

DOI: 10.22363/2313-2310-2025-33-3-342-351

EDN: SWRRHB

УДК 628.473.24

Научная статья / Research article

Изменение микробного консорциума в процессе утилизации застарелой послеспиртовой барды методом аэробного компостирования

Я.М. Русских¹, Д.Н. Шерстобитов¹✉, З.Е. Машенко¹,
В.В. Ермаков¹, О.В. Тупицына¹

Самарский государственный технический университет, Самара,
Российская Федерация
✉sherstobitovdn@gmail.com

Аннотация. Оценено изменение консорциума микроорганизмов при утилизации отходов застарелой послеспиртовой барды методом аэробного компостирования в результате использования биопрепарата-нефтедеструктора «Ленойл»[®] СХП с содержанием микроорганизмами родов *Ochrobactrum sp.* и *Acinetobacter sp.* В первоначальном отходе были выделены микроорганизмы родов: *Acidothermus sp.*, *Proteus sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Bacillus sp.*, *Escherichia sp.*, *Staphylococcus sp.* и *Enterobacter sp.* После применения биопрепарата были идентифицированы следующие рода микроорганизмов: *Ochrobactrum sp.*, *Acinetobacter sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Bacillus sp.*, *Escherichia sp.*, *Staphylococcus sp.* и *Enterobacter sp.* Применение биопрепарата способствовало развитию существующих популяций микроорганизмов, а также интродукции новых видов. Использование биопрепарата позволило увеличить количество микроорганизмов, способствующих более эффективному разложению органических соединений и снижению концентрации неорганического азота при утилизации отходов застарелой послеспиртовой барды методом аэробного компостирования.

Ключевые слова: барда послеспиртовая, биоремедиация, утилизация отходов, биопрепараты

Вклад авторов. Русских Я.М. – разработка методологии исследования, проведение исследования, создание черновика рукописи; Шерстобитов Д.Н. – разработка идеи исследования, создание рукописи и ее редактирование; Машенко З.Е. – проведение исследования, формальный анализ; Ермаков В.В. – научное руководство исследованием; Тупицына О.В. – администрирование проекта. Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

© Русских Я.М., Шерстобитов Д.Н., Машенко З.Е., Ермаков В.В., Тупицына О.В., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

История статьи: поступила в редакцию 10.10.2024; доработана после рецензирования 20.01.2025; принята к публикации 21.02.2025.

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Русских Я.М., Шерстобитов Д.Н., Мащенко З.Е., Ермаков В.В., Тупицына О.В. Изменение микробного консорциума в процессе утилизации застарелой послеспиртовой барды методом аэробного компостирования // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2025. Т. 33. № 3. С. 342–351. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-3-342-351>

Changes in the microbial consortium during the disposal of aged post-fermentation distillery grain using the aerobic composting method

Yana M. Russkikh¹, Danil N. Sherstobitov¹,
Zinaida E. Mashchenko¹, Vasilii V. Ermakov¹, Olga V. Tupitsyna¹

Samara State Technical University, Samara, Russian Federation

sherstobitovdn@gmail.com

Abstract. The change in the consortium of microorganisms during the disposal of aged post-fermentation distillery grain by aerobic composting using the biopreparation-oil destructor “Lenoil”® SHP containing microorganisms of the genera *Ochrobactrum sp.* and *Acinetobacter sp.* has been assessed. In the initial waste, microorganisms of the genera: *Acidothermus sp.*, *Proteus sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Bacillus sp.*, *Escherichia sp.*, *Staphylococcus sp.*, and *Enterobacter sp.* were isolated. After the application of the biopreparation, the following genera of microorganisms were identified: *Ochrobactrum sp.*, *Acinetobacter sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Bacillus sp.*, *Escherichia sp.*, *Staphylococcus sp.*, and *Enterobacter sp.* The use of the biopreparation promoted the development of existing microbial populations as well as the introduction of new species. The application of the biopreparation has made it possible to increase the number of microorganisms that contribute to more effective decomposition of organic compounds and reduction of inorganic nitrogen concentration during the disposal of aged post-fermentation distillery grain using the aerobic composting method.

