



Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. – 2020. – С. 52078.

12. Мезрин Н. М. Оценка специфических загрязнений в составе городских сточных вод / Н. М. Мезрин, А. А. Абрамова, М. Ю. Дягелев, В. Г. Исаков // Водоснабжение и санитарная техника. – 2022. – № 7. – С. 34–41.

13. Абрамова А. А. Нормативное регулирование и оценка специфических загрязнений в поверхностных и сточных водах в России и за рубежом / А. А. Абрамова, М. Ю. Дягелев, В. Г. Исаков, А. М. Непогодин // Приволжский научный журнал. – 2023. – № 1 (65). – С. 96–103.

14. Егоров Н. С. Основы учения об антибиотиках / Н. С. Егоров. – Москва : Наука, 2004. – 528 с.

15. Страчунский Л. С. Современная антимикробная химиотерапия / Л. С. Страчунский, С. Н. Козлов. – Москва : Боргес, 2002. – 432 с.

16. Абрамова А. А. Оценка загрязненности городских сточных вод антибиотическими препаратами цефалоспориновой группы и возможности их определения спектрофотометрическим методом / А. А. Абрамова, А. М. Батуева, А. В. Васильев, М. Ю. Дягелев, Е. Д. Наумкина, И. О. Чурсин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2021. – № 2 (42). – С. 53–65.

17. Алексеев В. Г. Бионеорганическая химия пенициллинов и цефалоспоринов / В. Г. Алексеев. – Тверь : Тверской государственный университет, 2009. – 104 с.

18. Алексеев В. А. Определение аварийного загрязнения антибиотиками сточных вод / В. А. Алексеев, В. П. Усольцев, С. И. Юран, Д. Н. Шульмин // Безопасность в техносфере. – 2018. – Т. 7, № 5. – С. 3–8.

19. Jansen K. U. The role of vaccines in fighting antimicrobial resistance (AMR) / K. U. Jansen, A. S. Anderson // Human Vaccines and Immunotherapeutics. – 2018. – № 14 (9). – С. 2142–2149. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1080/21645515.2018.1476814>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

20. Moo C.-L. Mechanisms of antimicrobial resistance (AMR) and alternative approaches to overcome AMR / C.-L. Moo, S.-K. Yang, K. Yusoff, M. Ajat, W. Thomas, A. Abushelaibi, S.-H.-E. Lim, K.-S. Lai // Current Drug Discovery Technologies. – 2020. – № 17 (4). – С. 430–447. – Режим доступа: <https://doi.org/10.2174/1570163816666190304122219>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

21. Yang L. In situ derivatization and hollow-fiber liquid-phase microextraction to determine sulfonamides in water using UHPLC with fluorescence detection / L. Yang, Y. Shi, J. Li, T. Luan // Journal of Separation Science. – 2018. – № 41 (7). – С. 1651–1662. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1002/jssc.201701041>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

22. Краснова Т. А. Идентификация и определение антибиотиков в питьевой воде методом масс-спектрометрии с матрично-активированной лазерной десорб-цией/ионизацией / Т. А. Краснова, В. Г. Амелин // Вода, химия и экология. – 2013. – № 11. – С. 81–87.

23. Liang N. Solid-phase extraction in combination with dispersive liquid-liquid microextraction and ultra-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry analysis: the ultra-trace determination of 10 antibiotics in water samples / N. Liang, P. Huang, X. Hou, Z. Li, L. Tao, L. Zhao // Analytical and Bioanalytical Chemistr. – 2016. – № 408 (6). – С. 1701–1713. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1007/s00216-015-9284-z>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

24. Новикова В. Г. Особенности современных методов определения антибиотиков в пищевых продуктах / В. Г. Новикова, Е. А. Родионов, И. А. Чаркин, И. В. Ватутина, О. В. Маслов // Молодежный инновационный вестник. – 2012. – Т. 1, № 1. – С. 267–268.

24. Кулапина Е. Г. Современные методы определения антибиотиков в биологических и лекарственных средах (обзор) / Е. Г. Кулапина, О. В. Барнинова, О. И. Кулапина, И. А. Утц, С. В. Снесарев // Антибиотики и химиотерапия. – 2009. – № 54. – С. 53–60.

