

УДК 628.4.043

Л. Ф. ДОЛИНА^{1*}, О. П. САВИНА^{2*}, Д. А. ДОЛИНА^{3*}

^{1*}Каф. «Гидравлика и водоснабжение», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 273 15 09, эл. почта water.supply.treatment@gmail.com, ORCID 0000-0001-6082-7091

^{2*}Каф. «Гидравлика и водоснабжение», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 273 15 09, эл. почта savina.o.p@gmail.com, ORCID 0000-0001-7872-6416

^{3*}Главное управление Государственной фискальной службы (ГФС) Украины, ул. Шолуденко, 33, Киев, Украина, 04116, тел. +38 (050) 164 22 32, эл. почта aogni06@gmail.com, ORCID 0000-0002-2962-2722

ОЧИСТКА ВОД ОТ ПЛАСТИКА

Цель. Основная цель статьи – проанализировать наличие в воде Украины и мира пластика, а также на основании мирового и собственного опыта предложить методы очистки вод от пластика. **Методика.** Исследования выполнены на основании анализа научных зарубежных и отечественных литературных источников о наличии пластика в воде Украины, европейских стран, США (1999–2018 гг.). **Результаты.** Изученные источники свидетельствуют, что одной из основных экологических угроз мирового масштаба является наличие пластика в питьевой и сточных водах. Очистные сооружения мира недостаточно приспособлены для обнаружения и улавливания пластика. Авторы представляют результаты комплексного рассмотрения вопросов, связанных с определением наличия пластика в различных водах, его размерами и концентрациями, материалами для его изготовления. Были проведены исследования по определению содержания пластика в питьевой водопроводной воде городов Днепра и Запорожья. Например, в питьевой воде из-под крана содержится от 4 до 10 частиц пластика на литр воды, размер которых превышал 100 микрон, то есть среднюю толщину человеческого волоса. А в бутилированной воде известных торговых марок «Моршинская» и «Buvette» содержится от 49 до 102 частиц пластика на литр воды. **Научная новизна.** В работе обобщены имеющиеся и представлены новые методы и технологии очистки воды от пластика, такие как: процеживание на различных сооружениях (механические методы), флотационные, мембранные и обратноосмотические системы, мембранные биореакторы (физико-химические и комбинированные методы). Как второй путь снижения количества пластика в воде предложено запрещение его изготовления или создание биоразлагаемого пластика. **Практическая значимость.** Учитывая распространенность потребления бутилированной воды по всему миру, результаты этого исследования подтверждают необходимость дальнейших исследований воздействия микро- и нанопластов на здоровье человека.

Ключевые слова: загрязнение вод пластиком; бутилированная вода; загрязнение океана; методы очистки вод от пластика

Введение

В чем суть вопроса? Пластмасса на сегодняшний день является наиболее распространённым материалом в мире [11]. Она представляет собой материал на основе природных или синтетических полимеров, которые могут приобретать заданную форму при нагревании и под давлением устойчиво сохранять ее после охлаждения [1].

Пластик состоит из структурных повторяющихся звеньев под названием мономеры. Они связаны в длинные цепочки – полимеры. Химические ингредиенты с содержанием пластика более 50 % классифицируют как опасные [16]. Ежегодно производят и выбрасывают около 300 млн т пластика [5]. Среднестатистический

человек в Северной Америке и Западной Европе за год использует 100 кг пластика, в основном в виде упаковки. Ежегодно в океаны попадает от 10 до 20 млн т пластика. Согласно оценочным данным, поверхность всех океанов на Земле содержит 245 тыс. т пластика [там же].

Около 80 % микропластика в сточных водах – это синтетические волокна, попадающие в стоки после стирки одежды. В 2013 году было произведено около 55 млн т одежды и текстильных изделий из синтетического волокна. Некоторые частицы микропластика (вероятно, и нанопластика, хотя никакие исследования не производили) попадают в реки и океаны, минуя очистные сооружения [5]. В то же время частицы, которые

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

были уловлены, в конечном счете попадают на сушу, но уже в качестве шлама.

В Северной Америке на сельскохозяйственные поля ежегодно попадает от 44 до 300 тыс. т микропластика. В Европе эта цифра составляет от 63 до 430 тыс. т. Если потребление пластика останется на том же уровне, то к 2050 г. его на планете образуется еще 33 млрд т [5].

Согласно статистическим данным, в Украине производится в среднем 300 млн т отходов в год, около 10–15 % из них приходится на пластик [18]. Отходы (промышленные и мусор) занимают 7 % территории Украины (2017 г.). И если в развитых странах, таких как Германия и Швейцария, перерабатывают до 97 % всего произведенного пластикового мусора, то в Украине эта цифра колеблется от 4 до 10 %, в зависимости от региона.

Более того, специалисты из Миннесотского университета недавно поделились результатами исследований, в которых пришли к выводу, что микрочастицы пластика можно найти в воде практически в любой точке мира [13]. Они провели тщательный анализ 159 образцов воды из различных регионов Земли, включая США, Европу, Индонезию, Уганду, Бейрут, Индию и Эквадор. В 83 % исследованных проб нашли пластик; ни одна страна не может похвастаться тем, что ее водоемы полностью чистые.

Цель

Качество питьевой воды является мировой проблемой, важной для всех людей независимо от регионов, в которых они проживают. Сегодня идет интенсивное загрязнение Земли пластмассой. В ходе исследований последних лет было найдено большое количество пластика во многих экосистемах земного шара, Мирового океана и даже в таких далеких местностях, как Антарктида и Арктика.

На наш взгляд, если не принимать серьезных мер, то вред от пластика может превзойти его пользу. Необходимо прекратить выпуск неразлагаемого пластика, как это сделали в Сингапуре, Бангладеш и на о. Тайвань, запретив использование пластиковых пакетов. Нужно переходить на выпуск биоразлагаемого пластика, производить сортировку отходов, их переработку, утилизацию и т. д.

Учитывая все это, целью нашей статьи является анализ наличия пластика в воде Украины и мира, его количества и размеров; влияния его на окружающую среду, здоровье людей, земных и морских животных, рыб, а также предложения по внедрению разработанных нами методов очистки питьевых и сточных вод от пластика.

Методика

Для получения полной информации о масштабах загрязнения воды пластиком был проведен анализ научных источников и лабораторных отчетов как украинских, так и зарубежных изданий. Таким образом, теоретической базой исследований стали новейшие научные разработки (1989–2018 гг.), в которых отображено, какой пластик, в какой форме и количестве присутствует в питьевой и бутилированной воде, а также в сточных водах.

Результаты

Проблемы бутилированной воды. Употребляя бутилированную воду, люди, пусть и не умышленно, сами же загрязняют воду, которую они пьют.

Украинцы за последние 10 лет начали пить в 5 раз больше бутилированной воды, это почти 42 литра в год на одного человека. Один европеец в среднем выпивает 103 литра бутилированной воды в год [14]. Насколько этот тренд безопасен для здоровья, окружающей среды, мы попытаемся разобраться в этой статье.

