

УДК 579.695

НОВЫЕ КОНСОРЦИУМЫ МИКРООРГАНИЗМОВ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

Б. Р. Исламов*, Е. Ю. Шульга, И. А. Дегтярева,
Г. Ф. Рахманова, Ш. З. Валидов

Лаборатория молекулярно-генетических и микробиологических методов КазНЦ РАН,
ФИЦ «Казанский научный центр РАН» (ул. Оренбургский тракт, 20А, Казань,
Республика Татарстан, Россия, 420059), *bah-islam80@mail.ru

Из осадков сточных вод (ОСВ) выделены 35 штаммов бактерий, из которых семь изолятов относятся ко II группе риска, один – к I группе. Видовая идентификация бактерий определена на основании последовательности 16S рРНК. Затем непатогенные штаммы (по классификации DSMZ) проверены на наличие ферментативных активностей (амилазной, липазной, протеазной, фитазной, целлюлолитической). Из девяти перспективных по этим показателям штаммов созданы два консорциума для переработки ОСВ – МГ1 (на основе четырех штаммов: *Bacillus subtilis* штамм BAS21, *Priestia megaterium* штамм BAS22, *Pseudomonas baetica* штамм BAS23, *Streptomyces albidoflavus* штамм BAS24) и МГ2 (состав консорциума МГ1, к которому добавлены пять термотолерантных штаммов: *Bacillus subtilis* штамм BAS15, *Bacillus licheniformis* штамм BAS16, *Bacillus subtilis* штамм BAS17, *Caldibacillus kokeshiiformis* штамм BAS18, *Ureibacillus suwonensis* штамм BAS019). Сравнение новых консорциумов проведено с коммерческим препаратом Аквавицин-А. В контроле доля органического вещества в начале составляет 13,21 % и практически не изменяется к концу эксперимента – 13,05 %. В результате обработки в опытных вариантах наблюдается снижение количества этого показателя. Наилучшие результаты отмечены при использовании консорциума МГ1, где содержание органического вещества снижается до 9,04 %, при добавлении Аквавицина-А и МГ2 – уменьшение незначительно (11,16 и 11,59 %, соответственно). По двум показателям – численности микрофлоры и количества органического вещества – именно консорциум МГ1 заметно влияет на состав ОСВ и превосходит Аквавицин-А. При проведении анализа газов в образцах ОСВ установлено, что консорциум МГ1 в отличие от промышленного препарата полностью удаляет аммиак, метиламин и пирролидин. Полученные данные свидетельствуют о перспективности использования новых консорциумов в переработке ОСВ.

Ключевые слова: сточные воды; осадки; микроорганизмы; консорциум; ферментативная активность

Для цитирования: Исламов Б. Р., Шульга Е. Ю., Дегтярева И. А., Рахманова Г. Ф., Валидов Ш. З. Новые консорциумы микроорганизмов для переработки осадков сточных вод // Труды Карельского научного центра РАН. 2026. № 7. С. 167–177. doi: 10.17076/eco2251

Финансирование. Настоящее исследование выполнено в рамках гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 075-15-2024-646 от 12 июля 2024 г.

**B. R. Islamov*, E. Yu. Shulga, I. A. Degtyareva, G. F. Rakhmanova,
Sh. Z. Validov. NEW MICROBIAL CONSORTIA FOR WASTEWATER
SLUDGE TREATMENT**

*Laboratory of Molecular Genetic and Microbiological Methods, Kazan Research Center,
Russian Academy of Sciences (20A Orenburgskii Trakt, 420059 Kazan, Tatarstan,
Russia), *bah-islam80@mail.ru*

Thirty-five bacterial strains were isolated from wastewater sludge, with seven of the isolates belonging to risk group II and one to group I. The bacteria were identified to species based on the 16S rRNA sequence. Then, non-pathogenic strains (according to the DSMZ classification) were tested for the presence of enzymatic activities (amylase, lipase, protease, phytase, cellulolytic). Proceeding from the findings, two consortia for wastewater treatment were created from nine strains that were regarded promising: MG1 (based on four strains: *Bacillus subtilis* strain BAS21, *Priestia megaterium* strain BAS22, *Pseudomonas baetica* strain BAS23, *Streptomyces albidoflavus* strain BAS24) and MG2 (MG1 consortium plus five thermotolerant strains: *Bacillus subtilis* strain BAS15, *Bacillus licheniformis* strain BAS16, *Bacillus subtilis* strain BAS17, *Caldibacillus kokeshiiformis* strain BAS18, *Ureibacillus suwonensis* strain BAS18). The new consortia were compared against the commercial Aquavacin-A product. In the control, the percentage of organic matter at the beginning was 13.21 % and remained practically unchanged by the end of the experiment – 13.05 %. The experimental treatments reduced this proportion. The best results were observed when using the MG1 consortium, where the organic matter content was reduced to 9.04 %; when adding Aquavacin-A and MG2, the reduction was insignificant (11.16 and 11.59 %, respectively). Two parameters of wastewater sludge – microbial numbers and the amount of organic matter – were significantly influenced by the MG1 consortium, which outperformed Aquavacin-A. The analysis of gases in sludge samples showed that the MG1 consortium, unlike the industrial product, completely removed ammonia, methylamine, and pyrrolidine. The findings indicate that the new consortia hold promise for wastewater sludge processing.

Keywords: wastewater; sludge; microorganisms; consortium; enzymatic activity

For citation: Islamov B. R., Shulga E. Yu., Degtyareva I. A., Rakhmanova G. F., Validov Sh. Z. New microbial consortia for wastewater sludge treatment. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2026. No. 7. P. 167–177. doi: 10.17076/eco2251

Funding. This study was carried out within a grant from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, No. 075-15-2024-646 dated July 12, 2024.

Введение

Для урбанизированных территорий очистка осадков сточных вод (ОСВ) и утилизация образующихся отходов являются глобальной проблемой [Anjum et al., 2016]. ОСВ – это источник загрязнения всех природных сред (атмосферного воздуха, поверхностных и грунтовых вод, почв). Они влияют на трофическую цепь, негативно воздействуя на окружающую среду и здоровье человека. В таких осадках отмечается высокое содержание солей тяжелых металлов, серосодержащих и хлорсодержащих соединений, различных поллютантов, вредных организмов, гельминтов, патогенной микрофлоры, что усложняет процессы их переработки и утилизации. Наиболее распространенной в практике очистки хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод является

биологическая очистка, которая сталкивается с проблемой, не позволяющей в большинстве случаев обеспечить требуемую степень ее эффективности.

Согласно отчету Европейской комиссии в 2008 г. в государствах – членах Европейского Союза произведено более 10 млн т сухих отходов ила, в 2020 г. количество этих отходов возросло до 13 млн т. При этом в Российской Федерации ежегодно необходимо утилизировать 3 млн т [Hudcova et al., 2019].