© М. Ю. Дягелев, А. А. Абрамова

Ссылка для цитирования:

Дягелев М. Ю., Абрамова А. А. Анализ методов обнаружения антибиотиков в городских сточных водах // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2023. № 4 (46). С. 23–28.

УДК 628.312.1+691.175

DOI 10.52684/2312-3702-2023-46-4-28-33

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И УДАЛЕНИЯ МИКРОПЛАСТИКА НА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ КАНАЛИЗАЦИИ

А. Ю. Федотова, Е. В. Астраханцева, М. Ю. Дягелев

Федотова Анастасия Юрьевна, магистрант, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова, г. Ижевск, Российская Федерация; e-mail: kelso.nastya@mail.ru;

Астраханцева Екатерина Вадимовна, студент, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова, г. Ижевск, Российская Федерация; e-mail: katya_astrahanseva27@mail.ru;

Дягелев Михаил Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Водоснабжение и водоподготовка», Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова, г. Ижевск, Российская Федерация; e-mail: m.yu.dyagelev@istu.ru

Микропластик встречается повсеместно, что вызывает растущую озабоченность по поводу состояния окружающей среды, здоровья людей, социально-экономического и нормативного регулирования. Сооружения по очистке сточных вод являются конечным пунктом для накопления микропластика из разных источников и по причине отсутствия возможности полностью его удалить в ряде случаев являются причиной загрязнения. В данной работе рассмотрены физико-химические свойства микропластика, поступающего на очистные сооружения, – форма, полимерный состав и размеры. Представлены также данные о влиянии этих свойств на эффективность удаления микропластика на механической и биологической ступени очистки сточных вод.

Ключевые слова: сточные воды, микропластик, пластиковые отходы, водная токсикология, микрозагрязнители.

INVESTIGATION OF THE OCCURRENCE AND REMOVAL OF MICROPLASTICS IN WASTEWATER TREATMENT PLANTS

A. Yu. Fedotova, Ye. V. Astrakhantseva, M. Yu. Dyagelev

Fedotova Anastasiya Yuryevna, graduate student, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russian Federation; e-mail: kelso.nastya@mail.ru;

Astrakhantseva Yekaterina Vadimovna, student, Izhevsk State Technical University named after M. T. Kalashnikov, Izhevsk, Russian Federation; e-mail: katya_astrahanseva27@mail.ru;

Dyagelev Mikhail Yuryevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department "Water Supply and Water Treatment", Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russian Federation; e-mail: m.yu.dyagelev@istu.ru

Microplastics are ubiquitous in the environment, causing increasing environmental, public health, socio-economic and regulatory concerns. Wastewater treatment plants are the end point of microplastic accumulation due to various sources, and in some cases, they serve as a source of environmental pollution by microplastics due to the inability to completely remove these pollutants from wastewater. This paper discusses the physicochemical properties of microplastics entering wastewater treatment plants – shape, polymer composition and size. Data on the influence of these properties on the efficiency of microplastic removal at the mechanical and biological stages of wastewater treatment are also presented.

Keywords: wastewater, microplastics, plastic waste, aquatic toxicology, micropollutants.

Введение

Мировое производство пластика развивалось с момента появления первого синтетического пластикового полимера в 1907 году и растет с каждым десятилетием. Оно увеличилось с 1,5 до 348 млн т / г. в период с 1950 по 2017 год, а с 2018 по 2021 год – с 365,5 до 390,7 млн т / г. Учитывая разнообразное использование пластика, имеется предположение, что в 2060 году спрос на него достигнет 1231 млн т / г. Это приведет к образованию огромного объема потока отходов: с 353 млн т / г. в 2019 году до примерно 1014 млн т / г. в 2060 году. В результате возникнет серьезная проблема особенно для стран с отсутствующей или слабо развитой инфраструктурой и политикой управления отходами [1].