В 2016 г. средний американец использовал 167 одноразовых бутылок с водой, из которых было переработано 38 шт. При этом средний

россиянин использует 120 одноразовых бутылок в год, а перерабатывает из них только 5 шт. [18, 19].

Сотрудники из Университета штата Нью-Йорк провели исследование бутилированной воды на ее качество, соответствующему термину «безопасная» [18, 19]. Проверили и ужаснулись. Замеры показали, что на каждый литр того, что попадает в организм человека из пластиковых бутылок, приходится 325 частиц микропластика. Размеры частиц от 6,5 до 100 микрометров (1 микрометр = 10^{-6} м, нанометр = 0,001 мкм), что приблизительно соответствует

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

толщине человеческого волоса. Эта группа ученых показала, что водопроводная вода содержит в 2 раза меньше примесей. Во время эксперимента химики проанализировали состав содержимого 259 отдельных бутылок из 27 разных партий 11 самых известных брендов в мире. Образцы для тестирования закупили в 9 странах Европы, Америки, Африки и Азии. Воду проверяли при помощи спектроскопического анализа FTIR.

Результаты показали, что из всех проверенных бутылок (259 шт.) лишь 17 не содержали следов микропластика. В процентном соотношении это выглядит еще более устрашающе – всего 7 % бутилированной воды. Остальные 93 % содержали 325 частиц пластика на каждый литр [10].

Большая часть микропластика (54 %) оказалась полипропиленом (PP), 11 % – полистиролом (PS), 16 % – нейлоном (NYLON), 10 % – полиэтиленом (PE), 6 % – смесь полиэфира и полиэтилентерефталата (PEST), 3 % – другие включения (азлон, полиакрилаты и сополимеры) [14, 15].

Проведенный авторами данной статьи анализ водопроводной воды городов Приднестровья показал, что она содержит до 4 частиц пластика (иногда и меньше), а бутилированная вода известных украинских брендов содержит свыше 10 микрочастиц пластика.

Загрязнение Мирового океана пластиком. Степень загрязнения Мирового океана постепенно возрастает [10–19]. Способность воды к самоочищению зачастую оказывается недостаточной, чтобы справиться со сбрасываемыми отходами, количество которых постоянно увеличивается.

Роль Мирового океана в жизни человека значительна. Он выполняет средообразующую, промышленную, сырьевую, транспортную и другие функции. Учитывая неограниченные богатства Мирового океана, ученые называют его седьмой экономикой мира сразу после США, Китая, Японии, Германии, Франции и Великобритании. Общую стоимость его ресурсов оценивают в 24 млрд долларов. Но 2/3 океанской экономики зависит от состояния самого океана.

С богатством Мирового океана человечество обращается небрежно и расточительно. Еже-

годно в него сбрасывают более 30 тыс. различных химических соединений, общая масса которых составляет 1,2 млрд т. Но загрязнение его вод пластиковым мусором приобретает катастрофический характер.

Пластмасса является наиболее распространенным элементом, который находится в океане. Это вредно для окружающей среды, поскольку пластмассу морские животные рассматривают как пищу.

Известно, что в отличие от других загрязнителей, пластик не тонет и почти не разлагается, его легко захватывают воды мощнейших течений Земли. Вследствие этого в окрестностях таких течений возникают своеобразные пластиковые свалки – «острова», самой большой из которых является Большое мусорное пятно в северной части Тихого океана. По различным оценкам, общая площадь этого пятна составляет от 700 тыс. до 1,5 млн км², в нем сосредоточено более 100 млн т мусора.

Юный изобретатель из г. Кропивницкого (Украина) Руслан Коптев разработал и сконструировал роботизированную систему для сбора пластикового мусора из водоемов. Фактически робот был создан из подручных материалов и оснащен солнечной батареей, GPS и камерой с датчиком. Проведенные пилотные испытания установки показали ее высокую эффективность. За один день работы роботизированная система может собрать до 20 кг пластикового мусора с поверхности водоема. Сейчас разработчик и его команда пытаются найти средства для налаживания серийного выпуска своего изобретения [9].

По мнению ученых, удалить микропластик из Мирового океана не представляется возможным. Наличие в океане огромной массы микропластика – это новая, малоизвестная угроза для морских экосистем и человеческого организма. В процессе распада пластика получается своего рода суспензия. Многие морские животные и птицы поглощают пластик как часть пищи. Люди легко заражаются, потребляя загрязненные морепродукты, которые могут вызывать серьезные проблемы со здоровьем – от повреждения иммунной системы до рака. Поэтому самым эффективным решением данной проблемы является сокращение пластмассовых отходов.

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

Разные страны решают ее по-своему. Например, в Сингапуре, Бангладеш, о. Тайвань запретили использование пластиковых пакетов. Евросоюз предполагает к 2030 г. запретить одноразовую пластиковую упаковку. Правительства многих стран вводят налоги, мотивируя свое население отказаться от производства и использования пластика. В Украине до настоящего времени проблему загрязнения природных вод пластиком не рассматривали ни на официальном, ни на академическом уровнях.

Несмотря на все усилия законодателей, неправительственных организаций, в океан по-прежнему попадают тысячи пластмассовых отходов [8, 10].

Влияние пластика на здоровье современных потребителей. С появлением одноразовой пластиковой посуды люди стали ее активными пользователями. Проведенные в последние годы исследования показали, что некоторые виды пластика являются опасными, имеют непосредственное пагубное влияние на здоровье потребителей. Прежде чем купить пластиковую посуду, необходимо тщательно изучить значение зашифрованных символов и знаков на ее маркировке.

Пластик – полимерный материал. Самые распространенные полимерные материалы, из которых производят как технический, так и пищевой пластик, – поливинилхлорид (ПВХ), полипропилен, полиэтилен, полистирол, полиэтилентерефталат, поликарбонат. Пластик, который используют для производства изделий, контактирующих с пищей, в первую очередь детского ассортимента, в обязательном порядке исследуют на соответствие санитарно-гигиеническим нормам и сертифицируют. Производитель обязан маркировать свою продукцию.

Маркировка пластиковой посуды и расшифровка маркеров. Значок «рюмка – вилка» – самый главный маркер, свидетельствующий о пригодности пластиковой посуды к контакту с пищевыми продуктами. Если такой значок перечеркнут или отсутствует, пластиковые изделия не предназначены для хранения, использования и употребления из них продуктов питания. Треугольник из трех стрелок – знак вторичной переработки сырья, символизирующий замкнутый цикл: создание → применение →

утилизация. Посуда или упаковка, маркированная данным знаком, пригодна для последующей переработки.

Цифры внутри треугольника говорят о типе переработанного материала: 1–19 – пластик, 20–39 – бумага и картон, 40–49 – металл, 50–59 – древесина, 60–69 – ткани и текстиль, 70–79 – стекло [7, 8].

Выделяют следующие группы пластиков (табл. 1):

1. PET или PETE (ПЭТ) – полиэтилентерефталат. Его используют для изготовления упаковок (бутылок, коробок, банок) для разлива прохладительных напитков, соков, воды. Также этот материал встречается на упаковках для порошков, сыпучих пищевых продуктов.

