

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К УДАЛЕНИЮ МИКРОПЛАСТИКА ИЗ СТОЧНЫХ ВОД

А.Н. Сидорова, Э.В. Нафикова

ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»

arinasidoroa303@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 внимание уделено перспективным направлениям исследований в области удаления микропластика из сточных вод, таким как использование нанофильтров, биосорбентов и электрокоагуляции.

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 (микрогранулы, 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 мембраны с порами 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
Мембранная фильтрация (УФ, НФ, ОО)	Фильтрация воды через мембраны с порами 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 ₂ O, 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	Ограниченная 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	Ограниченная 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. – P. 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.