Пластик существует в окружающей среде в различных фракциях, таких как: мегапластики, макропластики, мезопластики, микропластики и нанопластики. Мегапластиком обычно называют пластиковые частицы размером больше 1 м или 100 мм, макропластиком – частицы меньше 1 м или 20–100 мм, мезопластиком – частицы размером 5–10 мм, микропластиком – частицы размером до 5 мм, а нанопластиком – частицы размером от 1 до 100 нм [2]. Из этой классификации размеров пластика микропластик вызывает большую озабоченность у исследователей, а также активистов в области окружающей среды и здравоохранения. В зависимости от происхождения микропластик можно разделить на первичный и вторичный. В первом случае микропластик содержится, например, в средствах личной гигиены в виде микрогранул, а во втором – образуется в результате фрагментации макропластика вследствие атмосферных воздействий, механического разрушения и биоразложения. Учитывая стойкость к разложению в окружающей среде, по различным оценкам 15–31 % и 70–80 % первичного и вторичного микропластика соответственно находится в окружающей среде. Микропластик был обнаружен в почве, воздухе, водоемах, питьевой воде, продуктах питания и напитках, у водных организмов, домашних птиц, скота и людей [2–10].

Основные источники попадания пластика в природную среду – бытовые и промышленные сточные воды. Синтетические волокна отделяются

от различных вещей при стирке и разрушении тканей. Другой источник пластиковых волокон – рыболовные сети. Фрагменты микропластика крайне сложно изъять из окружающей среды, и они становятся потенциально опасными для экосистем. Частицы пластика в водной среде обрастают биопленкой, состоящей из микроорганизмов и гумусовых веществ. Микропластик может сорбировать на поверхности токсичные вещества, включая устойчивые органические загрязнители и тяжелые металлы. Частицы пластика вместе с токсикантами могут попадать в живые организмы и передаваться по пищевым цепям [7, 11–17].

Цель работы – проанализировать аспекты загрязнения водной среды микропластиком, а также методы их удаления из водной среды.

Объектом исследования является микропластик в сточных водах, формы его присутствия и способы удаления.

Методы исследования

Основным методом исследований рассматриваемой статьи был анализ данных отечественных и зарубежных ученых по обозначенной теме. При проведении аналитического поиска использовались ключевые слова в библиографических базах данных научного цитирования Web of Science Core Collection (Clarivate Analytics) и eLIBRARY.RU (Научная электронная библиотека). Поисковый запрос для базы Web of Science – «microplastic*», «microplastic* and wastewater*», «microplastic* and sewage sludge*» (поиск по названию, аннотации, ключевым словам); для базы eLIBRARY.RU – «микропластик» (по названию, аннотации, ключевым словам), а также было введено дополнительное ограничение в тематическом рубрикаторе 70.00.00 «Водное хозяйство». Годы поиска – с момента первого упоминания по январь 2023 г.

Результаты и обсуждение

К настоящему времени более 30 видов микропластика обнаружены в сточных водах и на выпуске с очистных сооружений канализации (табл.). Наиболее распространенными видами микропластика, обнаруженными в сточных водах, являются полиэстер (PES, от 28 до 89 %), полиэтилен (PE, от 4 до 51 %), полиэтилентерефталат (PET, от 4 до 35 %) и по-

лиамид (РА, от 3 до 30 %). PES, PET и PA широко используются в производстве синтетической одежды, а РА – в средствах личной гигиены, включая скрабы для тела и лица, а также упаковочные пленки для пищевых продуктов и бутылки для воды [18, 19]. Остальные полимеры представляют лишь ограниченную долю общего количества микропластика в сточных водах и составляют менее 5 %. Таким образом, приоритет в исследованиях может быть отдан наиболее распространенным видам полимеров, а не всем представленным частицам.

Информация о микропластике в сточных водах позволяет предположить, что большая его часть поступает из нашей повседневной жизни. Однако ос-

новные источники и пути попадания на очистные сооружения канализации еще не полностью изучены. Авторы предполагают, что основная доля частиц микропластика поступает через поверхностный сток. Такие знания могут предотвратить загрязнение окружающей среды и поэтому должны быть всесторонне изучены в будущем.

В зависимости от морфологии, микропластик подразделяется на различные категории форм, такие как: волокна, фрагменты, микрошарики, листы, пленки и пенопласт, мягкие и твердые формы, сферические и неправильные гранулы и просто гранулы. Наиболее обнаруживаемые формы схематически представлены на рисунке [20–21].