2. HDPE (ПНД) – полиэтилен высокой плотности низкого давления. Его применяют для изготовления изделий, контактирующих с пищевыми продуктами, игрушек. Этот материал является безопасным для пищевого использования и хранения еды.

3. PVC (ПВХ) – поливинилхлорид. Используют для труб, трубок, садовой мебели, в напольных покрытиях, для оконных профилей, жалюзи, бутылок моющих средств и клеенки. Материал является потенциально опасным для пищевого применения, так как может содержать диоксины, бисфенол А, ртуть, кадмий и другие.

4. LDPE (ПВД) – полиэтилен низкой плотности высокого давления. Из него производят полиэтиленовые пакеты, гнущиеся пластиковые упаковки, изделия для упаковки и укупорки лекарственных средств.

5. PP (ПП) – полипропилен. Его применяют в автомобильной промышленности (оборудование, бамперы), при изготовлении игрушек, в пищевой промышленности, в основном при производстве упаковок. Полипропилен выдерживает высокие температуры, поэтому посуду можно использовать для горячей еды и напитков. Контакт с алкоголем возможен, но нежелателен. Пластиковые одноразовые стаканчики, которые делают из полипропилена, к горячим жидкостям «равнодушны», поэтому вредных веществ при нагревании не выделяют. Но они обладают другим свойством: при контакте с алкоголем или газированными напитками (с любыми сложными химическими соединениями) могут выделять формальдегид или фенол. Из этого следует, что

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

воду пить из такого стакана можно, а вот водку – не стоит. Формальдегид имеет ярко выраженные мутагенные свойства, обладает аллергенным и раздражающим действием. Контакт человеческого организма со средой, содержащей это вещество, может привести к появлению рака дыхательных путей и многих других тяжелейших заболеваний вплоть до лейкоза. К признакам, характерным для отравления формальдегидом через его вдыхание, относят конъюнктивит и прогрессирующий отек легких. Попадание данного вещества в организм через желудочно-кишечный тракт может стать причиной его химического ожога, эрозии, язвы.

6. PS (ПС) – полистирол. Используют при изготовлении плит теплоизоляции зданий, пищевых упаковок, столовых приборов и чашек, другой одноразовой посуды, коробок CD, пеноматериалов, игрушек, ручек. Посуда из полистирола пригодна исключительно для холодных пищевых продуктов и прохладительных напитков, так как при нагревании или контакте с горячим выделяет стирол – высокотоксичное вещество, относящееся к III классу опасности. Стирол служит основой для изготовления полимеризационных пластиков (полистиролов), стеклопластиков, синтетических каучуков, полиэфирных смол. Посуду нельзя применять для горячих продуктов, для разогрева еды в микроволновой печи, а также в качестве емкостей для алкогольных напитков. Например, если налить в стаканчик горячий напиток или положить горячее блюдо в такую пластиковую посуду, их уже нельзя называть безопасными. Тарелки из полистирола часто используют в летних кафе под шашлык, горячий суп и другие продукты. Практически все реакции, которым подвергаются стирол и его гомологи, несут потенциальную угрозу здоровью и жизни людей. Вдыхание его паров грозит многочисленными острыми и хроническими заболеваниями. Длительное попадание стирола в организм человека может приводить к поражению дыхательных путей, раздражению кожи и слизистых оболочек, поражению печени, почек, кровеносной и нервной систем.

7. OTHER или O – прочие. К этой группе относят любой другой пластик без буквенного кода, который не может быть включен

в предыдущие группы. Служит как многослойная упаковка или комбинированный пластик. Например, поликарбонат, который не является токсичным для окружающей среды [15].

Таблица 1

Тайный код пластмасс

Table 1

The secret code of plastics

№ и буквенное обозначение	Название пластмассы	Для чего используют	Что может выделять
	Полиэтилентерефталат	Одноразовые бутылки для воды, газировок, пива, растительных масел	Абсолютно запрещено повторное использование - выделяет фталаты
	Полиэтилен высокой плотности	Упаковки для молока	Может выделять канцерогенный формальдегид
	Поливинилхлорид	Плёнка для заворачивания продуктов	При контакте с горячими или жирными продуктами выделяет канцероген винилхлорид и фталаты
	Полиэтилен низкой плотности	Пакеты и плёнка для заворачивания продуктов	Может выделять канцерогенный формальдегид
	Полипропилен	Стаканы, контейнеры и баночки для продуктов, могут быть белыми, цветными или прозрачными, но слегка мутноватыми	Может выделять канцерогенный формальдегид
	Полистирол	Лотки, стаканы для чая и кофе, предметы, похожие на пенопласт (пенополистирол), и баночки для молочных продуктов (мелкопенный полистирол), контейнеры для еды, вилки, ложки	Может выделять в пищу стирол - канцероген и химический аэрозоль, негативно влияющий на плодородность
	Другие и разные пластмассы, но чаще всего поликарбонат (PC)	Детские бутылки, некоторые бутылки для воды многократного использования	Поликарбонат может выделять бисфенол А. При повторном использовании или при высокой температуре его выделение больше

Посуда из меламина может содержать асбест, который запрещен даже в строительстве.

Согласно некоторым исследованиям последних лет, многократное использование пластиковой посуды или бутылок способствует развитию сердечно-сосудистых заболеваний. Это больше всего относится к поликарбонату. Диэтилгексилфталат и бисфенол А, найденные в пластиковых бутылках и канистрах, могут быть поглощены с едой и вызывать аллергические заболевания, бронхиальную астму, бесплодие, рак молочных желез, предстательной железы, заболевания сердечно-сосудистой системы, нарушение обмена веществ [2, 15].

Одноразовую упаковку нужно использовать только один раз. Нет сведений о том, как реагирует пластик на ингредиенты, для которых он не предназначен. Это относится к жирам и кислотам. Считают, что продукты с большим содержанием сахара и жиры нельзя готовить в пластиковой посуде. Они нагреваются до температуры плавления и деформирования пластмассы. Нужно готовить их в специальной посуде, выдерживающей нагревание до 140, 180 и более градусов. При повторном использова-

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

нии одноразовой пластиковой посуды повреждается ее внешний защитный слой, и начинают выделяться канцерогенные вещества – формальдегид, фенол, кадмий, свинец. Не стоит пить из одноразовых пластиковых стаканов спиртное. В любом пластике содержатся токсичные вещества, которые в обычных холодных напитках не растворяются, но не выдерживают химической атаки алкоголя. В домашних условиях целесообразно сразу снимать с продуктов упаковочную пленку, срезать верхний слой с продуктов, хранящихся в пластиковой упаковке. Недопустимо использовать одноразовую упаковку для хранения продуктов, нужно держать еду в стеклянной и керамической посуде, покупать детское питание только в стеклянной или картонной упаковке. Важно не использовать для детского питания пластиковую посуду. Не следует разогревать в микроволновой печи пищу в пластиковой посуде и держать подолгу воду в кувшинных фильтрах. Помутневший пластиковый кувшин для воды необходимо выбрасывать. Также одноразовая упаковка не предназначена для мытья, так как результат может быть непредсказуем. Вместо пластиковой посуды целесообразно использовать посуду из бумаги, которая экологически безопасна и безвредна для организма [15].