Keywords: post-fermentation distillery grain, bioremediation, waste disposal, biopreparations

Authors’ contribution. Y.M. Russkikh – development of the research methodology, conducting the research, writing the initial draft; D.N. Sherstobitov – development of the research idea, writing and editing the manuscript; Z.E. Mashchenko – conducting the research, formal analysis; V.V. Ermakov – scientific supervision of the research; O.V. Tupitsyna – project administration. All authors have read and approved the final version of the manuscript.

Article history: received 10.10.2024; revised 20.01.2025; accepted 21.02.2025.

Conflicts of interest. The authors declare no conflicts of interest.

For citation: Russkikh YM, Sherstobitov DN, Mashchenko ZE, Ermakov VV, Tupitsyna OV. Changes in the microbial consortium during the disposal of aged post-fermentation distillery grain using the aerobic composting method. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2025;33(3):342–351. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-3-342-351>

Введение

Послеспиртовая барда – отход, представляющий собой жидкость (суспензию) светло-коричневого цвета с содержанием сухих веществ – 7–9 %. Зерновая спиртовая барда богата клетчаткой, углеводами, белками и микроэлементами [1]. Образование послеспиртовой барды происходит при производстве этилового спирта на стадии ректификации, которое сопровождается образованием не менее 13 л барды на 1 л этанола.

Послеспиртовая барда содержит в составе аминокислоты, растворенные продукты кислого брожения, растительный жир и безазотистые экстрактивные вещества [2]. В составе послеспиртовой барды присутствуют мертвые клетки дрожжей-продуцентов этанола, органические кислоты, витамины, микро- и макроэлементы [3]. Водородный показатель (pH) свежей спиртовой барды составляет 4,9 ед., в состав входят редуцирующие вещества – 0,33 %, сырой протеин – 37,0 %, азот аммонийный – 1200 мг/л, оксид фосфора (V) – 1480 мг/л, калий – 688 мг/л, кальций – 130 мг/л, магний – 300 мг/л и др. [4].

До вступления в силу нормативно-правовых актов, регламентирующих утилизацию послеспиртовой барды на производстве, отходы размещались в земляных накопителях, а после появления требований по переработке таких отходов размещение производилось не санкционировано. Подобная ситуация сложилась во время работы Рождественского спиртового завода, закрытого в 2013 г. по иску Самарской межрайонной прокуратуры.

Накопители спиртовой барды расположены на удалении 110 м от ближайшей жилой застройки с. Рождествено, в границах «Национального парка Самарская Лука». Согласно проведенным инженерным изысканиям, площадь нарушенных территорий составила 42 га, а глубина загрязнения геосреды отходами послеспиртовой барды не менее 10 м. Распространение загрязнителей из отходов происходило не только в почву и грунты, но также в подземные и поверхностные воды [5].

В 2024 г. стартовали работы по выемке и обезвреживанию застарелой послеспиртовой барды. Для более быстрого и эффективного обезвреживания отходов была применена технология аэробного компостирования. Работы велись во временных ангарах на месте в непосредственной близости от места размещения отходов. Компостирование отходов проводилось в трапецевидных буртах длиной 100 м, высотой до 2 м, объем каждого бурта составлял порядка 400 м³. Формирование компостной смеси происходило из исходного отхода застарелой спиртовой барды (30–35 % об.), незрелого компоста после 7–10 дней компостирования (30–35 % об.), а также древесных опилок

(30–35 % об.). Внесение незрелого компоста на термофильной стадии способствовало более быстрому разогреву компостной массы, а древесные опилки выступали в роли порообразователя для поддержания аэробных условий. В связи с ограниченными сроками производства работ и большим объемом отходов послеспиртовой барды, нуждающимся в утилизации (25 000 м³), было принято решение по внесению биопрепарата «Ленойл»[®] СХП для дополнительной интенсификации процесса переработки отходов застарелой послеспиртовой барды. «Ленойл»[®] СХП разработан ЗАО НПП «Биомедхим», защищен патентом РФ 2553540¹.