Осадки сточных вод можно переработать и использовать в качестве источника энергии и/или ресурсов [Tarpani, Azaragic, 2018]. Методы обработки и утилизации ОСВ важны для защиты окружающей среды из-за содержания остаточных органических загрязнителей, тяжелых металлов и патогенных микроорганизмов. Использование на очистных сооружениях

различных процессов обработки сточных вод (физических, механических, химических и биологических) представляется ключевым фактором для удаления загрязняющих веществ из осадка [Anjum et al., 2016] и соответствует строгим законодательным требованиям к сбросам или повторному использованию сточных вод [Hou et al., 2021]. В зависимости от качества сырого осадка сточных вод используемые технологии на очистных сооружениях могут влиять на конечные характеристики ОСВ [Turlej, Banaś, 2018].

Роль микроорганизмов в очистке ОСВ значима. Существуют два вида сбраживания при очистке ОСВ – анаэробное и аэробное. Анаэробное сбраживание считается высокоэффективной технологией из-за возможности совместного сбраживания с органическими отходами. Оно продолжает играть основополагающую роль, так как позволяет удалять патогены, преобразовывать летучие вещества в биогаз, получать стабильные твердые биоматериалы, а также обеспечивает рекуперацию энергии в виде метана с ограниченным воздействием на окружающую среду. Во многих странах и регионах именно анаэробное сбраживание применяется интенсивно. Так, в Калифорнии 82 % от общего числа очистных сооружений применяют эту технологию для стабилизации ила. На этапе гидролиза контролируется скорость анаэробного сбраживания [Pratap et al., 2024]. В целом метод состоит из нескольких биохимических процессов, таких как гидролиз, ацидогенез, ацетогенез и метаногенез [Shrestha et al., 2020].

Может быть применен ряд предварительных обработок, способствующих высвобождению внеклеточных и внутриклеточных органических соединений [Yang, Wang, 2020], что в дальнейшем приводит к ускоренной биологической обработке и меньшему времени удерживания твердого вещества, необходимого для процесса сбраживания осадка.

Микробное сообщество ОСВ характеризуется своими группами микроорганизмов и связанными с ними ферментами. Гидролитические ферменты, выделяемые этими микроорганизмами, необходимы для этапа гидролиза при обработке высокополимерных субстратов (целлюлоза, крахмал и белки), присутствующих в ОСВ. Особенно важны гидролазы – протеазы, фосфатазы, липазы и гликозидазы [Burgess, Pletschke, 2008].

Согласно различным исследованиям в ОСВ активно функционируют различные бактерии, в том числе диазотрофы [Соколова и др., 2016], актинобактерии, плесневые грибы, дрожжи,

водоросли, простейшие, личинки насекомых, рачков и др. [Сибиева и др., 2019].

Таким образом, изучение и применение консорциумов эффективных микроорганизмов имеет важное значение для решения вопросов не только удовлетворительной очистки сточных вод, но и утилизации осадков.

Цель работы – создание эффективных консорциумов микроорганизмов и их применение для переработки осадков сточных вод.

Задачи исследования: 1) выделение микроорганизмов из ОСВ; 2) создание консорциумов для переработки ОСВ; 3) проверка новых консорциумов на ОСВ и сравнение их с промышленным биопрепаратом.

Условия, материалы и методы

Объекты исследования. Отбор образцов ОСВ проводили из Васильевских отстойников Республики Татарстан 18 июня 2024 г. в герметичные пакеты и стерильные пробирки типа Falcon на 50 мл. Затем доставляли в лабораторию, где хранили при температуре +4 °С. ОСВ были черного цвета, при высыхании приобретали коричневый оттенок.

Содержание органического вещества в ОСВ составило 13,21%, влажность 81% в начале и 35–50% в конце эксперимента, соответственно.

Схема эксперимента: 1) контроль (ОСВ без обработки); 2) консорциум МГ1; 3) консорциум МГ2; 4) Аквавицин-А (коммерческий препарат для обработки сточных вод от ООО «МУЛЬТИЛАБ»). В модельном эксперименте 60 кг отобранного ОСВ помещали в пластиковые поддоны так, чтобы его глубина составляла 10 см, создавая моделирование ситуации в отстойнике по соотношению объема и поверхности. Излишки воды при этом испарялись. В процессе эксперимента определяли температуру и влажность образцов ОСВ; проводили их регулярное (ежедневное) перемешивание; инокулят вносили равномерно по объему, конечная концентрация клеток в ОСВ составляла $2,3 \times 10^9$ КОЕ/мл; проводили мониторинг состояния воздуха в помещении (температура 24 °С, влажность 60%) и исследование состава и количества микрофлоры ОСВ.

Содержание образующихся газов (азот, кислород, углекислый газ, аммиак, метиламин, пирролидин) определяли в конце эксперимента (на 30 сут) в пробах ОСВ из герметичных пакетов. Первично анализ газов проводили на приборе Agilent 7890A Agilent Technologies с использованием пламенно-ионизационного детектора и детектора по теплопроводности

(катарометр), а подтверждающий хромато-масс-спектрометрический анализ – на хромато-масс-спектрометре DFS Thermo Electron Corporation (США) производства Shimadzu (Япония). Температура интерфейса и источника ионов 250 °С. Колонка TG-5MS длиной 30 м, внутренний диаметр 0,25 мм, толщина пленки неподвижной фазы 0,25 мкм. Режим анализа: программирование температуры от 25 до 200 °С со скоростью 5 град/мин, газ-носитель – гелий (расход 2 мл/мин), деление потока при вводе проб 1 : 10, время отсечения растворителя 3 мин, температура испарителя 250 °С, объем дозируемой пробы 0,5 мкл. Данные были обработаны с помощью программы XCalibur. Образцы проб отбирали в 100 мл шприц (наполняли на 40% и после 12 ч исследовали газовый состав) по истечении эксперимента; сравнивали газовый состав контрольных и опытных образцов.

Влажность определяли по ГОСТ 28268-89.

При выделении микроорганизмов к 1 г конкретного образца ОСВ приливали 9 мл фосфатно-солевого буфера, перемешивали с помощью вортекса МХ-Е 1 мин. Для выделения бактериальных изолятов методом предельных разведений полученные суспензии поверхностно высевали на среду King B. В процессе компостирования ОСВ температура может подниматься, поэтому выделяли и термотолерантные бактерии. Выделение бактерий, устойчивых к повышенным температурам, проводили в соответствии с методикой [Методы..., 1991].