Пластиковые бутылки и прочую тару создают по заданным параметрам и для определенных ситуаций при использовании (рис. 1). К примеру, в бутылку из-под молока лучше не заливать соки, тем более спиртные напитки. Большую роль в производстве пластика играет порядочность его производителя, который может экономить на качестве и экологичности, а также на температурном режиме.

При нагревании и контакте с водой пластик выделяет различные вредные токсичные соединения, которые, попадая в организм человека, подтачивают его здоровье, накапливаются и вызывают различные заболевания.

Исследования показали, что 80 % вредных веществ пластика в организме человека попадают:

- из строительных и отделочных материалов (гидроизоляции, обоев, утеплителей, предметов быта и др.);
- из пластиковых окон, мебели, бытовой техники;
- из пластиковой посуды – больше всего.

Особенно вредно использование ставших сейчас модными пластиковых контейнеров, так как в них зачастую хранят и разогревают пищу в микроволновых печах. Именно при таком использовании – нагревании и контакте с водой и пищей – идет образование и выделение токсичных веществ и ядов, которые попадают в организм.

Технический и пищевой пластик производят из поливинилхлорида (ПВХ), полипропилена, полиэтилена, полистирола и поликарбоната. Все пластмассовые изделия со временем стареют (изменяются), выделяя продукты разрушения. Например, ПВХ со временем начинает выделять вредное канцерогенное вещество – винилхлорид.

Вредное вещество из ПВХ начинает выделяться через неделю после того, как в пластиковую посуду залили содержимое. Через месяц в минеральной воде скапливается несколько миллиграммов винилхлорида (онкологи считают, что это очень много).

Австралийские ученые провели эксперимент и обнаружили бисфенол А у 95 % обследуемых добровольцев. Причем среди подопытных были дети и беременные женщины. Попало данное вещество в мочу, скорее всего, именно из бутылкированной воды. При нагревании даже немного выше комнатной температуры начинается активное перемещение токсических молекул из пластиковой бутылки в жидкость, которой она наполнена. Понятно, что в жару более 30° такая вода становится отравленной, в том числе и бисфенолом А. Этот компонент отрицательно влияет на щитовидную железу, ЦНС, провоцирует неспособность иметь детей, гипертонию, ожирение и диабет [8, 10].

В нашей стране есть еще одна существенная опасность – повторное использование баклажек. Из PVC-бутылок выделяется токсичный хлорвинил. Эксперты считают, что бутылочный пластик сохраняет нейтральность только в отсутствие кислорода, пока вода сохраняет свой первоначальный химический состав. Как только бутылку открывают, вода и пластик быстро меняют свои свойства.

Пользоваться посудой из меламин (формальдегида) крайне опасно. Для прочности посуды в нее добавляют асбест, который запрещен даже в строительстве, не то что в изготовлении

ЭКОЛОГИЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

посуды. Формальдегид и асбест очень вредны и могут вызвать рак. Рисунок на такой тарелке тоже вреден. На меламин нельзя нанести безвредный краситель – держаться не будет. Поэтому используют краски, содержащие тяжелые металлы, например, свинец. Всего несколько раз разогрев в такой посуде супчик, можно заработать раковую опухоль [8, 10].

Производители продуктов быстрого приготовления также часто пользуются полистирольной упаковкой (стаканчик, пакетик, миска). Лотки с замороженными готовыми блюдами, в которых их можно разогревать, могут потерять необходимую термостойкость после того, как подверглись глубокому охлаждению.

В пластмассовых емкостях нельзя хранить кислые продукты, капусту, солить огурцы и другие овощи. Мыть их горячей водой – тоже.



Рис. 1. Маркировка биоразлагаемых пластиков

Fig. 1. Marking of biodegradable plastics

Политика в области управления пластиковыми отходами устарела и угрожает здоровью людей и живой природе, как сообщают эксперты Челси М. Рокман, Марк Энтони Брауни и др. [16].

Большая часть пластика опасна сама по себе в химическом контексте – она может быть токсичной в определенных условиях либо сама адсорбировать вредные вещества. Но в США, Европе, Австрии, Японии, а также в Украине пластиковые отходы все еще классифицируют как ТБО, и поэтому с ними обращаются, как с пищевыми отходами или, например, как со скошенной травой.

Мы верим: если страны классифицируют пластиковые отходы как опасные, агентства по охране окружающей среды сумеют восстановить ареалы обитания и предотвратить накопленные опасных отходов [3, 17, 19]. В конечном итоге, подобный шаг может подхлестнуть исследования в области новых полимеров и заменить пластик более безопасными материалами.

С загрязнениями окружающей среды, в частности воды, борются по-разному. Некоторые вводят запрет на продажу бутилированной воды на законодательном уровне, например, в г. Банденун (Австралия) или г. Конкорд (США) [18].

Швейцария отправляет на повторную переработку практически 100 % отходов [19]. Система сортировки мусора здесь доведена до абсолюта, а некоторым может показаться, что даже до абсурда. При этом такая система не знает исключения – все обязаны раскладывать мусор по разным контейнерам. Кто не согласен – платит штраф. В Швейцарии существует так называемая экологическая полиция, которая с помощью современных технологий отслеживает и штрафует нарушителей.

В Украине тоже принята система сортировки мусора, но для этого не созданы условия: нет контейнеров для разных отходов, никто не ведет мониторинг сортировки отходов; не перерабатывают отходы, а если и перерабатывают, то не более 4–10 % в зависимости от региона и т. д.

Среднестатистический взрослый человек использует девять продуктов в день, содержащих 126 различных химических веществ [5]. Мытье рук, купание, душ, стирка, мытье посуды, использование туалета – независимо от того, с какой целью мы используем воду, она несет загрязняющие вещества в слив. Если эта вода поступает в муниципальную систему очистки сточных вод, она в конечном итоге оказывается в водоеме (реке, озере и т. д.), который, как правило, является источником питьевой воды.

«Это закон жизни: практически всегда вода, стекающая в канализацию, содержит загрязняющие вещества (в том числе и пластик. –Примечание наше), которые в конце концов попадают в чью-то питьевую воду», – говорит Питер С. Картрайт [4]. Он является обладателем

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

двух наград, в том числе от Ассоциации качества воды США, техническим консультантом Канадской ассоциации качества воды. Что можно предложить? «Индивидуальная практика. Очевидно, что все мы можем (и должны) стать персональными управляющими нашей окружающей среды», – говорит далее Питер Картрайт [4]. Это уделение большого внимания тому, что мы бросаем в канализацию, а также нашему общему использованию воды. Есть свидетельства того, что люди становятся более осведомленными относительно отходов в целом и более внимательными, например, утилизации пластика и фармацевтических продуктов. Все больше потребителей выбрасывают их в мусор, а не в туалет. И этот процесс набирает обороты, хотя и очень медленно. В производственной и сельскохозяйственной отраслях происходит постепенная смена парадигмы: тенденции к экономии воды, а также к восстановлению и повторному использованию сточных вод.