Таблица

Основные типы пластиков [18]

Типы пластика	Общепринятая аббревиатура	Применение
Полипропилен	PP	бутылки, стаканчики, садовая мебель, пищевые контейнеры, упаковочные ленты
Полиэтилен	PE	пакеты, питьевые бутылки
Полиэтилен низкой плотности	LDPE	мусорные мешки, оберточная бумага, сельскохозяйственные пленки, материалы для изоляции трубопроводов
Полиэтилен высокой плотности	HDPE	контейнеры, тары, производство трубопроводов
Полиэтилентерефталат	PET	волокна, пищевые пленки, пластиковые бутылки
Полистирол	PS	одноразовая посуда, имитированный хрусталь, пластиковые игрушки
Ударопрочный полистирол	HIPS	пластиковые контейнеры, электроника
Полиамид	PA	средства личной гигиены, текстильные волокна, щетинки зубной щетки, молдинги для автомобильных двигателей
Полиэстер	PES	текстильные волокна
Поливинилхлорид	PVC	водопроводные трубы, фитинги, материалы для электропроводки, садовые шланги
Поликарбонат	PC	очки, защитные экраны, светофоры, строительные материалы

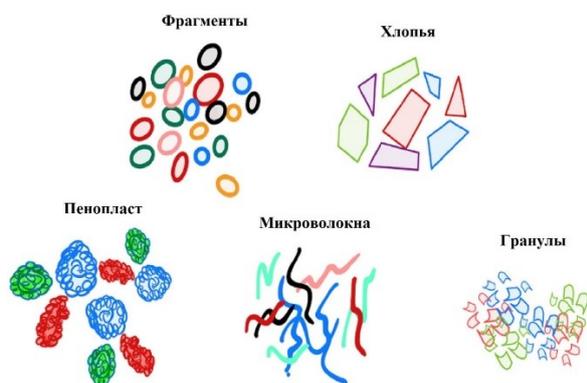


Рис. Формы микропластика в сточных водах

Как показывают результаты исследований Jing Sun и др. [19] и Pirс U. [22], волокна составляют наибольшую долю наблюдаемого микропластика в сточных водах со средним содержанием 52,7 %. Это может быть обусловлено проникновением микропластиковых волокон из различных источников, включая стиральные машины. При стирке синтетической одежды происходит выщелачивание микропластиковых волокон, которые затем попадают в сточные воды через систему дренажа в стиральных машинах. Высокое содержание полимеров в сточных водах от производства синтетической одежды также подтверждает эту связь между производством и появлением микропластика в

сточных водах [14]. Некоторые ученые рассматривают возможность использования специальных фильтров для стиральных машин, которые могут помочь задержать микропластиковые волокна и предотвратить их выбросы в сточные воды. Другие подходы включают разработку синтетических материалов, которые менее подвержены образованию и освобождению микропластика в процессе использования и стирки.

Фрагментарный микропластик является еще одной формой пластика в сточных водах, на долю которого приходится в среднем 28,8 %. Этот вид микропластика представляет собой разрушенные части пластиковых изделий, такие как: пластиковые бутылки, упаковки и другие предметы. Фрагментарный микропластик может быть также результатом механического износа и эрозии пластиковых материалов в окружающей среде. Кроме того, микропластик из средств личной гигиены может являться дополнительным источником фрагментарного типа. Он входит в состав скрабов, зубных паст, шампуней и других косметических и гигиенических продуктов. Эти микрочастицы могут проникать в сточные воды через использованную косметику, смытаясь с кожи или с прикрепленными к ним загрязнениями.

Микропластик в форме пленки, гранулы и пенопласта были также обнаружены в сточных водах. Их

среднее содержание составляет около 10 % или ниже. Микропластиковая пленка может быть получена в результате истирания и расслоения пластиковых пакетов и упаковочных материалов, в то время как гранулы микропластика и пенопласт являются в основном отходами от упаковочных материалов и могут поступать на очистные сооружения канализации как со сточными водами, так и с поверхностным стоком.

