СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Курбанбаева Лизахан Адилбаевна
магистр
Шарифов Мансурбек Рахмомберганович
старший преподаватель
Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова
E-mail: kurbanbaevaliza278@gmail.com

Аннотация. *В работе представлен сравнительный анализ опубликованных результатов применения биоплёночных, мембранных и комбинированных биологических систем для очистки бытовых сточных вод. Рассмотрены показатели удаления химического потребления кислорода (ХПК), аммонийного и общего азота, а также общего фосфора. На основании приведённых в научных публикациях входных и выходных концентраций дополнительно рассчитана эффективность удаления загрязняющих веществ. Показано, что результативность биологических систем зависит от технологической схемы и условий эксплуатации. Отдельно отмечено, что высокая степень удаления аммонийного азота не обязательно свидетельствует о столь же эффективном удалении общего азота.*

Ключевые слова: *бытовые сточные воды, биотехнологическая очистка, биоплёнка, активный ил, MBBR, мембранный биореактор, ХПК, азот, фосфор.*

Annotatsiya. *Ushbu ishda maishiy oqova suvlarni tozalashda bioqoplamali, membranali va kombinatsiyalangan biologik tizimlardan foydalanish bo‘yicha ilmiy nashrlarda keltirilgan natijalar qiyosiy tahlil qilindi. Kimyoviy kislorodga bo‘lgan talab (XKT), ammoniy azoti, umumiy azot va umumiy fosforni chiqarib tashlash ko‘rsatkichlari ko‘rib chiqildi. Ilmiy manbalarda berilgan kiruvchi va chiquvchi konsentratsiyalar asosida ifloslantiruvchi moddalarni tozalash samaradorligi qo‘shimcha ravishda hisoblandi. Biologik tizimlarning samaradorligi texnologik sxema va ekspluatatsiya sharoitlariga bog‘liqligi aniqlandi. Ammoniy azotining yuqori darajada kamayishi umumiy azot ham xuddi shunday samarali chiqarilganini anglatmasligi ta’kidlandi.*

Kalit so‘zlar: *maishiy oqova suvlar, biotexnologik tozalash, bioqoplama, faol loyqa, MBBR, membranali bioreaktor, XKT, azot, fosfor.*

Abstract. *This paper presents a comparative analysis of published results on the use of biofilm, membrane, and combined biological systems for domestic wastewater treatment. The removal of chemical oxygen demand (COD), ammonium nitrogen, total nitrogen, and total phosphorus is considered. Removal efficiencies were additionally calculated using influent and effluent concentrations reported in the selected studies. The analysis shows that the performance of biological systems depends on the process configuration and operating conditions. It is also emphasized that a high ammonium-nitrogen removal rate does not necessarily indicate equally effective total-nitrogen removal.*

Keywords: *domestic wastewater, biotechnological treatment, biofilm, activated sludge, MBBR, membrane bioreactor, COD, nitrogen, phosphorus.*

Введение

Бытовые сточные воды содержат органические вещества и биогенные элементы, прежде всего соединения азота и фосфора. При недостаточной очистке их поступление в водные объекты увеличивает кислородную нагрузку и может способствовать развитию эвтрофикации. Биотехнологические методы основаны на использовании метаболической активности микроорганизмов, которые участвуют в разложении органических соединений, превращении различных форм азота и биологическом удалении фосфора.

Актуальность совершенствования таких методов связана с необходимостью повышения качества очищенной воды и рационального использования водных ресурсов. При этом эффективность очистки определяется не только типом биореактора, но и составом сточных вод, концентрацией биомассы, режимом аэрации, временем удерживания и другими эксплуатационными параметрами.

Цель работы — провести сравнительную оценку отдельных биотехнологических методов очистки бытовых сточных вод по опубликованным экспериментальным данным и определить особенности их эффективности по основным показателям загрязнения.

Материалы и методы

Выполнен сравнительный анализ четырёх опубликованных экспериментальных исследований, посвящённых гибридному биоплёночному биореактору, комбинированной системе A/O-MBBR, мембранному биореактору

(MBR) и системе «биоплёнка — активный ил» [1–4]. Для сопоставления использованы показатели удаления ХПК, аммонийного азота (NH_4-N), общего азота (TN) и общего фосфора (TP).

Если в публикации были приведены входная и выходная концентрации загрязняющего вещества, эффективность удаления рассчитывали по формуле:

η = [(Свх − Свых) / Свх] × 100 %

где η — эффективность удаления, %; Свх — концентрация вещества до очистки; Свых — концентрация после очистки. Поскольку рассмотренные исследования проводились при разных исходных характеристиках сточных вод и режимах эксплуатации, результаты представлены как описательное сопоставление. Они не рассматриваются как прямое ранжирование технологий.

Результаты и обсуждение

В исследовании Hou и соавторов гибридный биореактор с носителями биоплёнки обеспечил удаление ХПК на 91,5 %, аммонийного азота — на 96,5 %, общего азота — на 60,9 % [1]. Различие между показателями удаления аммонийного и общего азота показывает, что преобразование аммония не всегда приводит к полному удалению азота из системы. Для снижения общего азота необходимы последовательные процессы нитрификации и денитрификации, при которых азот переводится в газообразную форму и удаляется из воды.