«Для питья и приготовления пищи мы на самом деле потребляем только один процент того, что входит в наш дом. Если этикетки производителей бутилированной воды подтверждают, что продукт прошел обратноосмотическую или дистилляционную очистку, этот продукт должен быть приемлемым. Но не забывайте, что использование при производстве тары для бутилированной воды БФА- и БФС-пластика создает проблемы», – продолжает Питер Картрайт [4].

Научная новизна и практическая значимость

В работе обобщены имеющиеся и представлены новые методы и технологии очистки воды от пластика, такие как: процеживание на различных сооружениях (механические методы), флотационные, мембранные и обратноосмотические системы, мембранные биореакторы (физико-химические и комбинированные методы). Как второй путь снижения количества пластика в воде предложено запрещение его изготовления или создание био-разлагаемого пластика.

Для решения проблемы – очистки воды от пластика – есть много путей, но они сводятся в основном к двум: первый – это создание новых видов пластмасс и материалов, разлагающихся в природе и невредных для всего живого;

второй – совершенствование действующих и создание новых эффективных методов и технологий для очистки воды от пластика.

На телеканалах Украины стали часто обсуждать вопросы, связанные с запретом на выпуск пластиковых пакетов. Для Европы и США в последнее время более характерен гражданский тренд – добровольный отказ покупателей от бутилированной воды и переход на фильтрованную воду в собственных бутылках многократного использования. Фильтрованная водопроводная вода (доочищенная) с развитием технологий перестала уступать бутилированной, очищенной на производстве, в качестве, но обладает более низкой стоимостью. Денежный фактор, как обычно, решает многое [4, 18].

Для очистки воды от пластика мы предлагаем механические и физико-химические методы, а также их комбинации (рис. 2).

Физический метод дистилляции возможен для небольших расходов воды. Процеживание на канализационных станциях Украины и других стран осуществляют на решетках с прозорами не более 16 мм (согласно СНиП) со стержнями прямоугольной или другой формы. Такой прозор на решетках не позволяет улавливать пластик размером в человеческий волос, поэтому мы перешли на более мелкую величину прозора – 10 мм и менее.

Для улавливания тонких частиц пластика мы предлагаем осуществлять процеживание на вибрационных грохотах, на которых устанавливают целевидные сита (рис. 3) с размерами отверстий 0,25–0,1 мм. Такие грохоты широко применяют в горнорудной и угольной промышленности для обезвоживания концентрата на обогатительных фабриках. Для повышения эффективности извлечения пластика можно устанавливать многоступенчатое процеживание (2 и более ступени) на грохотах. Оно позволяет улавливать частицы пластика с размерами от 0,1 мм до 30 мкм и меньше. Фильтрация, но уже как доочистка, может быть осуществлена через слой разработанного нами специального зернистого материала. Он позволяет задерживать загрязнения в воде, в том числе и пластик с размерами меньше 30–40 мкм.

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

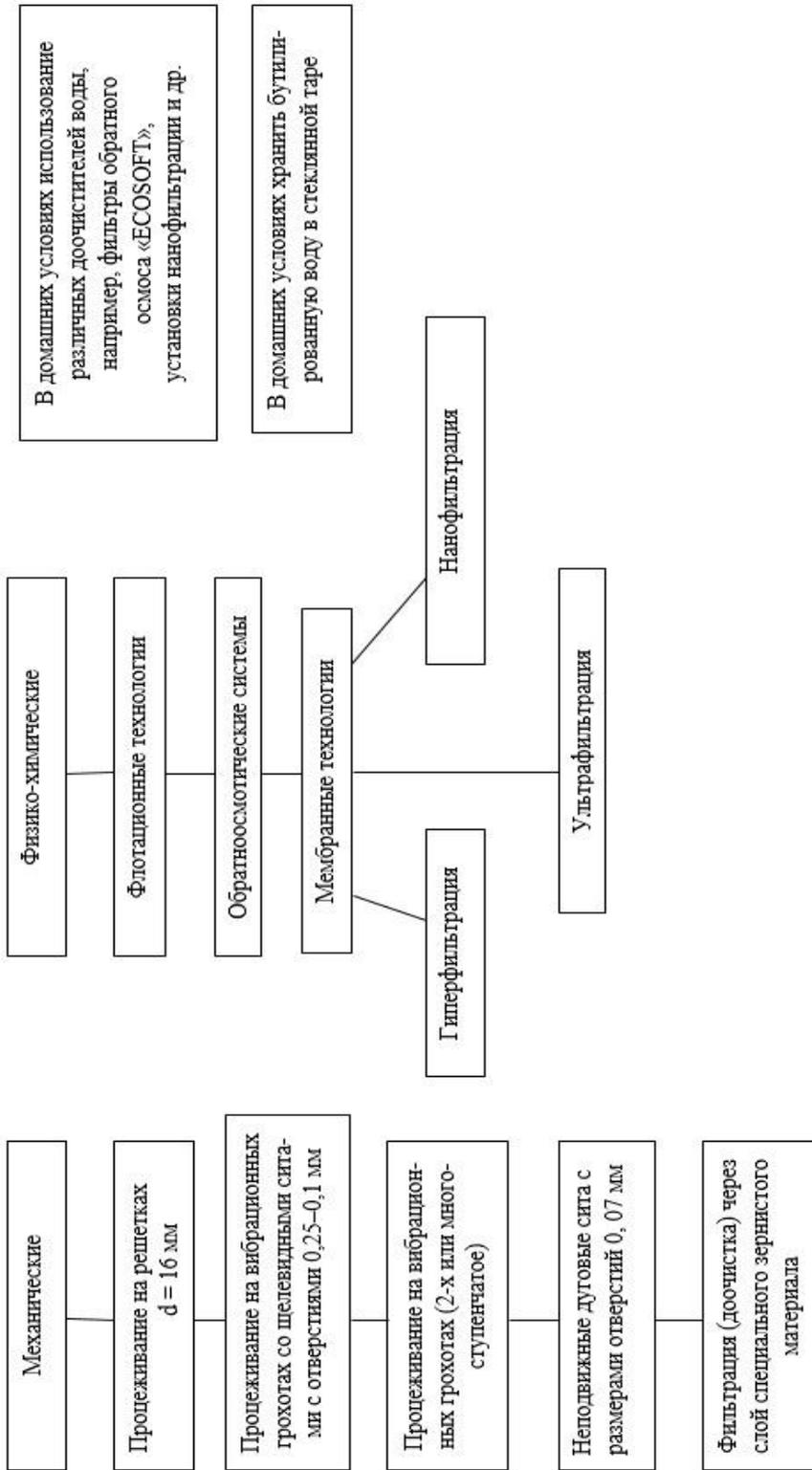


Рис. 2. Методы очистки воды от пластика, разработанные в Днепропетровском национальном университете железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна

Fig. 2. The methods of water cleaning from plastic developed at the Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

Обратный осмос становится возможным при использовании полупроницаемых мембран, которые свободно пропускают воду, и в тоже время задерживают 90–99 % всех растворенных неорганических соединений, 95–99 % органических веществ и 100 % мельчайших коллоидных и пластиковых примесей, бактерий, вирусов и т. д.