Определение ферментативной активности бактериальных изолятов проводили по [Валидов и др., 2024]: 1) способность к гидролизу крахмала определяли с использованием среды ААМ (amylase activity medium); 2) для определения наличия липаз выделенные изоляты пересеивали на среду с добавлением Tween 80; 3) протеолитическую активность выявляли, высевая изоляты на чашку Петри со средой ВМ (basal medium) с добавлением молочного белка; 4) фитазную активность определяли, высевая изоляты на чашку Петри со средой PSM (phytase screening medium); 5) целлюлолитическую активность выявляли, высаживая изоляты на среду ВМ с добавлением 1% карбоксиметилцеллюлозы. Целлюлолитическая активность, проверяемая на карбоксиметилцеллюлозе, показывает активность эндоглюканаза, но не подтверждает способность разлагать кристаллическую целлюлозу, что является ограничением этого метода.

Геномную ДНК выделяли стандартным методом из бактерий испытуемых штаммов [Gautam, 2022]. Далее проводили амплификацию

фрагмента гена 16S рПНК с использованием стандартных праймеров 27F (5'-gagtttgatcctggctcag-3') и 1492R (5'-tacctgttacgactt-3'). Полученные ПЦР-продукты очищали из агарозного геля с использованием набора Gel Extraction Kit (Thermo Scientific) и проводили секвенирование по Сэнгеру в компании «Евроген». Консенсусную нуклеотидную последовательность получали с использованием программы Clone Manager Professional 9.5 и загружали в базу данных NCBI для набора нуклеотидных кластов (https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi?PROGRAM=blastn&PAGE_TYPE=BlastSearch&LINK_LOC=blasthome).

Для проверки биосовместимости микроорганизмов в консорциумах МГ1 и МГ2 штаммы высевали на среду King B линиями перпендикулярно друг другу. Чашки Петри инкубировали в течение 2 сут при 30 °С в суховоздушном термостате ТС-1/20 СПУ. О несовместимости штаммов судили по зонам подавления роста [Валидов и др., 2024].

При создании консорциумов включали непатогенные бактерии по классификации DSMZ. Патогенность штаммов оценивали в соответствии с классификацией Технических правил по биологическим агентам Германии (TRBA 466), реализующих положения Директивы ЕС 2000/54/ЕС (проявляющие ферментативную активность – амилазную, липазную, протеазную, фитазную, целлюлолитическую).

Определение массовой доли органического вещества в образцах ОСВ проводили по ГОСТ 26213-2021 по формуле:

$$X = \frac{m \times K}{m_1} \times 100,$$

где m – масса органического вещества в анализируемой пробе, найденная по графику, мг; K – коэффициент поправки концентрации восстановителя; m_1 – масса пробы, мг; 100 – коэффициент пересчета в проценты.

Статистический анализ проводили с использованием пакета статистических программ OriginLab pro SR1 b9.5.1.195. Достоверную разницу между группами проверяли с использованием одностороннего ANOVA и апостериорного теста Тьюки на значимую разницу при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

В процессе исследований из осадков сточных вод выделено 35 штаммов бактерий, из которых семь изолятов относится ко II группе риска, один изолят – к I группе риска, но является патогеном рыб, в связи с этим он исключен. Среди штаммов встречаются пять

термотолерантных изолятов. Итак, в процессе исследований из образцов ОCB выделено 27 непатогенных штаммов.

При этом к роду *Bacillus* относится больше всего изолятов, а именно 12. Это *B. cereus* strain FORC_086, шифр которого BAS1, имеет 100% идентичности в базе данных NCBI и 2 группы риска по DSMZ; *B. wiedmannii* strain AFS018385 (BAS3; 100% и 1), *B. subtilis* strain JX-7 (BAS15; 100% и 1), *B. licheniformis* strain HF-07107 (BAS16; 99,79% и 1), *B. subtilis* subsp. *subtilis* strain UCMB5021 (BAS17; 99,72% и 1), *B. halotolerans* strain 1 en (BAS20; 99,79% и 1), *B. subtilis* strain 3667 (BAS21; 100,00% и 1), *B. subtilis* strain HD-1 (BAS25; 100,00% и 1), *B. drentensis* strain T10-17 (BAS30; 99,79% и 1), *B. fusiformis* strain LQ88 (BAS31; 99,86% и 1), *B. mobilis* strain CNEB30 (BAS32; 100,00% и 1) и *B. safensis* subsp. *safensis* strain EGI26 (BAS33; 100,00% и 1).

Заметно меньше, а именно по три изолята относятся к двум родам *Acinetobacter* (*A. johnsonii* strain XAAS.lbx2.6 (BAS2; 99,57% и 2), *A. Iwoffii* strain CtST7.4 (BAS12; 99,86% и 2) и *A. Iwoffii* strain FDAARGOS (BAS14; 99,79% и 2)) и *Arthrobacter* (*A. chlorophenolicus* strain T29 (BAS27; 99,71% и 1), *A. globiformis* strain MA100 (BAS28; 99,93% и 1) и *A. humicola* strain CR60 (BAS29; 99,51% и 1)).

Четыре рода имеют по два изолята: *Comamonas* (*C. aquatica* strain HIW3200909 (BAS4; 9,32% и 2) и *C. aquatica* strain B1 (BAS5; 98,86% и 2)), *Pseudomonas* (*P. anguilliseptica* strain YSH-14 (BAS9; 99,86% и 1 патоген рыб) и *P. baetica* strain S26_BP1TU (BAS23; 100,00% и 1)), *Serratia* (*S. fonticola* strain BXC23 (BAS10; 99,86% и 1) и *S. marcescens* strain AS1 (BAS11; 100,00% и 2)) и *Stutzerimonas* (*S. stutzeri* strain CZW027 (BAS7; 99,93% и 1) и *S. stutzeri* strain DN36 (BAS8; 99,00% и 1)).

И, наконец, по одному изоляту относится к девяти родам: *Advenella* (*A. kashmirensis* strain IB-K1 (BAS26; 99,08% и 1), *Brevundimonas* (*B. terrae* strain KSL-145 (BAS6; 99,10% и 1), *Brucella* (*B. thiophenivorans* strain FL93 (BAS35; 99,93% и 1)), *Caldibacillus* (*C. kokeshiiformis* strain FJAT-47854 (BAS18; 99,86% и сведений о патогенности не обнаружено)), *Citricoccus* (*C. zhacaiensis* strain AS48 (BAS36; 99,65% и 1)), *Lysinibacillus* (*L. fusiformis* strain TZA38 (BAS37; 99,72% и 1)), *Priestia* (*P. megaterium* strain FDU301 (BAS22; 100,00% и 1)), *Streptomyces* (*S. albidoflavus* strain TN10 (BAS24; 99,79% и 1)), *Ureibacillus* (*U. suwonensis* strain FZWP-21 (BAS19; 99,84% и 1)).

В дальнейшем все выделенные изоляты качественно проанализированы на фермен-

тативные активности – амилазную, липазную, протеазную, фитазную, целлюлолитическую. Четыре изолята (BAS27, BAS33, BAS34 и BAS36) не проявляют ни одной ферментативной активности, что может указывать на их специализацию в других метаболических процессах.