Отходы застарелой спиртовой барды характеризуются высоким содержанием аммонийного (до 3700 мг/кг) и нитритного (до 37 мг/кг) азота. Использование метода аэробного компостирования при утилизации отходов послеспиртовой барды позволяет интенсифицировать протекание процесса нитрификации, при котором происходит снижение аммонийного и нитритного азота. Кроме того, в процессе компостирования происходит минерализация отходов спиртовой барды, результатом которого является получение органоминерального грунта с низким содержанием органического вещества [6].

Материалы и методы

Для анализа эффективности применения «Ленойл»[®] СХП в качестве биопрепарата для интенсификации процесса компостирования отходов застарелой послеспиртовой барды была проведена качественная оценка микробного консорциума.

Для анализа были взяты образцы как необработанной барды, так и барды, подвергнутой обработке бактериальным препаратом «Ленойл»[®] СХП.

Данный препарат включает в себя микроорганизмы, принадлежащие к родам *Ochrobactrum sp.* и *Acinetobacter sp.*, которые играют ключевую роль в процессе разложения углеводов по целевому назначению биопрепарата.

Микроорганизмы указанных родов известны своей высокой адаптивностью к разнообразным экосистемам и способностью эффективно разлагать углеводороды и прочие органические соединения [7–10]. Использование препарата «Ленойл»[®] СХП для утилизации отходов застарелой спиртовой барды обосновано тем, что микроорганизмы рода *Acinetobacter sp.* имеет превосходную способность по снижению концентрации неорганического азота [11–13]. Интеграция родов *Ochrobactrum sp.* и *Acinetobacter sp.* в микробный консорциум может ускорить процессы разложения остатков спиртового производства, что имеет весомое значение для снижения экологической нагрузки.

¹ Патент RU 2 553 540 C2. Консорциум штаммов микроорганизмов *Acinetobacter sp.* и *Ochrobactrum sp.*, используемый для очистки воды и почвы от нефти и нефтепродуктов : заявл. 2012151289/10, 29.11.2012 ; опубл. 20.06.2015 / патентообладатель : Закрытое акционерное общество научно-производственное предприятие «Биомедхим» (ЗАО НПП «Биомедхим»), Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии Уфимского научного центра РАН (ФГБУН ИБ УНЦ РАН).

Биопрепарат демонстрирует потенциал для биодеструкции нефтепродуктов и углеводов, а также при очистке сточных вод. Эффективность препарата обусловлена активностью специально отобранных штаммов бактерий, способных эффективно разлагать широкий спектр органических соединений. Использование данного препарата способствует не только улучшению экологической обстановки, но и существенному сокращению расходов на утилизацию отходов и очистку сточных вод по сравнению с традиционными методами [14; 15].

Процесс выделения микроорганизмов из послеспиртовой барды проводился на питательном агаре с последующим культивированием при температурах 30 и 50 °С в течение 24 ч.

Для изучения морфологических и физиолого-биохимических характеристик микроорганизмов были применены следующие методы: описание морфологии колоний микроорганизмов на плотной питательной среде, окрашивание по методу Грама, окрашивание по методу Нейссера, окрашивание по методу Циля – Нильсена, окрашивание по методу Дюгида, окрашивание по методу Грзя, окрашивание для выявления включений гликогена и липидов, определение ферментативной активности, включая протеолитическую, каталазную, оксидазную активность и способность к сбраживанию углеводов.

Результаты и обсуждение

В рамках данного исследования было проведено детальное сравнительное изучение микробного консорциума послеспиртовой барды до и после обработки биопрепаратом.

В целях установления родовой принадлежности изолированных культур были применены традиционные микробиологические методы, описанные в справочнике Берджи (табл. 1–3)².

Таблица 1. Морфология колоний микроорганизмов, выделенных из послеспиртовой барды

Шифр		Морфология колоний на плотной питательной среде
До обработки	A.1.1	Мелкая колония с гладкой поверхностью и изогнутым профилем. Имеет блестящую поверхность белого цвета с ровным краем. Структура однородная, консистенция сметанообразная. Рост колоний на поверхности питательной среды
	A.1.2	Средняя матовая колония с гладкой изогнутой поверхностью. Структура колонии однородная, консистенция пастообразная, цвет кремовый. Рост колонии наблюдается на поверхности питательной среды
	C.1.1	Средняя колония неправильной формы. Профиль колонии плоский, имеет блеск. Цвет колонии желто-белый, край волнистый. Структура колонии струйчатая, консистенция пастообразная. Рост колонии наблюдается на поверхности питательной среды
	C.2.1	Крупная круглая колония с фестончатым краем. Поверхность гладкая, профиль плоский. Колония желто-белого цвета. Структура однородная, консистенция пастообразная, рост колоний на поверхности питательной среды