Al-Aboodi и соавторы изучали комбинированную систему A/O-MBBR. При соотношении воздуха и воды 7:1 были получены показатели удаления ХПК 95,56 %, аммонийного азота 97,27 %, общего азота 78,67 % и общего фосфора 84,49 % [2]. Эти результаты демонстрируют потенциал комбинирования аноксидной и аэробной зон с подвижными носителями биоплёнки. Вместе с тем приведённые значения характеризуют конкретный экспериментальный режим и не могут без дополнительной проверки переноситься на установки другого масштаба.

Для мембранного биореактора Zhou и соавторы приводят эффективность удаления ХПК 88,9 %, аммонийного азота 94,6 % и общего фосфора 61,6 % [3]. К особенностям MBR относятся удерживание биомассы в реакторе и отделение взвешенных частиц с помощью мембранного барьера. При практическом применении данной технологии необходимо учитывать энергопотребление, необходимость очистки мембран и риск их загрязнения, поскольку эти факторы влияют на эксплуатационные затраты.

В исследовании Liu и соавторов средние входные концентрации ХПК, аммонийного азота и общего фосфора составляли приблизительно 319, 60 и 10 мг/л соответственно, а выходные концентрации — 39,4, 1,3 и 0,8 мг/л [4]. По

этим значениям рассчитана эффективность удаления ХПК около 87,6 %, аммонийного азота — около 97,8 %, общего фосфора — около 92 %. Указанные значения являются дополнительными расчётами по опубликованным средним концентрациям и не представляют результаты собственного лабораторного эксперимента.

Таблица 1 — Сравнение опубликованных результатов очистки

Метод / источник	**ХПК, %**	**NH_4-N, %**	**Общий N, %**	**Общий P, %**
Гибридный биореактор с биоплёнкой [1]	91,5	96,5	60,9	—
Комбинированная система A/O-MBBR [2]	95,56	97,27	78,67	84,49
Мембранный биореактор [3]	88,9	94,6	—	61,6
«Биоплёнка — активный ил» [4]	≈87,6*	≈97,8*	—	≈92*

*Примечание: * значения рассчитаны по опубликованным средним входным и выходным концентрациям; «—» означает, что сопоставимый показатель в использованных данных не приведён. Из-за различий в условиях эксперимента таблица не является универсальным рейтингом технологий.*

Сопоставление показывает, что комбинированная система A/O-MBBR в рассмотренном исследовании имела наиболее высокие приведённые значения удаления ХПК и общего азота среди систем, для которых эти показатели указаны [2]. Однако по аммонийному азоту система «биоплёнка — активный ил» показала близкий к 98 % расчётный результат [4]. Следовательно, оценивать технологию только по одному показателю недостаточно: необходимо учитывать весь комплекс загрязняющих веществ, а также условия проведения эксперимента.

Кроме того, отсутствие отдельных показателей в некоторых публикациях ограничивает полноту сопоставления. Для объективного выбора технологической схемы желательно использовать единый набор показателей и сопоставимые условия испытаний, включая характеристики исходной воды, температуру, время пребывания и режим аэрации.

Выводы

1. Рассмотренные публикации показывают, что биоплёночные, мембранные и комбинированные биологические системы способны обеспечивать высокую степень удаления органических загрязнений и аммонийного азота.
2. В исследовании комбинированной системы A/O-MBBR приведены показатели удаления ХПК 95,56 %, аммонийного азота 97,27 %, общего азота

78,67 % и общего фосфора 84,49 % при конкретном экспериментальном режиме [2].

3. По средним концентрациям, приведённым Liu и соавторами, дополнительно рассчитана эффективность удаления ХПК около 87,6 %, аммонийного азота около 97,8 % и общего фосфора около 92 % [4].
4. Для оценки удаления соединений азота необходимо анализировать не только аммонийный азот, но и общий азот, поскольку снижение концентрации аммония само по себе не подтверждает полного удаления азота из сточной воды.
5. Выбор биотехнологии должен основываться на составе конкретных сточных вод, требуемом качестве очищенной воды, энергозатратах, устойчивости процесса и особенностях обслуживания оборудования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hou Y., Liu M., Tan X., Hou S., Yang P. Study on COD and nitrogen removal efficiency of domestic sewage by hybrid carrier biofilm reactor // RSC Advances. — 2021. — Vol. 11, № 44. — P. 27322–27332. — DOI: 10.1039/D1RA03286K.

2. Al-Aboodi A. H., Hassan A. A., Al-Shammari M. H. J. Performance of Combined A/O Moving-Bed Biofilm Reactors for Biological Nutrients Removal from Domestic Wastewater under Different Gas/Water Ratios // Journal of Engineering. — 2020. — Article 9632010. — DOI: 10.1155/2020/9632010.

3. Zhou Q., Zhou L., Gui S. Simultaneous Nitrogen and Phosphorus Removal in Domestic Wastewater Treatment by MBR Process // Energy Research and Management. — 2019. — № 3. — P. 36–38. — DOI: 10.16056/j.1005-7676.2019.03.010.

4. Liu J. X., van Groenestijn J. W., Doddema H. J., Wang B. Z., et al. Removal of nitrogen and phosphorus using a new biofilm-activated-sludge system // Water Science and Technology. — 1996. — Vol. 34, Issues 1–2. — P. 315–322. — DOI: 10.1016/0273-1223(96)00521-5.