

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К УДАЛЕНИЮ МИКРОПЛАСТИКА ИЗ СТОЧНЫХ ВОД

A.N. Сидорова, Э.В. Нафиков

ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»

arinasadoroa303@gmail.com

Настоящая статья посвящена обзору современных методов удаления микропластика из сточных вод. Рассмотрены основные источники загрязнения сточных вод микропластиком, а также существующие технологии очистки, включая физические (фильтрация, седиментация), химические (коагуляция, флокуляция) и биологические методы. Проведен сравнительный анализ эффективности, стоимости и экологической безопасности различных технологий. Особое вниманиеделено перспективным направлениям исследований в области удаления микропластика из сточных вод, таким как использование нанофильтров, биосорбентов и электроагрегации.

Ключевые слова: микропластик, сточные воды, фильтрация.

Загрязнение окружающей среды микропластиком (МП) – частицами синтетических полимеров размером менее 5 мм – приобрело глобальный масштаб и рассматривается как одна из наиболее значимых экологических проблем XXI века. Формирование МП происходит как в результате деградации крупногабаритных пластиковых изделий (автомобильных шин, упаковочных материалов), так и вследствие прямого попадания в окружающую среду (микрограммы, используемые в косметической продукции, микроволокна, высвобождаемые при стирке синтетических тканей). Следствием этого является повсеместное распространение МП,

обнаруживаемого в различных экологических матрицах, включая высокогорные (вершина Эвереста) и глубоководные (Марианская впадина) экосистемы. Присутствие МП зафиксировано в питьевой воде, пищевых продуктах и биосредах человека, что обуславливает актуальность исследований, направленных на оценку потенциальных рисков для здоровья населения [1,2].

Одним из основных путей поступления МП в окружающую среду является его транзит через системы сточных вод (СВ). Эксплуатация бытовых стиральных машин, смыв косметических средств, а также поверхностный сток с урбанизированных территорий обуславливают поступление значительных объемов МП на муниципальные очистные сооружения (МОС). Существующие технологии водоочистки, эффективно удаляющие крупнодисперсные загрязнители, органические вещества и патогенные микроорганизмы, не оптимизированы для улавливания мелкодисперсных и химически инертных частиц МП. На рисунке 1 можно увидеть результат очистки воды от частиц микропластика методом флотации, в котором видно, что остаточное количество мелкодисперсных частиц микропластика присутствует. Вследствие этого значительная фракция МП попадает в водные объекты (реки, озера, моря), что требует разработки и внедрения эффективных методов его удаления из СВ [3,4].



Рис. 1. Остаточное количество микропластика после проведения очистки методом флотации.

Проблема загрязнения сточных вод микропластиком требует разработки и внедрения эффективных технологий очистки. Существующие методы

можно разделить на три основные группы: механические, физико-химические и биологические.

В работе систематизированы существующие методы удаления микропластика из сточных вод в виде сводных таблиц 1-3.

Таблица 1

Сравнительная характеристика механических методов удаления микропластика из сточных вод

Метод	Принцип действия	Преимущества	Недостатки	Применение
Решетки и сита	Физическое отделение крупных частиц с помощью фильтрующих элементов с определенным размером ячеек	Простота конструкции, низкая стоимость	Удаление только крупных частиц, неэффективность против микропластика	Предварительная очистка сточных вод от крупного мусора
Песколовки	Отделение песка и других твердых частиц под действием силы тяжести	Простота конструкции, предотвращение засорения фильтров	Не удаляет микропластик	Предварительная очистка сточных вод от абразивных частиц
Микрофильтрация	Фильтрация воды через мембранные поры размером 0,1–10 мкм	Удаление частиц микропластика среднего размера	Сравнительно низкая эффективность против мелких частиц, требует предварительной очистки	Очистка сточных вод от микропластика среднего размера, подготовка к дальнейшей очистке
Мембранные фильтрации (УФ, НФ, ОО)	Фильтрация воды через мембранные поры размером менее 0,1 мкм (ультрафильтрация, нанофильтрация, обратный осмос)	Высокая эффективность удаления микропластика (до 99,9%), удаление даже наноразмерных частиц	Высокая стоимость, энергозатратность, необходимость предварительной очистки, проблема обрастания мембран	Глубокая очистка сточных вод от микропластика, получение высококачественной воды для повторного использования

Таблица 2

Сравнительная характеристика физико-химических методов удаления микропластика из сточных вод