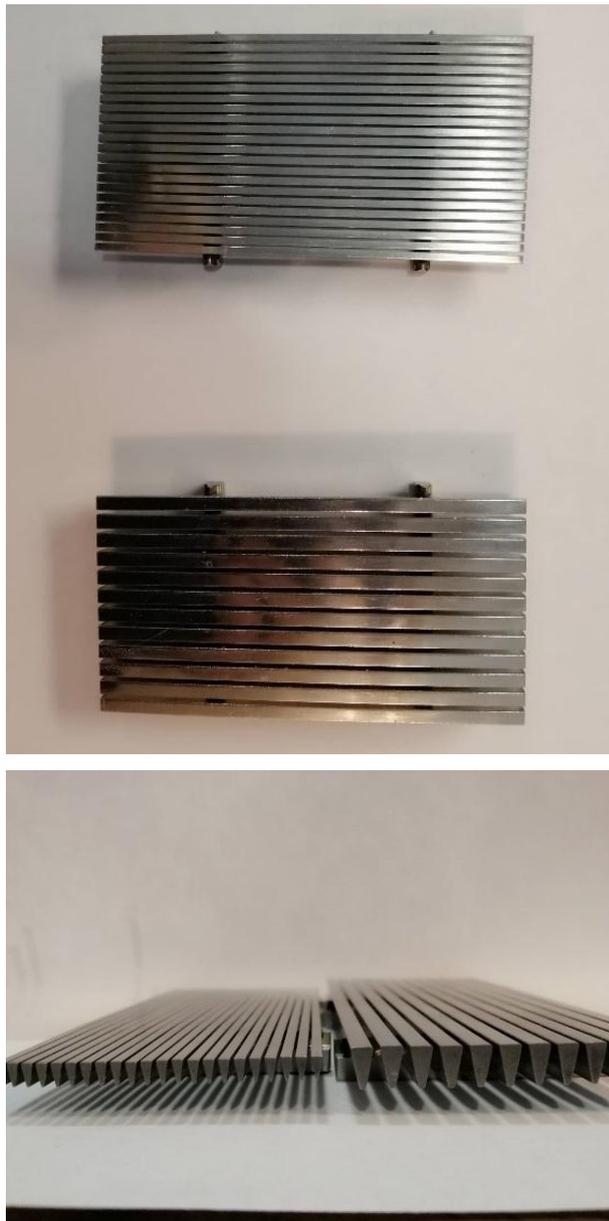


Рис. 3. Щелевидные сита

Fig. 3. Slotted screens

Нанофильтрация – это баромембранный процесс разделения веществ (рабочее давление – 1–2 МПа) с молекулярной массой до 300–500 Да. Нанофильтрационные мембраны имеют отверстия нанометрического диаметра (1–3 нм). Они задерживают электролиты (NaCl на 40–60 %) и практически полностью (98–99,9 %) органические соединения (спирты, сахар, пестициды, пластик и др.). Микрофильтрация – это барометрический процесс, который применяют для отделения из раствора взвешенных и коллоидных частиц размером 0,1–10 мкм, в том числе и пластмассовых частиц (рабочее давление 0,01–0,05 МПа).

Ультрафильтрация – это процесс баромембранного разделения, а также концентрирования и фракционирования растворов высокомолекулярных соединений (рабочее давление 0,05–0,5 МПа). Этот процесс, в отличие от обратного осмоса, применяют для разделения систем, в которых молекулярная масса растворенных компонентов намного больше, чем молекулярная масса растворяемого (воды). На практике ультрафильтрацию используют тогда, когда хотя бы один из компонентов раствора имеет молекулярную массу свыше 500 Да (пластик и др.).

Флотация основывается на разной степени смачиваемости водой различных веществ. Суть процесса состоит в том, что частицы пластика прилипают к пузырькам воздуха (газа) и который выносит их на поверхность аппарата, где они образуют пену. Оптимальные размеры частиц пены – 10^{-5} – 10^{-3} м.

Выводы

Как видим из анализа исследований последний лет, многие экосистемы земного шара загрязнены большим количеством пластмассовых изделий.

Для уменьшения загрязнения вод и окружающей среды в Украине нужны комплексные решения:

- прекращение выпуска неразлагаемого пластика;
- переход на биоразлагаемый пластик;
- сортировка твердых бытовых отходов и их переработка;

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

– сокращение пластмассовых отходов;
– переход на новые методы утилизации пластика;
– ввод налога на пластик, как это делают правительства многих стран, мотивируя свое население отказаться от производства и использования пластика.

Резюмирующие выводы по водному хозяйству Украины:

– необходима экономия воды;
– реконструкция предприятий по производству питьевой воды с использованием методов очистки от пластика и новых методов обеззараживания (озонирование, УФ-обеззараживание и др.);
– переход на многоразовую стеклянную тару для питьевой воды;
– увеличение объёма используемой воды из альтернативных источников – шахт, морей и др.;

– реконструкция станций очистки сточных вод;
– восстановление и повторное использование сточных вод;
– использование дождевых и сточных вод для непищевых примесей;
– применение локальных систем везде, где это возможно, как для доочистки, так и для подготовки воды.

Сознательно не упоминаем два наиболее радикальных и правильных, но в тоже время утопических путей – совершенствование технологии централизованной водоподготовки и восстановление водопроводных сетей; изыскание финансирования и поиск отечественных и иностранных инвесторов для реконструкции и совершенствования предприятий водного хозяйства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бортников, В. Г. Основы технологии и переработки пластических масс : учеб. пособие для вузов / В. Г. Бортников. – Ленинград : Химия, 1983. – 304 с.
2. Водные хроники: Научные новости // Вода и водные технологии. – 2017. – № 3 (85). – С. 40–41.
3. Долина, Л. Ф. Очистка вод от остатков лекарственных препаратов / Л. Ф. Долина, О. П. Савина // Наука та прогрес транспорту. – 2018. – № 3 (75). – С. 36–51. doi: 10.15802/stp2018/134675
4. Картрайт, П. С. Новые проблемы загрязнения питьевой воды / П. С. Картрайт // Вода и водоочистные технологии. – 2018. – № 1 (87). – С. 4–13.
5. Кузина, Л. В. Загрязнение мирового океана бытовым мусором / Л. В. Кузина, В. И. Тевризова // Сахаровские чтения 2018 года: экологические проблемы XXI века : материалы 18-й Междунар. науч. конф. (17–18 мая 2018 г., Минск, Республика Беларусь) : в 3 ч. / Междунар. гос. экол. ин-т им. А. Д. Сахарова Бел. гос. ун-та. – Минск, 2018. – Ч. 1. – С. 61–63.
6. Кунай, В. А. Пластик – угроза цивилизации / В. А. Кунай, В. В. Шумак // Научная дискуссия современной молодёжи: актуальные вопросы, достижения и инновации : сб. ст. II Междунар. науч.-практ. конф. (Пенза, 17 дек. 2017 г.) : в 2 ч. – Пенза, 2017. – Ч. 1. – С. 13–16.
7. Масанов, А. Ю. Биоразлагаемые пластики: текущее состояние рынков и перспективы / А. Ю. Масанов // Вестник химической промышленности. – 2017. – № 3 (96). – С. 42–45.
8. Мийченко, И. П. Технология полуфабрикатов полимерных материалов / И. П. Мийченко. – Санкт-Петербург : НОТ, 2012. – 374 с.
9. Прокофьева, Е. С. Пластик и его влияние на здоровье современных потребителей / Е. С. Прокофьева, М. Н. Махонько, Н. В. Шкрובה // Бюллетень медицинских Интернет-конференций. – 2013. – Т. 3, вып. 11. – С. 1176–1178.
10. Светлейшая, Е. М. Вода в пластике и пластик в воде / Е. М. Светлейшая // Вода и водоочистные технологии. – 2017. – № 3 (85). – С. 4–8.
11. Accumulation of Microplastic on Shorelines Worldwide: Sources and Sinks / M. A. Browne, P. Crump, S. J. Niven, E. Teuten, A. Tonkin, T. Galloway, R. Thompson // Environmental Science & Technology. – 2011. – Vol. 45. – Iss. 21. – P. 9175–9179. doi: 10.1021/es201811s
12. Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy: Release of plastic particles from different packaging into mineral water / D. Schymanskiab, C. Goldbecka, H.-U. Humpf, P. Fürst // Water Research. – 2018. – Vol. 129. – P. 154–162. doi: 10.1016/j.watres.2017.11.011