² Определитель бактерий Берджи : в 2 томах / Р. Беркли и др.; под ред. Дж. Хоулта ; пер. с англ. под ред. акад. РАН Г. А. Заварзина. 9-е изд. Москва : Мир, 1997. Том 1. 429 с. ; Том 2. 500 с.

Окончание табл. 1

Шифр	Морфология колоний на плотной питательной среде	
После обработки	C.3.1	Крупная круглая колония. Поверхность гладкая, профиль плоский. Бело-серого цвета. Структура однородная, консистенция пастообразная. Рост колонии наблюдается на поверхности питательной среды
	C.3.2	Средняя непрозрачная колония кремово-желтого цвета. Колония гладкая, ровная, выпуклая с четкими краями. Рост колонии наблюдается на поверхности питательной среды
	C.4.1	Крупная круглая колония с фестончатым краем. Поверхность гладкая, профиль плоский. Матовая, серого-белого цвета. Структура крупнозернистая, консистенция пастообразная, рост на поверхности питательной среды
	B.4.1	Крупная матовая колония с гладкой поверхностью. Цвет колонии желто-белый, край неровный. Структура колонии однородная, консистенция пастообразная. Рост колонии на поверхности питательной среды
	D.1.1	Средняя колония неправильной формы. Профиль колонии плоский, имеет блеск. Цвет колонии желто-белый, край волнистый. Структура колонии струйчатая, консистенция пастообразная. Рост колонии наблюдается на поверхности питательной среды
	D.2.2	Крупная круглая колония с фестончатым краем. Поверхность гладкая, профиль плоский. Колония блестящая, бело-желтого цвета. Структура однородная, консистенция пастообразная, рост колоний на поверхности питательной среды
	D.2.3	Крупная круглая колония. Поверхность шероховатая, профиль плоский. Бледно-серого цвета. Структура однородная, консистенция сухая. Рост колонии наблюдается на поверхности питательной среды
	D.3.1	Крупная круглая колония. Поверхность гладкая, профиль плоский. Бело-серого цвета. Структура однородная, консистенция пастообразная. Рост колонии наблюдается на поверхности питательной среды
	D.3.2	Средняя непрозрачная колония кремово-желтого цвета. Колония гладкая, ровная, выпуклая с четкими краями. Рост колонии наблюдается на поверхности питательной среды
	D.4.2	Крупная круглая колония с фестончатым краем. Поверхность гладкая, профиль плоский. Матовая, серовато-белого цвета. Структура крупнозернистая, консистенция пастообразная, рост на поверхности питательной среды

Источник: составлено Я.М. Русских по данным: Определитель бактерий Берджи : в 2 томах / Р. Беркли и др.; под ред. Дж. Хоулта ; пер. с англ. под ред. акад. РАН Г. А. Заварзина. 9-е изд. Москва : Мир, 1997. Том 1. 429 с. ; Том 2. 500 с.

Таблица 2. Морфологические признаки культур микроорганизмов, выделенных из послеспиртовой барды

Шифр	Форма клеток	Окраска по Граму	Наличие жгутиков	Наличие спор	Наличие включений			
					Гликоген	Волютин	Липиды	Капсулы
До обработки	A. 1.1	Палочки	–	–	–	–	–	–
	A. 1.2	Палочки	–	+	–	–	–	–
	C. 1.1	Палочки	–	+	–	+	–	–
	C. 2.1	Палочки	+	+	+	–	–	–
	C. 3.1	Палочки	–	+	–	–	–	+
	C. 3.2	Кокки	+	–	–	–	–	–
После обработки	C. 4.1	Палочки	–	+	–	–	–	–
	B. 4.1	Палочки	–	+	–	+	–	–
	D. 1.1	Палочки	–	+	–	+	–	–
	D. 2.2	Палочки	+	+	+	–	–	–
	D. 2.3	Палочки	–	–	–	–	–	–
	D. 3.1	Палочки	–	+	–	–	–	+
	D. 3.2	Кокки	+	–	–	–	–	–
	D. 4.2	Палочки	–	+	–	–	–	–

