flocculating and destructive potential of a new microbial concortium for wastewater treatment of dairy and meat processing industries]. *Mikrobye biotekhnologii: fundamental'nye i prikladnye aspekty*. 2018;10:486–494. Russian.

Статья поступила в редакцию 22.12.2022.

Received by editorial board 22.12.2022.