Восемь штаммов способны проявлять только одну из исследуемых активностей, что демонстрирует их узкую метаболическую специализацию. Так, у штаммов BAS23 и BAS31 выявлена только протеазная активность, у BAS26, BAS28, BAS30 и BAS35 – фитазная активность, у BAS10 и BAS37 – только липазная активность.

По две активности отмечены у штаммов BAS8 (липазная и целлюлазная) и BAS19 (амилазная и протеазная). Три активности, а именно амилазную, липазную и целюлазную, проявляют изоляты BAS6 и BAS7, BAS20 и BAS21 – амилазную, липазную и протеазную, BAS22 и BAS25 – амилазную, протеазную и фитазную, BAS24 – липазную, протеазную, фитазную. Четыре из пяти ферментативных активностей (амилазная, липазная, протеазная и целлюлолитическая) проявляют семь штаммов – BAS3, BAS13, BAS15, BAS16, BAS17, BAS18, BAS21. Следовательно, наибольший интерес представляют штаммы, проявляющие несколько ферментативных активностей.

В процессе исследований подобраны штаммы, на основе которых созданы два консорциума МГ1 и МГ2. Первый состоит из четырех штаммов – *Bacillus subtilis* штамм BAS21, *Priestia megaterium* штамм BAS22, *Pseudomonas baetica* strain штамм BAS23 и *Streptomyces albidoflavus* штамм BAS24, активно разрушающих органические вещества в отходах. Второй создан на основе МГ1 с добавлением еще пяти термотолерантных штаммов (*Bacillus subtilis* штамм BAS15, *Bacillus licheniformis* штамм BAS16, *Bacillus subtilis* штамм BAS17, *Caldibacillus kokeshiiformis* штамм BAS18 и *Ureibacillus suwonensis* штамм BAS19), которые способны размножаться при 50 °C в условиях разогревающейся биомассы.

Выбор штамма *Pseudomonas baetica* BAS23, обладающего в качественных тестах лишь протеазной активностью, основан на результатах комплексной оценки, включавшей количественные тесты на протеазную активность, скорость роста, выживаемость в ОCB и, что наиболее важно, проверку на синергизм с другими штаммами консорциума МГ1. BAS23, будучи потенциально высокоактивным протеолитиком, мог взять на себя ключевую роль в первичном гидролизе белков – на лимитирующем этапе деструкции многих органических отходов.

После проверки штаммов на совместимость лизиса микроорганизмов в точках пересечений обнаружено не было. Микроорганизмы внутри консорциумов не подавляют рост друг друга, т.е. совместимы.

Считаем, что поиск, изучение и применение активных штаммов родов *Bacillus*, *Priestia*, *Pseudomonas* и *Streptomyces* для переработки ОСВ чрезвычайно важны, так как бактерии этих родов относят к числу наиболее подходящих и перспективных объектов экологической биотехнологии. Помимо широкого распространения в окружающей среде представители этих родов могут обладать одним или несколькими полезными свойствами, такими как способность к образованию биологически активных веществ, деструкции загрязнителей и подавлению фитопатогенов благодаря синтезу веществ бактерицидного и фунгицидного действия, а также индуцировать собственные механизмы защиты от различных неблагоприятных факторов.

При определении присутствия микроорганизмов в ОСВ установлено, что внесение консорциумов и препарата Аквавицин-А (10 мл культуры с плотностью $7-9 \times 10^9$ КОЕ) значительно увеличивает их численность по сравнению с контролем (рис. 1). Со временем этот показатель уменьшается и к концу четвертой недели достигает в контроле $1,9 \times 10^5$ КОЕ/мл, тогда как в ОСВ, обработанном препаратом МГ1, – $2,5 \times 10^5$ КОЕ/мл, что близко к допустимой верхней границе нормы (10^3-10^5 КОЕ/мл). Спустя месяц в образцах, где использован Аквавицин-А, обнаружено $2,3 \times 10^5$ КОЕ/мл, а в ОСВ после обработки консорциумом МГ2 – $2,1 \times 10^5$ КОЕ/мл.

Следовательно, количество микроорганизмов со временем снижается, что является

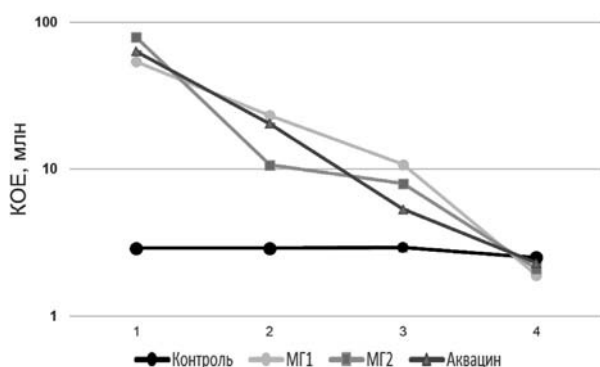


Рис. 1. Изменение численности микроорганизмов в процессе обработки ОСВ

Fig. 1. Changes in the number of microorganisms during processing OSV

естественным процессом изменения микрофлоры ОСВ. Более высокая выживаемость бактерий, входящих в консорциум МГ1, указывает на их лучшую адаптацию и высокую способность интеграции в существующее микробное сообщество.

Качественный состав микрофлоры тоже претерпевает изменения (рис. 2), происходящие за счет замещения изначальной флоры образцов ОСВ внесенными микроорганизмами.

Определение массовой доли органического вещества в ОСВ до и после обработки показало, что в контроле доля органики в начале составляет 13,21 % и практически не изменяется к концу эксперимента – 13,05^а %. В результате обработки ОСВ в опытных вариантах наблюдается снижение количества органического вещества. Наилучшие результаты отмечены при использовании консорциума МГ1, где этот показатель снижается до 9,04^с %, при добавлении Аквавицина-А и МГ2 уменьшение незначительно (11,16^б и 11,59^б %, соответственно). Следовательно, в ОСВ при обработке микроорганизмами отмечено снижение количества органики, при этом самое значительное при использовании консорциума МГ1. По двум показателям – численности микрофлоры и количества органического вещества – именно он заметно влияет на состав ОСВ и превосходит препарат Аквавицин-А.

При определении присутствия микроорганизмов в ОСВ установлено, что внесение консорциумов и препарата Аквавицин-А (10 мл культуры с плотностью $7-9 \times 10^9$ КОЕ/мл) статистически значимо увеличивает их общую численность по сравнению с контролем ($p < 0,05$, ANOVA, post-hoc тест Тьюки; рис. 3). Со временем этот показатель уменьшается. К концу четвертой недели значение в контроле составляет $1,9 \times 10^5$ КОЕ/мл, тогда как в ОСВ, обработанном консорциумом МГ1, – $2,5 \times 10^5$ КОЕ/мл ($p = 0,012$ по сравнению с контролем), что близко к верхней границе нормы (10^3-10^5 КОЕ/мл) [ГОСТ Р 59748-2021]. В образцах с Аквавицином-А обнаружено $2,3 \times 10^5$ КОЕ/мл ($p = 0,085$ против контроля), а с консорциумом МГ2 – $2,1 \times 10^5$ КОЕ/мл ($p = 0,210$ против контроля).