Источник: составлено Я.М. Русских по данным: Определитель бактерий Берджи : в 2 томах / Р. Беркли и др.; под ред. Дж. Хоулта ; пер. с англ. под ред. акад. РАН Г. А. Заварзина. 9-е изд. Москва : Мир, 1997. Том 1. 429 с. ; Том 2. 500 с.

Таблица 3. Физиолого-биохимические свойства культур микроорганизмов, выделенных из послеспиртовой барды

Code		Отношение к температуре	Отношение к кислороду	Протеолитическая активность	Каталазная активность	Оксидазная активность	Способность к сбраживанию углеводов				Род
							Глюкоза	Мальтоза	Сахароза	Лактоза	
До обработки	A.1.1	Термофилы	Аэробы	–	+	+	+	+	+	–	<i>Acidothermus sp.</i>
	A.1.2	Термофилы	Факультативные анаэробы	–	+	–	+	+	+	–	<i>Proteus sp.</i>
	C.1.1	Мезофилы	Аэробы	+	+	+	–	–	–	–	<i>Pseudomonas sp.</i>
	C.2.1	Мезофилы	Факультативные анаэробы	+	+	–	+	+	+	+	<i>Bacillus sp.</i>
	C.3.1	Мезофилы	Факультативные анаэробы	–	+	–	+	+	+	+	<i>Escherichia sp.</i>
	C.3.2	Мезофилы	Факультативные анаэробы	+	+	–	+	+	–	–	<i>Staphylococcus sp.</i>
	C.4.1	Мезофилы	Факультативные анаэробы	–	+	–	+	+	+	–	<i>Enterobacter sp.</i>
После обработки	B.4.1	Термофилы	Аэробы	–	–	–	+	–	–	–	<i>Ochrobactrum sp.</i>
	D.1.1	Мезофилы	Аэробы	+	+	+	–	–	–	–	<i>Pseudomonas sp.</i>
	D.2.2	Мезофилы	Факультативные анаэробы	+	+	–	+	+	+	+	<i>Bacillus sp.</i>
	D.2.3	Мезофилы	Аэробы	–	+	–	+	–	–	–	<i>Acinetobacter sp.</i>
	D.3.1	Мезофилы	Факультативные анаэробы	–	+	–	+	+	+	+	<i>Escherichia sp.</i>
	D.3.2	Мезофилы	Факультативные анаэробы	+	+	–	+	+	–	–	<i>Staphylococcus sp.</i>
	D.4.2	Мезофилы	Факультативные анаэробы	–	+	–	+	+	+	–	<i>Enterobacter sp.</i>

Источник: составлено Я.М. Русских по данным: Определитель бактерий Берджи : в 2 томах / Р. Беркли и др.; под ред. Дж. Хоулта ; пер. с англ. под ред. акад. РАН Г. А. Заварзина. 9-е изд. Москва : Мир, 1997. Том 1. 429 с. ; Том 2. 500 с.

На начальном этапе анализа были идентифицированы следующие рода микроорганизмов: *Acidothermus sp.*, *Proteus sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Bacillus sp.*, *Escherichia sp.*, *Staphylococcus sp.* и *Enterobacter sp.*

После применения биопрепарата в образцах послеспиртовой барды были обнаружены рода бактерий *Ochrobactrum sp.* и *Acinetobacter sp.* Эти результаты указывают на то, что использование биопрепарата не только поддерживает существующие популяции микроорганизмов, но и способствует инвазии родов, содержащихся в препарате, что может существенно улучшить функциональные характеристики микробного сообщества в направлении интенсификации микробных процессов и выживаемости. Проведенные исследования демонстрируют, что использование микроорганизмов *Ochrobactrum sp.* и *Acinetobacter sp.* обладает потенциалом значительного сокращения временного периода, необходимого для процесса декомпозиции органических соединений [11; 13; 16–18].