Относительно размеров микропластика (как было указано выше к понятию «микропластик» относятся части пластика размером от 1 нм до 5 мм) можно привести классификацию, предложенную Dris R. и др. [23], Lares M. и др. [24], Simon M. и др. [25] по частоте обнаружения его соответствующего размера в сточных водах. Чаще всего использовались 25 мкм, 100 мкм и 500 мкм. В стоках, поступающих на очистные сооружения канализации, количество микропластика размером более 500 мкм иногда может достигать более 70 % от всего количества [22–23].

Последние исследования показали, что в сточных водах все больше появляется микропластик размером менее 25 мкм [25], что также согласуется с результатами наблюдений в Атлантическом океане. Там он размером менее 40 мкм составлял 64 % всех обнаруженных микропластических частиц, среди которых более половины из них были менее 20 мкм [26]. Из-за своего небольшого размера микропластик становится более биодоступным для низших трофических организмов, которые, как правило, проявляют ограниченную избирательность и часто проглатывают все, что имеет подходящий размер. Данное предположение было обосновано тем фактом, что очистные сооружения канализации обладают высокой эффективностью очистки сточных вод от микропластика: на механической ступени удаляются крупные частицы микропластика, а на биологической – активный ил сорбирует частицы микропластика меньшего размера.

Sun J и другие исследователи [19] сообщают, что приблизительно 35÷59 % общего количества микропластика можно удалить на решетках и песколовках / жироловках, а 50÷98 % – после первичных отстойников. На этом этапе отделяются легкие плавающие частицы микропластика, а также оседают тяжелые частицы микропластика или микропластика, захваченного в твердые флоккулы во время удаления песка и гравитационной сепарации в первичных отстойниках.

В процессе биологической очистки содержание микропластика в осветленной воде снижается до 0,2÷14 %. Активный ил в аэротенке, вероятно, накапливает оставшийся микропластик и оседает во вторичном отстойнике. Если на очистных сооружениях канализации используется дополнительное реагентное осаждение, например, фосфора, то хи-

мические вещества, такие как хлорид, сульфат железа или другие флокулирующие агенты, могут оказывать положительное влияние на удаление пластика, так как они могут агрегировать взвешенные твердые частицы, образуя «флокулы» [22]. Логично предположить, что в процессе биологической очистки в первую очередь удаляется фрагментарный микропластик (см. рис.), так как гранулированные, волокнистые, пленочные его формы будут извлечены на механической очистке.

Относительно высокая эффективность удаления микропластика на очистных сооружениях канализации указывает на то, что его большая часть сохраняется в осадке сточных вод. Однако до сих пор исследования, посвященные появлению микропластика в осадке сточных вод, его трансформации и дальнейшей мобилизации очень ограничены.

Murphy F. и другие ученые [27] установили, что, несмотря на относительно высокую эффективность очистки микропластика на очистных сооружениях канализации, общий его сброс вместе с очищенными стоками все еще имеет среднее значение 2×10^6 частиц / день, что соответствует среднегодовому сбросу чистого объема – 5×10^7 м³/год.

Заключение

Обзор данных отечественных и зарубежных исследований по содержанию микропластика в поверхностных и сточных водах показывает, что в сточных водах чаще всего встречается микропластик из полиэстера, полиэтилена, полиэтилентерефталата и полиамида, причем волокнистая форма составляет наибольшую долю. Концентрация микропластика в сточных водах варьируется от 1 до 10044 частиц / л, а в поверхностных водах – от 0 до 447 частиц / л.

Микропластик может эффективно удаляться в водоочистных сооружениях особенно на механической стадии очистки сточных вод вместе с песком, нефтепродуктами и жирами. Увеличение времени гидравлического пребывания сточных вод в песколовках, жироловках и первичных отстойниках может повысить эффективность данного процесса. Более продолжительное нахождение в водоочистных сооружениях позволяет лучше очистить сточные воды и обеспечить полное устранение микропластика.

Эффективное удаление микропластика на механической стадии также имеет преимущество в том, что это помогает предотвратить его появление в возвратном и избыточном активном иле. Во время биологической очистки сточных вод активный ил выполняет функцию сорбента, и, если микропластик не был полностью удален на механической стадии, он может сорбироваться активным илом. Это может затруднить его последующую очистку и привести к проблемам в процессе обработки сточных вод.