Итак, наиболее значительное содержание органического вещества при обработке консорциумом МГ1 демонстрирует его превосходство над коммерческим препаратом Аквавицин-А. Полученные результаты свидетельствуют о лучшей выживаемости консорциума МГ1 в ОСВ, что подтверждает важность длительного поддержания численности интродуцированных микроорганизмов.

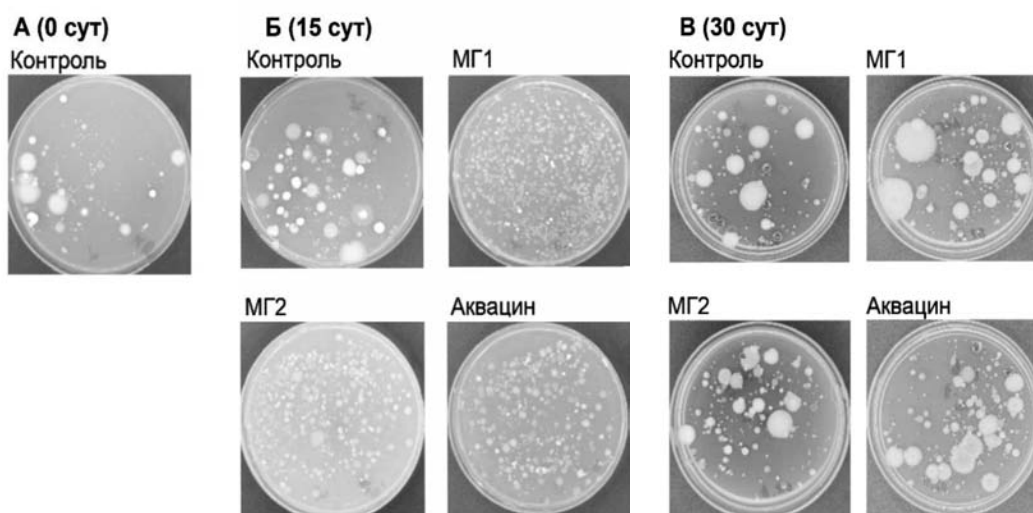


Рис. 2. Изменение видового состава в ОСВ за счет размножения микроорганизмов:

А – контроль (0 сут), Б – образцы, отобранные на 15 сут, В – образцы, отобранные на 30 сут культивирования (разведение 10^{-4})

Fig. 2. Changes in the species composition in the OSV due to microbial reproduction:

А – control (0 days), Б – samples taken at 15 days, В – samples taken at 30 days of cultivation (dilution 10^{-4})

Консорциум МГ1 является достаточно сложным для обеспечения синергии и широкого спектра действия, но достаточно простым для минимизации внутренней конкуренции и эффективной интеграции в среду. Его превосходство над МГ2 указывает на то, что добавление потенциально полезных штаммов (термотоле-

рантных) без создания для них специальных условий (температурного режима) и проверки синергии в полном составе может дать обратный эффект.

Многие газы (аммиак, метиламин, пирролин и др.) представляют опасность из-за своего едкого и токсичного действия, вызывая раз-

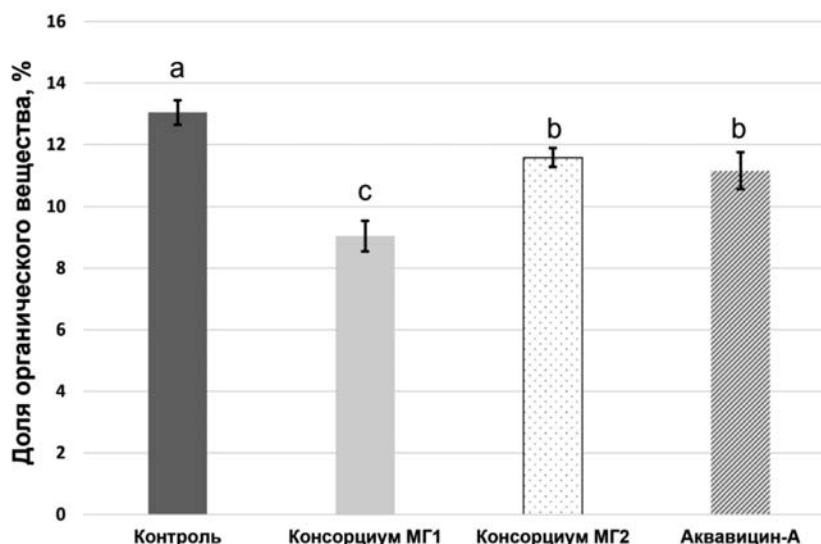


Рис. 3. Доля органического вещества в контрольных и испытуемых образцах. Здесь разными латинскими буквами отмечены статистически значимые отличия между средними значениями при $p < 0,05$

Fig. 3. The proportion of organic matter in control and test samples

Here, statistically significant differences between the mean values are marked with different Latin letters at $p < 0.05$

дражение и ожоги кожи и слизистых оболочек, поражение дыхательных путей, отеки легких, угнетающе действуют на центральную нервную систему. Поэтому проведен анализ состава газов, выделяемых образцами ОСВ.

В контроле наблюдается небольшое количество аммиака, который не детектируется в образце ОСВ после обработки МГ1. В других образцах, а именно в вариантах с внесением консорциума МГ2 и препарата Аквавицин-А, аммиак обнаружен в значительно меньшем количестве (0,0007 и 0,0009 %, соответственно), чем в контроле (0,0035 %).

Кроме того, метиламин и пирролидин, которые также являются продуктами, содержащими азот и обладающими неприятным запахом, обнаружены в контроле (0,0023 и 0,0008 %, соответственно), тогда как в ОСВ, обработанном консорциумом МГ1, отсутствуют. В остальных вариантах они выявлены в меньшем количестве. Так, в варианте с МГ2 метиламин и пирролидин содержатся в количестве 0,0005 и 0,0003 %, в варианте с препаратом Аквавицин-А – только метиламин (0,0013 %).

Азота больше в контроле (72,4725 %), а в вариантах с консорциумами МГ1, МГ2 и препаратом Аквавицин-А его меньше (71,3727; 72,1523 и 69,1349 %, соответственно). Подобная ситуация характерна и для кислорода, содержание которого выше в контроле (19,3665 %), а в опытных вариантах его меньше (МГ1–15,2113 %; МГ2–18,2319 и Аквавицин-А – 17,9315 %). Противоположная ситуация отмечена с CO_2 , максимальное количество которого содержится в вариантах с консорциумами МГ2 и МГ1 (4,2948 и 3,4852 %, соответственно), затем следуют варианты контрольный (2,5518) и с препаратом Аквавицин-А (0,3521 %).