Метод	Принцип действия	Преимущества	Недостатки	Применение
Коагуляция и флокуляция	Нейтрализация заряда частиц микропластика и их слипание в крупные хлопья (флокулы) с помощью коагулянтов	Простота применения, низкая стоимость	Образование осадка, необходимость утилизации осадка, возможная токсичность коагулянтов	Предварительная очистка сточных вод от микропластика, подготовка к дальнейшей очистке
Флотация	Прилипание частиц микропластика к пузырькам воздуха и их удаление с поверхности воды	Эффективность удаления гидрофобного микропластика, возможность совмещения с другими процессами очистки	Необходимость использования флотореагентов, которые могут быть токсичными, образование пены	Очистка сточных вод от микропластика в промышленности, удаление нефтепродуктов и других органических загрязнений
Продвинутые процессы окисления (AOPs)	Генерация сильных окислителей (озон, пероксид водорода, гидроксильные радикалы), которые разрушают молекулы микропластика до безвредных компонентов (H_2O , CO_2)	Полное разрушение микропластика, отсутствие образования осадка	Высокая стоимость, энергозатратность, необходимость использования специальных реагентов, возможно образование токсичных побочных продуктов	Очистка сточных вод от микропластика и других органических загрязнителей, дезинфекция воды

Проблема загрязнения сточных вод микропластиком требует незамедлительного внимания и активного поиска решений. Проведенный обзор показал, что на сегодняшний день не существует универсального метода, способного полностью и эффективно решить эту задачу. Каждый из рассмотренных подходов – от механической фильтрации до сложных биохимических процессов – обладает своими преимуществами и ограничениями.

Таблица 3
Сравнительная характеристика биологических методов удаления
микропластика из сточных вод

Метод	Принцип действия	Преимущества	Недостатки	Применение
Биофлокулянты	Использование природных биополимеров, производимых микроорганизмами, для связывания частиц микропластика в крупные хлопья	Экологическая безопасность, низкая стоимость, биоразлагаемость	Ограниченнная эффективность, зависимость от условий окружающей среды (рН, температура), необходимость выделения и очистки биофлокулянта	Предварительная очистка сточных вод от микропластика, альтернатива синтетическим коагулянтам
Активный ил	Использование сообществ микроорганизмов (бактерий, простейших) для разложения органических веществ и иммобилизации частиц микропластика в составе ила	Удаление органических загрязнений и микропластика одновременно, относительно низкая стоимость, широкое распространение	Ограниченнная эффективность, удаление преимущественно фрагментарного микропластика, необходимость утилизации активного ила	Очистка коммунальных и промышленных сточных вод от органических загрязнений и микропластика

Наиболее перспективным направлением представляется разработка и внедрение интегрированных систем очистки, комбинирующих различные методы для достижения максимальной эффективности. Важно учитывать специфические характеристики сточных вод (состав, концентрация микропластика, наличие других загрязнений) и экономические факторы при выборе оптимальной комбинации технологий [5].

Библиографический список

1. Сидорова, А. Н. Анализ проблем нехватки пресной воды и ее загрязнение / А. Н. Сидорова, Э. В. Нафикова // Проблемы обеспечения безопасности (безопасность-2022) : материалы IV Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию УГАТУ, Уфа, 14 апреля 2022 года. – Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет, 2022. – С. 270-272.
2. Левченко, Я. М. Анализ проблем проектирования и выбора биоплато / Я. М. Левченко, Э. В. Нафикова, К. Р. Гаянова // Проблемы обеспечения безопасности (безопасность-2022) : материалы IV Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию УГАТУ, Уфа, 14 апреля

2022 года. – Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет, 2022. – С. 261-263.

3. Hydroecological data recovery using artificial intelligence / E. Nafikova, D. Aleksandrov, A. Shaniyazova, Ch. Bondar // E3S Web of Conferences: International Scientific and Practical Conference “Development and Modern Problems of Aquaculture” (AQUACULTURE 2022), Divnomorskoe village, Krasnodar region, Russia, 26 сентября – 02 2022 года. Vol. 381. – EDP Sciences: EDP Sciences, 2023. – Р. 01036. – DOI 10.1051/e3sconf/202338101036.

4. Федотова А.Ю, Исследование возникновения и удаления микропластика на очистных сооружениях канализации / А.Ю. Федотова, Е.В. Астраханцева, М.Ю. Дягелев // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2023. – №4 (46). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vozniknoveniya-i-udaleniya-mikroplastika-na-ochistnyh-sooruzheniyah-kanalizatsii> (дата обращения: 20.09.2025).

5. Поздняков Ш.Р., Иванова Е.В., Гузева А.В., Шалунова Е.П., Мартинсон К.Д., Тихонова Д.А. Исследование содержания частиц микропластика в воде, донных отложениях и грунтах прибрежной территории Невской губы Финского залива // Водные ресурсы. 2020 Т. 47 (4). С. 411–420.