Список литературы

1. Sheriff I. Microplastics in wastewater treatment plants: A review of the occurrence, removal, impact on ecosystem, and abatement measures / I. Sheriff, M. S. Yusoff, H. B. Halim // Journal of Water Process Engineering. – 2023. – № 54. – С. 104039. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.104039>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.



2. Федотова А. Ю. Гранулометрические характеристики микропластика и его распространение в природных водах / А. Ю. Федотова, М. Ю. Дягелев, В. Г. Исаков // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2022. – № 3 (47). – С. 29–47. – Режим доступа: <https://doi.org/10.15593/2409-5125/2022.3.03>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
3. Алексеев В. А. Проект автономного микрокатера с лазерным устройством для оценки загрязнения микропластиком акватории водоемов / В. А. Алексеев, С. И. Юран, М. Р. Зарипов, В. П. Усольцев // Приборы и методы измерений. – 2023. – Т. 14, № 2. – С. 106–114. – Режим доступа: <https://doi.org/10.21122/2220-9506-2023-14-2-106-114>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
4. Казмирук В. Д. Микропластик в окружающей среде: нарастающая проблема планетарного масштаба / В. Д. Казмирук. – Москва: Ленанд, 2020. – 432 с.
5. Саванина Я. В. Загрязнение водной среды микропластиком: воздействие на биологические объекты, очистка / Я. В. Саванина, Е. Л. Барский, И. А. Фомина, Е. С. Лобакова // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. – 2019. – № 2 (12). – С. 54–58.
6. Панкова Г. А. Деятельность ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» по снижению негативного воздействия на окружающую среду / Г. А. Панкова, О. Н. Рублевская, Л. В. Леонов // Водоснабжение и санитарная техника. – 2016. – № 7. – С. 14–23.
7. Ильина О. В. Пластиковое загрязнение прибрежных поверхностных вод среднего и южного Байкала / О. В. Ильина, М. Ю. Колобов, В. В. Ильинский // Водные ресурсы. – 2021. – Т. 48, № 1. – С. 42–51. – Режим доступа: <https://doi.org/10.31857/S0321059621010181>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
8. Поздняков Ш. Р. Исследование содержания частиц микропластика в воде, донных отложениях и грунтах прибрежной территории Невской губы Финского залива / Ш. Р. Поздняков, Е. В. Иванова, А. В. Гузева, Е. П. Шалунова, К. Д. Мартинсон, Д. А. Тихонова // Водные ресурсы. – 2020. – Т. 47, № 4. – С. 411–420. – Режим доступа: <https://doi.org/10.31857/S0321059620040148>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
9. Абуова Г. Б. Экологическое состояние водных объектов в Южном регионе России / Г. Б. Абуова, Н. С. Масютин, Е. В. Москвичева // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2018. – № 4 (26). – С. 35–39.
10. Боронина Л. В. Экологическая оценка эффективности очистки вод для малых населенных пунктов / Л. В. Боронина, Г. Б. Абуова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2019. – № 4 (30). – С. 38–42.
11. Дягелев М. Ю. Опыт выявления поллютанта в модельном растворе спектрофотометрическим методом / М. Ю. Дягелев // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2023. – № 2 (91). – С. 149–156.
12. Егоров И. С. Уменьшение загрязнения водоемов бытовыми сточными водами / И. С. Егоров // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2015. – № 3 (13). – С. 13–16.
13. Игнаткина Д. О. Математический анализ экспериментальных закономерностей процесса сорбционной доочистки сточных вод с использованием гранулированного композитного сорбента / Д. О. Игнаткина, А. В. Москвичева, А. А. Войтук, В. И. Салеева // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2020. – № 3 (33). – С. 47–52. – Режим доступа: [https://doi.org/10.35108/isvp20203\(33\)47-52](https://doi.org/10.35108/isvp20203(33)47-52), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
14. Дягелев М. Ю. Повышение эффективности биологической очистки промышленных стоков в составе городских сточных вод / М. Ю. Дягелев // Теоретическая и прикладная экология. – 2023. – № 2. – С. 96–103. – Режим доступа: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2023-2-096-103>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