Результаты анализа газов находятся в прямой корреляции с данными по деградации органики и подтверждают высокую метаболическую активность МГ1. Наиболее значительное снижение массовой доли органического вещества в варианте с МГ1 (до 9,04 %) согласуется с максимальным потреблением кислорода (падение до 15,21 % против 19,37 % в контроле) и максимальным выделением углекислого газа (рост до 3,49 %). Это указывает на интенсивное аэробное дыхание: консорциум активно окисляет органический углерод, используя его как источник энергии, с выделением CO_2 . Параллельно практически полное удаление аммиака и аминов при наиболее низком общем содержании азота в газовой фазе свидетельствует о сопряженном процессе – активной ассимиляции минерального азота в растущую микробную биомассу. Следовательно, газовая картина

является интегральным отражением успешной работы консорциума: интенсивное дыхание (потребление O_2 , выброс CO_2) подтверждает разрушение органического углерода, а утилизация азотсодержащих газов демонстрирует эффективное включение азота в клеточный цикл, что в совокупности и составляет суть процесса биологической трансформации осадка.

Итак, по сравнению с контрольным вариантом образцы ОСВ, обработанные консорциумами и препаратом Аквавицин-А, выделяют значительно меньшее количество аммиака, метиламина и пирролидина.

В научной литературе достаточно много информации о микробиологическом составе осадков сточных вод. На различных этапах анаэробного сбраживания осадков доминируют различные микроорганизмы. Так, гидролиз ОСВ осуществляют специфические анаэробные бактерии, относящиеся к родам *Enterobacterium* и *Streptococcus* [Krohn et al., 2022]. Бактерии родов *Clostridium*, *Micrococcus*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Acetovibrio*, *Propionibacterium*, *Butyrivibrio* участвуют в ацидогенезе [Roychoudhury, Das, 2022], бактерии родов *Syntrophobacter* и *Syntrophomonas* – в ацетогенезе [Nozhevnikova et al., 2020], *Methanococcus vannielli* и *Methanococcus voltae* – в метаногенезе [Costa, Whitman, 2023].

Информация по микробному составу биопрепаратов является достаточно закрытой. Указывается, что основу микробиологических препаратов «Тамир» и «ЭКОМИК ПРО-В» составляют симбиотические группы эффективных природных микроорганизмов. Биопрепарат «ЭКОМИК ПРО-В» содержит в своем составе микроорганизмы родов *Bacillus*, *Lactobacillus* и *Candida* [Постников и др., 2016]. В «Средстве для биодеградации и обезвреживания навоза и помета (УФ-1)» для очистки и обеззараживания хозяйственно-бытовых стоков канализационных очистных сооружений основой являются почвенные микроорганизмы (*Actinomyces fradiae*-96 и *Candida krusei*-96) [Фомичева и др., 2019].

В консорциум МГ2 входят термофильные бактерии родов *Bacillus*, *Caldibacillus* и *Ureibacillus*. Про два последних нужно сказать особо. *Caldibacillus kokeshiiformis* (грамположительный) и *Ureibacillus suwonensis* (грамотрицательный) принадлежат к семейству *Bacillaceae*. Оптимальная температура их роста 50–55 °С. Они не только демонстрируют способность к разложению органических соединений и продуцированию внеклеточных ферментов, но и сохраняют активность в экстремальных условиях. Бактерии этих родов могут утилизировать широкий спектр углеводов и выдерживать

концентрацию NaCl до 3 %. Оба вида представляют значительный интерес для промышленной биотехнологии [Lee et al., 2022].

Оптимальность состава консорциума МГ1 обусловлена тем, что он представляет собой не случайный набор активных штаммов, а сбалансированное сообщество. Его размер (четыре штамма) минимизирует внутреннюю конкуренцию за ресурсы и пространство, позволяя каждому члену занять свою экологическую нишу. Ключевым фактором является не максимальное количество ферментативных активностей каждого отдельного изолята, а эффективное метаболическое взаимодействие самих штаммов. Предполагаем, что штаммы в МГ1 взаимодействуют таким образом, что продукты деятельности одних служат оптимальным субстратом для других, создавая последовательную и эффективную цепь деградации сложной органической матрицы осадков. Эта слаженность обеспечивает высокую скорость процессов и лучшую интеграцию в аутохтонное микробное сообщество ОСВ, что подтверждается данными о наибольшей их численности в течение эксперимента.

Разные роды микроорганизмов в составе МГ1 вносят уникальный и взаимодополняющий вклад, формируя функциональную полноту консорциума. *Bacillus subtilis* BAS21 и *Priestia megaterium* BAS22, будучи типичными представителями эффективных деструкторов, обеспечивают широкий спектр гидролаз и быстрый рост биомассы [Biedendieck et al., 2021]. *Pseudomonas baetica* BAS23, вероятно, выступает в роли высокоспециализированного и мощного протеолитика, инициируя распад белковых комплексов. Особую роль может играть *Streptomyces albidoflavus* BAS24. Актинобактерии рода *Streptomyces* известны не только способностью продуцировать комплекс внеклеточных ферментов (целлюлаз, хитиназ, протеаз), разлагающих трудноусвояемые полимеры, но и синтезом вторичных метаболитов с антимикробной активностью [Mezaache-Aichour et al., 2013; Janakiev et al., 2023]. Это может способствовать подавлению конкурентной или патогенной микрофлоры в ОСВ, создавая селективное преимущество для всего консорциума МГ1 и косвенно усиливая процессы деструкции за счет перераспределения ресурсов.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о перспективности использования новых консорциумов в переработке осадков сточных вод, так как они составлены из представителей нескольких родов *Bacillus*, *Priestia*, *Pseudomonas*, *Streptomyces*, *Caldibacillus*, *Ureibacillus*.

Выводы

1. Из осадков сточных вод выделены 27 непатогенных штаммов бактерий.
2. На основе скрининга выделено 9 штаммов с комплексом гидролитических активностей, которые использованы для создания консорциумов.
3. Созданы два консорциума для переработки осадков сточных вод. Основой МГ1 являются четыре штамма – *Bacillus subtilis* strain 3667, *Priestia megaterium* strain FDU301, *Pseudomonas baetica* strain S26_BP1TU и *Streptomyces albidoflavus* strain TN10. В состав консорциума МГ2 входят все микроорганизмы консорциума МГ1, а также *Bacillus subtilis* strain JX-7, *Bacillus licheniformis* strain HF-07107, *Bacillus subtilis* subsp. *subtilis* strain UCMB5021, *Caldibacillus kokeshiiformis* strain FJAT-47854 и *Ureibacillus suwonensis* strain FZWP-21.
4. В лабораторных условиях активный рост микрофлоры созданных консорциумов способствует переработке ОСВ и оптимизации их газового состава.