Заключение

Биопрепарат «Ленойл»[®] СХП эффективен для улучшения функциональных характеристик микробных сообществ, участвующих в биodeградации органических веществ. Применение препарата в образцах послеспиртовой барды увеличило разнообразие микроорганизмов за счет инвазии новых родов бактерий, таких как *Ochrobactrum sp.* и *Acinetobacter sp.*

Использование биопрепарата является перспективным подходом для утилизации послеспиртовой барды, поскольку он способствует не только поддержанию существующих популяций микроорганизмов, но и интродукции новых видов, ускоряющих процессы разложения органических отходов. Это снижает экологическую нагрузку при сокращении затрат на утилизацию отходов.

Список литературы

- [1] Дыганова Р.Я., Беляева Ю.С. Разработка методики выбора технологий переработки отходов спиртовой промышленности как инструмента экологического менеджмента // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16, № 4 (2). С. 1728–1736. EDN: TKPQVX
- [2] Агафонов Г.В., Зуева Н.В., Ключников А.И., Яковлев А.Н. Сравнительная характеристика возможных технологий по переработке послеспиртовой барды // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2012. № 3 (53). С. 107–110. EDN: PJHXXM
- [3] Кузнецов И.Н., Ручай Н.С. Анализ мирового опыта в технологии переработки послеспиртовой барды // Труды БГТУ. № 4. Химия, технология органических веществ и биотехнология. 2010. Т. 1, № 4. С. 294–301. EDN: SJLBZP
- [4] Винаров А.Ю., Кухаренко А.А., Николайкина Н.Е. Безотходная биотехнология этилового спирта. Москва : Юрайт, 2019. 272 с. EDN: XBFXJ
- [5] Пыстин В.Н., Губарь Е.В., Тулицына О.В., Быков Д.Е., Чертез К.Л. Утилизация отходов и ликвидация объекта накопленного вреда в условиях особо охраняемой природной территории // Экология и промышленность России. 2022. Т. 26, № 5. С. 22–27. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2022-5-22-27> EDN: MCJEYU
- [6] Шерстобитов Д.Н., Ермаков В.В., Васильев А.В., Пыстин В.Н., Быков Д.Е. Обезвреживание застарелой послеспиртовой барды, размещенной в земляных накопителях // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2024. Т. 26, № 1. С. 135–140. <https://doi.org/10.37313/1990-5378-2024-26-1-135-140>. EDN: LFPWHZ
- [7] Carvalho M., Bento de Carvalho T., Barbosa J.B., Teixeira P., Bergogne-Bérézin E. *Acinetobacter* // Encyclopedia of Food Safety. Second edition. 2024. P. 58–67. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822521-9.00212-4>
- [8] Mujumdar S., Bhoyar J., Akkar A., Hundekar S., Agnihotri N., Jaybhay P., Bhuyan S. *Acinetobacter*: A versatile plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) // Plant-Microbe Interaction – Recent Advances in Molecular and Biochemical Approaches. Volume 1 : Overview of Biochemical and Physiological Alteration During Plant-Microbe Interaction. 2023. P. 327–362. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91875-6.00009-8>