15. Москвичева А. В. Некоторые аспекты применения цеолита для доочистки сточных вод от ионов металлов / А. В. Москвичева, Е. В. Москвичева, А. В. Щербаков и др. // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2019. – № 1 (27). – С. 33–37.
16. Мезрин Н. М. Оценка специфических загрязнений в составе городских сточных вод / Н. М. Мезрин, А. А. Абрамова, М. Ю. Дягелев, В. Г. Исаков // Водоснабжение и санитарная техника. – 2022. – № 7. – С. 34–41.
17. Игнаткина Д. О. Экспериментальная оценка эффективности адсорбции многокомпонентных загрязнений с использованием органобентонитового сорбента / Д. О. Игнаткина, А. А. Войтук, А. А. Геращенко, В. И. Салеева // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2020. – № 4 (34). – С. 28–33. – Режим доступа: [https://doi.org/10.35108/isvp20204\(34\)28-33](https://doi.org/10.35108/isvp20204(34)28-33), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
18. Суворова А. А. Микропластик в океане: обзор проблемы и актуальные направления исследований / А. А. Суворова // Экология гидросферы. – 2021. – № 1 (6). – С. 1–7. – Режим доступа: [https://doi.org/10.33624/2587-9367-2021-1\(6\)-1-7](https://doi.org/10.33624/2587-9367-2021-1(6)-1-7), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
19. Sun J. Microplastics in wastewater treatment plants: Detection, occurrence and removal / J. Sun, X. Dai, Q. Wang, M. C. M. van Loosdrecht, B.-J. Ni // Water Research. – 2019. – № 152. – С. 21–37. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.12.050>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
20. Talvitie J. Solutions to microplastic pollution – Removal of microplastics from wastewater effluent with advanced wastewater treatment technologies / J. Talvitie, A. Mikola, A. Koistinen, O. Setälä // Water Research. – 2017. – № 123. – С. 401–407. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.07.005>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
21. Mason S. A. Microplastic pollution is widely detected in US municipal wastewater treatment plant effluent / S. A. Mason, D. Garneau, R. Sutton, Y. Chu, K. Ehmann, J. Barnes, P. Fink, D. Papazissimos, D. L. Rogers // Environmental Pollution. – 2016. – № 218. – С. 1045–1054. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.08.056>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
22. Pirc U. Emissions of microplastic fibers from microfiber fleece during domestic washing / U. Pirc, M. Vidmar, A. Mozer, A. Kržan // Environmental Science & Pollution Research International. – 2016. – № 23 (21). – С. 1–6.
23. Dris R. Microplastic contamination in an urban area: a case study in Greater Paris / R. Dris, J. Gasperi, V. Rocher, M. Saad, N. Renault, B. Tassin // Environmental Chemistry. – 2015. – № 12 (5). – С. 592–599. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1071/EN14167>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
24. Lares, M. Occurrence, identification and removal of microplastic particles and fibers in conventional activated sludge process and advanced MBR technology / M. Lares, M. C. Ncibi, M. Sillanpää, M. Sillanpää // Water Research. – 2018. – № 133. – С. 236–246. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.01.049>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
25. Simon M. Quantification of microplastic mass and removal rates at wastewater treatment plants applying Focal Plane Array (FPA)-based Fourier Transform Infrared (FT-IR) imaging / M. Simon, N. V. Alst, J. Vollertsen // Water Research. – 2018. – № 142. – С. 1–9. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.05.019>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
26. Enders, K. Abundance, size and polymer composition of marine microplastics $\geq 10 \mu\text{m}$ in the Atlantic Ocean and their modelled vertical distribution / K. Enders, R. Lenz, C.A. Stedmon, T.G. Nielsen // Marine Pollution Bulletin. – 2015. – № 100(1). – С. 70–81. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.09.027>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