Литература

- Валидов Ш. З., Дегтярева И. А., Шульга Е. Ю., Рахманова Г. Ф., Исламов Б. Р. Селекция микроорганизмов – агентов биологической защиты растений. Казань: Центр инновационных технологий, 2024. 164 с.
- ГОСТ Р 59748-2021. Технические принципы обработки осадков сточных вод. М.: Российский институт стандартизации, 2021. 27 с.
- Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Д. Г. Звягинцева. М.: МГУ, 1991. 304 с.
- Постников Д. А., Автухович И. Е., Таллер Е. Б., Николаев А. С., Федин А. А. О результатах применения микробиологических препаратов «Тамир» и «ЭКОМИК ПРО-В» в производственных условиях на очистных сооружениях // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. Т. 5, № 47. Ч. 6. С. 45–48. doi: 10.18454/IRJ.2016.47.272
- Сибиева Л. М., Дегтярева И. А., Сироткин А. С., Бабынин Э. В. Состав микробного сообщества активного ила в процессах совместной биологической и реагентной очистки сточных вод // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2019. Т. 9, № 2. С. 302–312. doi: 10.21285/2227-2925-2019-9-2-302-312
- Соколова Л. С., Кузнецов А. Е., Калёнов С. В. Активность азотфиксирующего сообщества гранулированного аэробного активного ила и отдельных его компонентов // Успехи в химии и химической технологии. 2016. Т. 30, № 9. С. 28–29.
- Фомичева Н. В., Рабинович Г. Ю., Молчанов В. П., Сульман Э. М. Современные технологии биопереработки возобновляемых сырьевых ресурсов // Вестник Тверского государственного университета. Сер. Биология и экология. 2018. № 2. С. 263–273.
- Anjum M., Al-Makishah N. H., Barakat M. A. Wastewater sludge stabilization using pre-treatment methods

// Process Saf. Environ. Prot. 2016. Vol. 102. P. 615–632. doi: 10.1016/j.psep.2016.05.022

Biedendieck R., Knuuti T., Moore S.J., Jahn D. The “beauty in the beast” – the multiple uses of *Priestia megaterium* in biotechnology // Applied microbiology and biotechnology. 2021. Vol. 105, no. 14. P. 5719–5737. doi: 10.1007/s00253-021-11424-6

Burgess J.E., Pletschke B.I. Hydrolytic enzymes in sewage sludge treatment: a mini-review // Water Sa. 2008. Vol. 34, no. 3. P. 343–350. doi: 10.4314/wsa.v34i3.180627

Costa K.C., Whitman W.B. Model organisms to study methanogenesis, a uniquely archaeal metabolism // J. Bacteriol. 2023. Vol. 205, no. 8. P. e00115–23. doi: 10.1128/jb.00115-23

Gautam A. Phenol-chloroform DNA isolation method // DNA and RNA isolation techniques for non-experts. Cham: Springer International Publishing, 2022. P. 33–39. doi: 10.1007/978-3-030-94230-4

Hou Y., Gan C., Chen R., Chen Y. Structural characteristics of aerobic granular sludge and factors that influence its stability: a mini review // Water. 2021. Vol. 13, no. 19. Art. 2726. doi: 10.3390/w13192726

Hudcova H., Vymazal J., Rozkosny M. Present restrictions of sewage sludge application in agriculture within the European Union // Soil and Water Research. 2019. Vol. 14, no. 2. P. 104–120. doi: 10.17221/36/2018-SWR

Janakiev T., Kruščić K., Dimkić I. Secondary metabolites of *Pseudomonas* and *Bacillus* species in plant disease management // Microbiology (Mikrobiologija). 2023. Vol. 44, no. 1. P. 10–19.

Krohn C., Khudur L., Dias D.A., van den Akker B. The role of microbial ecology in improving the performance of anaerobic digestion of sewage sludge // Front. Microbiol. 2022. Vol. 13. Art. 1079136. doi: 10.3389/fmicb.2022.1079136

Lee Y.J., Ganbat D., Oh D., Kim H., Jeong G.E., Cha I.-T., Kim S.-Bo., Nam G., Jung Y.-J., Lee S.-J. Isolation and characterization of thermophilic bacteria from hot springs in Republic of Korea // Microorganisms. 2022. Vol. 10, no. 12. Art. 2375. doi: 10.3390/microorganisms10122375

Mezaache-Aichour S., Guechi A., Zerroug M.M., Nicklin J., Strange R.N. Antimicrobial activity of *Pseudomonas* secondary metabolites // Pharmacognosy Communications. 2013. Vol. 3, no. 3. P. 259–264.

Nozhevnikova A.N., Russkova Y.I., Litti Y.V., Parshina S.N., Zhuravleva E.A., Nikitina A.A. Syntrophy and interspecies electron transfer in methanogenic microbial communities // Microbiology. 2020. Vol. 89, no. 2. P. 129–147. doi: 10.1134/S0026261720020101

Pratap V., Kumar S., Yadav B.R. Effect of low-temperature thermal-alkali pre-treatment on waste activated sludge solubilisation // Process Saf. Environ. Prot. 2024. Vol. 189. P. 530–540. doi: 10.1016/j.psep.2024.06.120

Roychoudhury A., Das N. Sewage sludge treatment and involvement of microbes // Sustainable management and utilization of sewage sludge. Cham: Springer, 2022. P. 165–181.

Shrestha B., Hernandez R., Fortela D., L.B., Sharp W. A review of pretreatment methods to

enhance solids reduction during anaerobic digestion of municipal wastewater sludges and the resulting digester performance: Implications to future urban biorefineries // Appl. Sci. 2020. Vol. 10, no. 24. Art. 9141. doi: 10.3390/app10249141

Tarpani R.R.Z., Azapagic A. Life cycle costs of advanced treatment techniques for wastewater reuse and resource recovery from sewage sludge // J. Clean. Prod. 2018. Vol. 204. P. 832–847. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.08.300

Turlej T., Banaś M. Sustainable management of sewage sludge // E3S Web Conf. 2018. Vol. 49. Art. 00120. doi:10.1051/e3sconf/20184900120

Yang G., Wang J. Biohydrogen production from waste activated sludge pretreated by combining sodium citrate with ultrasonic: Energy conversion and microbial community // Energy Convers. Manag. 2020. Vol. 225. Art. 113436. doi: 10.1016/j.enconman.2020.113436

References

Anjum M., Al-Makishah N.H., Barakat M.A. Wastewater sludge stabilization using pre-treatment methods. Process Saf. Environ. Prot. 2016;102:615–632. doi: 10.1016/j.psep.2016.05.022

Biedendieck R., Knuuti T., Moore S.J., Jahn D. The “beauty in the beast” – the multiple uses of *Priestia megaterium* in biotechnology. Applied Microbiology and Biotechnology. 2021;105(14):5719–5737. doi: 10.1007/s00253-021-11424-6

Burgess J.E., Pletschke B.I. Hydrolytic enzymes in sewage sludge treatment: a mini-review. Water Sa. 2008;34(3):343–350. doi: 10.4314/wsa.v34i3.180627

Costa K.C., Whitman W.B. Model organisms to study methanogenesis, a uniquely archaeal metabolism. J. Bacteriol. 2023;205(8):e00115–23. doi: 10.1128/jb.00115-23

Fomicheva N.V., Rabinovich G.Yu., Molchanov V.P., Sul'man E.M. Modern technologies for bioprocessing of renewable raw materials. Herald of Tver State University. Series: Biology and Ecology. 2018;2:263–273. (In Russ.)