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

13. Ingested Microscopic Plastic Translocates to the Circulatory System of the Mussel, *Mytilus edulis* (L) / M. A. Browne, A. Dissanayake, T. S. Galloway, D. M. Lowe, R. C. Thompson // *Environmental Science & Technology*. – 2008. – Vol. 42. – Iss. 13. – P. 5026–5031. doi: 10.1021/es800249a
14. Lithner, D. Environmental and health hazard ranking and assessment of plastic polymers based on chemical composition / D. Lithner, A. Larsson, G. Dave // *Science of the Total Environment*. – 2011. – Vol. 409. – Iss. 18. – P. 3309–3324. doi: 10.1016/j.scitotenv.2011.04.038
15. Mason, S. A. Synthetic Polymer Contamination in Bottled Water [Електронний ресурс] / S. A. Mason, V. G. Welch, J. Neratko // *Frontiers in Chemistry*. – 2018. – Vol. 6. – Режим доступу: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fchem.2018.00407/full> – Загл. с екрана. – Проверено : 03.05.2019. doi: 10.3389/fchem.2018.00407
16. Policy: Classify plastic waste as hazardous / C. M. Rochman, M. A. Browne, B. S. Halpern, B. T. Hentschel, E. Hoh, H. K. Karapanagioti, L. M. Rios-Mendoza, H. Takada, S. Teh, R. C. Thompson // *Nature*. – 2013. – Vol. 494. – Iss. 7436. – P. 169–171. doi: 10.1038/494169a
17. Renner, G. Analytical methodologies for monitoring micro(nano)plastics: Which are fit for purpose? / G. Renner, T. C. Schmidt, J. Schram // *Current Opinion in Environmental Science & Health*. – 2018. – Vol. 1. – P. 55–61. doi: 10.1016/j.coesh.2017.11.001
18. Sharma, S. Microplastic pollution, a threat to marine ecosystem and human health: a short review / S. Sharma, S. Chatterjee // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2017. – Vol. 24. – Iss. 27. – P. 21530–21547. doi: 10.1007/s11356-017-9910-8
19. Water reality in Ukraine and worldwide / L. F. Dolina, P. B. Mashykhina, A. A. Karpo, A. A. Mishchenko // *Наука та прогрес транспорту*. – 2017. – № 5 (71). – С. 7–18. doi: 10.15802/stp2017/113695

Л. Ф. ДОЛІНА^{1*}, О. П. САВІНА^{2*}, Д. А. ДОЛІНА^{3*}

^{1*}Каф. «Гідравліка та водопостачання», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 273 15 09, ел. пошта water.supply.treatment@gmail.com, ORCID 0000-0001-6082-7091

^{2*}Каф. «Гідравліка та водопостачання», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 273 15 09, ел. пошта savina.o.p@gmail.com, ORCID 0000-0001-7872-6416

^{3*}Головне управління Державної фіскальної служби (ДФС) України, вул. Шолуденка, 33, Київ, Україна, 04116, тел. +38 (050) 164 22 32, ел. пошта aogni06@gmail.com, ORCID 0000-0002-2962-2722

ОЧИЩЕННЯ ВОД ВІД ПЛАСТИКУ

Мета. Основна мета статті – проаналізувати наявність у воді України та світу пластику, а також на основі світового і власного досвіду запропонувати методи очищення вод від пластику. **Методика.** Дослідження виконані на підставі аналізу наукових зарубіжних і вітчизняних літературних джерел про наявність пластику у воді України, європейських країн, США (1999–2018 рр.). **Результати.** Вивчені джерела свідчать, що однією з основних екологічних загроз світового масштабу є наявність пластику в питній і стічних водах. Очисні споруди світу недостатньо пристосовані для виявлення й уловлювання пластику. Автори представляють результати комплексного розгляду питань, пов’язаних із визначенням наявності пластику в різних водах, його розмірами й концентраціями, матеріалами для його виготовлення. Були проведені дослідження з визначення вмісту пластика в питній водопровідній воді міст Дніпра і Запоріжжя. Наприклад, у питній воді з-під крана міститься від 4 до 10 часток пластику на літр води, розмір яких перевищував 100 мікрон, тобто середню товщину людської волосини. А в бутильованій воді відомих торгових марок «Моршинська» та «Buvette» міститься від 49 до 102 часток пластику на літр води. **Наукова новизна.** У роботі узагальнені наявні й представлені нові методи й технології очищення води від пластику, такі як: проціджування на різних спорудах (механічні методи), флотажні, мембранні й зворотноосмотичні системи, мембранні біореактори (фізико-хімічні й комбіновані методи). Як другий шлях зниження кількості пластику у воді запропоновано заборону його виготовлення або створення біорозкладаного пластику, здатного біологічно руйнуватися. **Практична значимість.** З огляду на поширеність споживання бутильованої води по всьому світу, результати дослідження підтверджують необхідність подальших досліджень впливу мікро- і нанопластів на здоров’я людини.