27. Murphy, F. Wastewater Treatment Works (WwTW) as a Source of Microplastics in the Aquatic Environment / F. Murphy, C. Ewins, F. Carbonnier, B. Quinn // Environmental Science & Technology. – 2016. – № 50 (11). – С. 5800–5808. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b05416>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

© А. Ю. Федотова, Е. В. Астраханцева, М. Ю. Дягелев

Ссылка для цитирования:

Федотова А. Ю., Астраханцева Е. В., Дягелев М. Ю. Исследование возникновения и удаления микропластика на очистных сооружениях канализации // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2023. № 4 (46). С. 28–33.

УДК 666.94; 628.47

DOI 10.52684/2312-3702-2023-46-4-33-35

**ПОЛНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ В СЫРЬЕ И ТОПЛИВО
ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЦЕМЕНТА**

Р. И. Шаяхмедов, С. С. Евсеева

Шаяхмедов Растам Ирфагильевич, кандидат экономических наук, доцент кафедры экспертизы, эксплуатации и управления недвижимостью, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Российская Федерация; e-mail: rastams@mail.ru;

Евсеева Софья Сергеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры экспертизы, эксплуатации и управления недвижимостью, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Российская Федерация; e-mail: ruslana2212010@mail.ru

Цель исследования – определение принципиальной возможности полного использования твердых бытовых отходов при производстве цемента мокрым способом. Задачи исследования: определение степени влияния негорючих компонентов твердых бытовых отходов на качество получаемого цементного клинкера; определение принципиальной возможности производства, в местах, где нет производства цемента мокрым способом, из твердых бытовых отходов микробиологически чистой, химически-нейтральной и пожаробезопасной топливно-сырьевой добавки, для транспортировки к местам использования. Научная новизна – гипотеза о принципиальной возможности полного использования твердых бытовых отходов при производстве цемента мокрым способом рассматривается впервые. Актуальность – основной недостаток существующих способов заключается в неполной переработке твердых бытовых отходов и сопутствующей этому потребности в предварительной сортировке. Методология исследования – методы и приемы инновационного консалтинга, патентный поиск, анализ научно-технической литературы. Выводы: все поставленные задачи решены; на настоящий момент существует принципиальная возможность полного использования твердых бытовых отходов при производстве цемента. Достигнутые результаты: все компоненты используемых твердых бытовых отходов, не повлияют на качество цемента; производство, в местах, где нет производства цемента мокрым способом, из твердых бытовых отходов микробиологически чистой, химически-нейтральной и пожаробезопасной топливно-сырьевой добавки в настоящее время возможно с использованием уже имеющихся и апробированных на практике технологий.

Ключевые слова: твердые бытовые отходы, производство цемента мокрым способом, вращающаяся цементная печь, топливная сырьевая добавка, тионовые бактерии, элементарная сера, отходы содержащие карбонаты, отходы, содержащие глину, прессование.

**COMPLETE PROCESSING OF SOLID HOUSEHOLD WASTE INTO RAW MATERIALS AND FUEL
FOR CEMENT PRODUCTION.**

R. I. Shayakhmedov, S. S. Yevseyeva

Shayakhmedov Rastam Irfaagilyevich, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Expertise, Operation and Real Estate Management, Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Astrakhan, Russian Federation; e-mail: rastams@mail.ru;

Yevseyeva Sofiya Sergeevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Expertise, Operation and Real Estate Management, Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Astrakhan, Russian Federation; e-mail: ruslana2212010@mail.ru

The purpose of the study – the purpose of the study: to determine the fundamental possibility of the full use of solid household waste in the production of cement by wet method. Research tasks: determination of the degree of influence of non-combustible components of solid household waste on the quality of the resulting cement clinker; determination of the principal possibility of production, in places where there is no wet cement production, from solid household waste of microbiologically pure, chemically neutral and fireproof fuel and raw materials additives, for transportation to places of use. Scientific novelty – the hypothesis about the fundamental possibility of the full use of solid household waste in the production of cement by wet method is being considered for the first time. Relevance – the main disadvantage of the existing methods is the incomplete processing of solid household waste and the accompanying need for pre-sorting. Research methodology – methods and techniques of innovative consulting, patent search, analysis of scientific and technical literature. Conclusions: all the tasks have been solved; at the moment, there is a fundamental possibility of the full use of solid household waste in the production of cement. The results achieved: all components of solid household waste used will not affect the quality of cement; production, in places where there is no wet cement production, of microbiologically pure, chemically neutral and heat-safe fuel and raw materials additives from solid household waste is currently possible using existing and proven technologies.

Keywords: solid household waste, wet cement production, rotating cement kiln, fuel feed additive, thionic bacteria, elemental sulfur, waste containing carbonates, waste containing clay, pressing.