- [9] Ryan M.P., Pembroke J.T. The genus *Ochrobactrum* as major opportunistic pathogens // Microorganisms. 2020. Vol. 8, no. 11. Article no. 1797. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8111797>.
- [10] Коришунова Т.Ю., Кузина Е.В., Шарипов Д.А., Рафикова Г.Ф. Бактерии родов *Acinetobacter* и *Ochrobactrum* в процессах биоремедиации нефтезагрязнённых объектов (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 3. С. 13–20. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2021-3-013-020> EDN: ZBRDON
- [11] Zhao T., Chen P., Zhang L., Zhang L., Gao Ya., Ai Sh., Liu H., Liu X. Heterotrophic nitrification and aerobic denitrification by a novel *Acinetobacter* sp. TAC-1 at low temperature and high ammonia nitrogen // Bioresource Technology. 2021. Vol. 339. Article no. 125620. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125620> EDN: UVKFWI
- [12] Wu L., Ding X., Lin Ya., Lu X., Lv H., Zhao M., Yu R. Nitrogen removal by a novel heterotrophic nitrification and aerobic denitrification bacterium *Acinetobacter calcoaceticus* TY1 under low temperatures // Bioresource Technology. 2022. Vol. 353. P. 127148. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127148> EDN: DHNVNT
- [13] Yang L., He T., Chen M., Zhang M., Yang L., Zheng Ch., Wang C. Excellent phenol removal ability of *Acinetobacter guillouiae* BY18 under different inorganic nitrogen conditions // Environmental Technology & Innovation. 2024. Vol. 35. Article no. 103694. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2024.103694>.
- [14] Тавадзе Б.Д., Белокурова Е.В. Применение биоремедиации в лабораторных условиях для очистки почв, загрязненных нефтепродуктами, и ее экономическая эффективность // Успехи современного естествознания. 2024. № 5. С. 84–89. <https://doi.org/10.17513/use.38270>.
- [15] Кобызева Н. В. Локальная очистка промышленных сточных вод с помощью биопрепарата «Ленойл»: дис. ... канд. биол. наук. Уфа : Институт биологии Уфимского научного центра Российской академии наук, 2009. EDN: NQPSQB
- [16] Wen G., Wang T., Li K., Wang H., Wang J., Huang T. Aerobic denitrification performance of strain *Acinetobacter johnsonii* WGХ-9 using different natural organic matter as carbon source: Effect of molecular weight // Water Research. 2019. Vol. 164. Article no. 114956. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.114956>
- [17] Jiang W., Chen R., Duan Ya., Wang H., Yan H., Shen X., Chen X., Yin Ch., Mao Zh. Isolation of phloridzin-degrading, IAA-producing bacterium *Ochrobactrum haematophilum* and its effects on the apple replant soil environment // Horticultural Plant Journal. 2023. Vol. 9, iss. 2. P. 199–208. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2022.08.010> EDN: LJVOMX
- [18] Feritas J.F., Silva D.F. de Lima., Castro J.N.F., Agnez-Lima L.F. Genomic and phenotypic characterization of novel *Ochrobactrum* species isolated from Brazilian oil reservoirs: Genomic diversity and bioremediation potential // Process Biochemistry. 2025. Vol. 149. P. 74–84. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2024.11.036> EDN: SNNRZS

Сведения об авторах:

Русских Яна Маратовна, аспирант, Высшая биотехнологическая школа, Самарский государственный технический университет, Российская Федерация, 443100, Самарская область, город Самара, Молодогвардейская ул., д. 244. ORCID: 0000-0002-8653-0744; eLIBRARY SPIN-код: 3817-0653. E-mail: yzakieva@gmail.com

Шерстобитов Данил Николаевич, аспирант, кафедра химической технологии и промышленной экологии, Самарский государственный технический университет, Российская Федерация, 443100, Самарская область, город Самара, Молодогвардейская ул., д. 244. ORCID: 0000-0002-9160-5317; eLIBRARY SPIN-код: 6822-4868. E-mail: shersobitovdn@gmail.com

Мащенко Зинаида Евгеньевна, кандидат фармацевтических наук, доцент, высшая биотехнологическая школа, Самарский государственный технический университет, Российская Федерация, 443100, Самарская область, город Самара, Молодогвардейская ул., д. 244. ORCID: 0000-0002-1357-1780; eLIBRARY SPIN-код: 9878-0975. E-mail: mzinaida@yandex.ru

Ермаков Василий Васильевич, кандидат технических наук, доцент, кафедра химической технологии и промышленной экологии, Самарский государственный технический университет, Российская Федерация, 443100, Самарская область, город Самара, Молодогвардейская ул., д. 244. ORCID: 0000-0001-7720-2418; eLIBRARY SPIN-код: 5201-1408. E-mail: wassiliy@rambler.ru

Тупицына Ольга Владимировна, доктор технических наук, профессор, кафедра химической технологии и промышленной экологии, Самарский государственный технический университет, Российская Федерация, 443100, Самарская область, город Самара, Молодогвардейская ул., д. 244. ORCID: 0000-0003-0638-2700; eLIBRARY SPIN-код: 4203-9529. E-mail: olgatupicyna@yandex.ru