Ключові слова: забруднення вод пластиком; бутильована вода; забруднення океану; методи очищення вод від пластику

L. F. DOLINA^{1*}, O. P. SAVINA^{2*}, D. A. DOLINA^{3*}

^{1*}Dep. «Hydraulics and Water Supply», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 273 15 09, e-mail water.supply.treatment@gmail.com, ORCID 0000-0001-6082-7091

^{2*}Dep. «Hydraulics and Water Supply», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 273 15 09, e-mail savina.o.p@gmail.com, ORCID 0000-0001-7872-6416

^{3*}Main Department of the State Fiscal Service (SFS) in Ukraine, Sholudenko St., 33, Kyiv, Ukraine, 04116, tel. +38 (050) 164 22 32, e-mail aogni06@gmail.com, ORCID 0000-0002-2962-2722

CLEANING WATER FROM PLASTIC

Purpose. The main purpose of the article is to analyze the presence of plastic in the water of Ukraine and the world, as well as to suggest the methods for purifying water from plastic on the basis of the world and personal experience. **Methodology.** The studies were carried out on the basis of the analysis of scholarly domestic and foreign literature sources on the presence of plastic in the water of Ukraine, European countries, and the USA (1999–2018). **Findings.** The analyzed sources indicate that one of the main environmental threats of global scale is the presence of plastic in drinking and waste waters. The wastewater treatment facilities of the world are not sufficiently adapted to detect and trap plastic. The authors present the results of a comprehensive consideration of the issues related to the determination of the presence of plastic in various waters, their size and concentrations, and manufacturing materials. Plastic, entering the body of people, especially children, animals, sea fish, etc., has a negative influence on their health. Studies have been conducted to determine the content of plastic in drinking tap water in the cities of Dnipro and Zaporozhye. For example, drinking water from the tap contains from 4 to 10 particles of plastic per liter of water, the size of which exceeded 100 microns, that is, the average thickness of a human hair. And in bottled water of well-known trademarks «Morshinska» and «Buvette» contains from 49 to 102 particles of plastic per liter of water. **Originality.** The paper summarizes the existing and presents new methods and technologies for cleaning water from plastic, such as: filtering on various facilities (mechanical methods), flotation, membranous and reverse-osmotic systems, membrane bioreactors (physical-chemical and combined methods). As a second way to reduce the amount of plastic in water, it is proposed to create biodegradable plastics or prohibit their manufacture. **Practical value.** Given the prevalence of bottled water consumption worldwide, the results of this study confirm the need for further research on the effects of micro and nanoplastics on human health.

Keywords: plastic water pollution; bottled water; ocean pollution; plastic water cleaning methods

REFERENCES

1. Bortnikov, V. G. (1983). *Osnovy tekhnologii i pererabotki plasticheskikh mass: uchebnoe posobie dlya vuzov*. Leningrad: Khimiya. (in Russian)
2. Vodnye khroniki: Nauchnye novosti. *Voda i vodnye tekhnologii*, 3(85), 40-41. (in Russian)
3. Dolina, L. F., & Savina, O. P. (2018). Water cleaning from residues of medicinal preparations. *Science and Transport Progress*, 3(75), 36-51. doi: 10.15802/stp2018/134675 (in Russian)
4. Kartrayt, P. S. (2018). Novye problemy zagryazneniya pitevoy vody. *Voda i Vodoochistnye Tekhnologii*, 1(87), 4-13. (in Russian)
5. Kuzina, L., & Tevrizova, V. (2018). *Pollution of the world ocean by household waste. Sakharov readings 2018: environmental problems of the XXI century: Materialy 18-y mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii (17–18 maya 2018 g., Minsk, Respublika Belarus)* (Vol. 1-3). Minsk: Mezhdunarodnyy gosudarstvennyy ekologicheskiy institut imeni A. D. Sakharova Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. (in Russian)
6. Kunay, V. A., & Shumak, V. V. (2017). *Plastik – ugroza tsivilizatsii. Nauchnaya diskussiya sovremennoy molodezhi: aktualnye voprosy, dostizheniya i innovatsii: sbornik statey II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (Penza, 17 dekabrya 2017 g.)* (Vol. 1-2). Penza. (in Russian)
7. Masanov, A. Y. (2017). Biorazlagaemye plastiki: tekushchee sostoyanie rynkov i perspektivy. *Vestnik khimicheskoy promyshlennosti*, 3(96), 42-45. (in Russian)
8. Miychenko, I. P. (2012). *Tekhnologiya polufabrikatov polimernykh materialov*. St. Petersburg: NOT. (in Russian)
9. Prokofeva, Y. S., Makhonko, M. N., & Shkrobova, N. V. (2013). Plastik i ego vliyanie na zdorove sovremennykh potrebiteley. *Bulletin of medical internet conferences*, 3(11), 1176-1178. (in Russian)

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

10. Svetleyshaya, Y. M. (2017). Voda v plastike i plastik v vode. *Voda i Vodoочистnye Tekhnologii*, 3(85), 4-8. (in Russian)
11. Browne, M. A., Crump, P., Niven, S. J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., & Thompson, R. (2011). Accumulation of Microplastic on Shorelines Woldwide: Sources and Sinks. *Environmental Science & Technology*, 45(21), 9175–9179. doi: 10.1021/es201811s (in English)
12. Schymanski, D., Goldbeck, C., Humpf, H.-U., & Fürst, P. (2018). Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy: Release of plastic particles from different packaging into mineral water. *Water Research*, 129, 154-162. doi: 10.1016/j.watres.2017.11.011 (in English)
13. Browne, M. A., Dissanayake, A., Galloway, T. S., Lowe, D. M., & Thompson, R. C. (2008). Ingested Microscopic Plastic Translocates to the Circulatory System of the Mussel, *Mytilus edulis* (L.). *Environmental Science & Technology*, 42(13), 5026-5031. doi: 10.1021/es800249a (in English)
14. Lithner, D., Larsson, Å., & Dave, G. (2011). Environmental and health hazard ranking and assessment of plastic polymers based on chemical composition. *Science of the Total Environment*, 409(18), 3309-3324. doi: 10.1016/j.scitotenv.2011.04.038 (in English)
15. Mason, S. A., Welch, V. G., & Neratko, J. (2018). Synthetic Polymer Contamination in Bottled Water. *Frontiers in Chemistry*, 6. Retrieved from <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fchem.2018.00407/full> doi: 10.3389/fchem.2018.00407 (in English)
16. Rochman, C. M., Browne, M. A., Halpern, B. S., Hentschel, B. T., Hoh, E., Karapanagioti, H. K., ... Thompson, R. C. (2013). Policy: Classify plastic waste as hazardous. *Nature*, 494(7436), 169-171. doi: 10.1038/494169a (in English)
17. Renner, G., Schmidt, T. C., & Schram, J. (2018). Analytical methodologies for monitoring micro(nano)plastics: Which are fit for purpose? *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 1, 55-61. doi: 10.1016/j.coesh.2017.11.001 (in English)
18. Sharma, S., & Chatterjee, S. (2017). Microplastic pollution, a threat to marine ecosystem and human health: a short review. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(27), 21530-21547. doi: 10.1007/s11356-017-9910-8 (in English)
19. Dolina, L. F., Mashykhina, P. B., Karpo, A. A., & Mishchenko, A. A. (2017). Water reality in ukraine and worldwide. *Science and Transport Progress*, 5(71), 7-18. doi: 10.15802/stp2017/113695 (in English)

Поступила в редколлегию: 14.11.2018

Принята к печати: 20.03.2019