Gautam A. Phenol-chloroform DNA isolation method. DNA and RNA Isolation Techniques for Non-Experts. Cham: Springer International Publishing. 2022;33–39. doi: 10.1007/978-3-030-94230-4

GOST R 59748-2021. Technical principles of sewage sludge treatment. Moscow; 2021. 27 p. (In Russ.)

Hou Y., Gan C., Chen R., Chen Y. Structural characteristics of aerobic granular sludge and factors that influence its stability: a mini review. Water. 2021;13(19):2726. doi: 10.3390/w13192726

Hudcova H., Vymazal J., Rozkosny M. Present restrictions of sewage sludge application in agriculture within the European Union. Soil and Water Research. 2019;14(2):104–120. doi: 10.17221/36/2018-SWR

Janakiev T., Kruščić K., Dimkić I. Secondary metabolites of *Pseudomonas* and *Bacillus* species in plant disease management. Microbiology (Mikrobiologija). 2023;44(1):10–19.

Krohn C., Khudur L., Dias D.A., van den Akker B. The role of microbial ecology in improving the performance of anaerobic digestion of sewage sludge.

Front. Microbiol. 2022;13:1079136. doi: 10.3389/fmicb.2022.1079136

Lee Y.J., Ganbat D., Oh D., Kim H., Jeong G.E., Cha I.-T., Kim S.-Bo., Nam G., Jung Y.-J., Lee S.-J. Isolation and characterization of thermophilic bacteria from hot springs in the Republic of Korea. *Microorganisms*. 2022; 10(12): 2375. doi: 10.3390/microorganisms10122375

Mezaache-Aichour S., Guechi A., Zerroug M.M., Nicklin J., Strange R.N. Antimicrobial activity of *Pseudomonas* secondary metabolites. *Pharmacognosy Communications*. 2013;3(3):259–264.

Nozhevnikova A.N., Russkova Y.I., Litt Y.V., Parshina S.N., Zhuravleva E.A., Nikitina A.A. Syntrophy and interspecies electron transfer in methanogenic microbial communities. *Microbiology*. 2020;89(2):129–147. doi: 10.1134/S0026261720020101

Postnikov D.A., Avtukhovich I.E., Taller E.B., Nikolaev A.S., Fedin A.A. On the results of using microbiological preparations 'Tamir' and 'ECOMIC PRO-V' in production conditions at treatment facilities. *International Research Journal*. 2016;5(47):45–48. (In Russ.). doi: 10.18454/IRJ.2016.47.272

Pratap V., Kumar S., Yadav B.R. Effect of low-temperature thermal-alkali pre-treatment on waste activated sludge solubilisation. *Process Saf. Environ. Prot.* 2024;189:530–540. doi: 10.1016/j.psep.2024.06.120

Roychoudhury A., Das N. Sewage sludge treatment and involvement of microbes. Sustainable management and utilization of sewage sludge. Cham: Springer; 2022. P. 165–181.

Shrestha B., Hernandez R., Fortela Dh.L.B., Sharp W. A review of pretreatment methods to enhance solids reduction during anaerobic digestion of municipal

wastewater sludges and the resulting digester performance: Implications to future urban biorefineries. *Appl. Sci.* 2020;10(24):9141. doi: 10.3390/app10249141

Sibieva L.M., Degtyareva I.A., Sirotkin A.S., Baby-nin E.V. Composition of activated sludge microbial community used in the combined biological and chemical wastewater treatment. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2019;9(2):302–312. (In Russ.). doi: 10.21285/2227-2925-2019-9-2-302-312

Sokolova L.S., Kuznetsov A.E., Kalenov S.V. The activity of nitrogen-fixing community of granular aerobic activated sludge and its individual components. *Advances in Chemistry and Chemical Technology*. 2016;30(9):28–29. (In Russ.)

Tarpani R.R.Z., Azapagic A. Life cycle costs of advanced treatment techniques for wastewater reuse and resource recovery from sewage sludge. *J. Clean. Prod.* 2018;204:832–847. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.08.300

Turlej T., Banaś M. Sustainable management of sewage sludge. *E3S Web Conf.* 2018;49:00120. doi: 10.1051/e3sconf/20184900120

Validov Sh. Z., Degtyareva I.A., Shul'ga E. Yu., Rakhamanova G.F., Islamov B.R. Selection of microorganisms – biological plant protection agents. Kazan: Tsentr innovatsionnykh tekhnologii; 2024. 164 p. (In Russ.)

Yang G., Wang J. Biohydrogen production from waste activated sludge pretreated by combining sodium citrate with ultrasonic: Energy conversion and microbial community. *Energy Convers. Manag.* 2020;225:113436. doi: 10.1016/j.enconman.2020.113436

Zvyagintsev D.G. (ed.). Methods of soil microbiology and biochemistry. Moscow: MGU; 1991. 304 p. (In Russ.)

Поступила в редакцию / received: 06.11.2025; принята к публикации / accepted: 12.02.2026.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Исламов Бахтияр Рамилович

канд. биол. наук, научный сотрудник

e-mail: bah-islam80@mail.ru

Шульга Елена Юрьевна

младший научный сотрудник

e-mail: e.shulga@knc.ru

Дегтярева Ирина Александровна

д-р биол. наук, главный научный сотрудник, доцент

e-mail: peace-1963@mail.ru

Рахманова Гульнара Фанисовна

канд. с.-х. наук, старший научный сотрудник

e-mail: gulnara_rakhamanova@mail.ru

Валидов Шамиль Завдатович

PhD, заведующий лабораторией

e-mail: sh.validov@knc.ru

CONTRIBUTORS:

Islamov, Bakhtiyar

Cand. Sci. (Biol.), Researcher

Shulga, Elena

Junior Researcher

Degtyareva, Irina

Dr. Sci. (Biol.), Chief Researcher, Associate Professor

Rakhamanova, Gulnara

Cand. Sci. (Agr.), Senior Researcher

Validov, Shamil

PhD, Head of Laboratory