

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Архитектурно-строительный институт

(наименование института полностью)

Центр инженерного оборудования

(наименование)

08.04.01 Строительство

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Водоснабжение городов и промышленных предприятий

(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

на тему «Очистка поверхностных источников водоснабжения
от микропластика»

Студент

К.С. Климушко

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

док.техн.наук, профессор, В.А. Селезнев

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти, 2021

Оглавление

Введение.....	4
Глава 1 причины и последствия загрязнения пластиком водной среды	9
1.1 Термины и определения элементов загрязнения объекта исследования	9
1.2 Исследования Гринпис	10
1.3 Исследования международного общества экологической экономики..	11
1.4 Исследования движения «Зелёный пояс».....	16
1.5 Исследования Аделаидского университета.....	19
1.6 Влияние загрязнения пластиком на водоросли.....	23
1.7 Загрязнение морей и океанов через реки.....	25
1.8 Структура и состав наиболее часто встречающихся пластмасс	31
1.9 Исследование Всемирного фонда дикой природы	35
1.10 Загрязнение микропластиком	38
Глава 2 методы и технологии очистки воды от пластика	45
2.1 Анализ загрязнения водоёмов пластиком.....	45
2.1.1 Физические свойства полимеров, необходимые для выбора методов их удаления из воды	46
2.1.2 Классификация полимеров	47
2.2 Основные типы пластика	48
2.2.1 Полиэтилен.....	50
2.2.2 Полиэтилентерефталат.....	52
2.2.3 Ацетилцеллюлоза	54
2.2.4 Полипропилен	55
2.3 Способы борьбы с загрязнением водоемов пластиковыми отходами...	57
2.3.1 Сокращение промышленных и бытовых выбросов	58
2.3.2 Административная поддержка и повышение осведомленности всех заинтересованных сторон	59
2.3.3 Альтернативные проекты по очистке океанов	59
2.3.4 Решение в руках граждан.....	61

2.3.5 Альтернатива пластику	61
Глава 3 схема водоподготовки с ультрафильтрацией	65
3.1 Теоретические основы процесса ультрафильтрации	66
3.2 Схемы компоновки системы ультрафильтрации	70
3.3 Технологическая схема ультрафильтрационной установки.....	73
3.4 Процесс ультрафильтрации	75
3.4.1 Мембраны ультрафильтрации	79
3.4.2 Работа установки в режиме фильтрации	82
3.5 Элементы технологической схемы водоочистки.....	84
3.5.1 Фильтры засыпного типа	84
3.5.2 Механическое барабанное сито	86
3.5.3 Механический барабанный фильтр из нержавеющей стали.....	88
3.5.4 Дисковый механический фильтр	89
3.5.5 Сорбционные фильтры.....	90
3.5.6 Микрофильтрация	94
3.6 Итоговые показатели применение технологии ультрафильтрации	96
Заключение	100
Список используемых источников.....	101

Введение

Согласно докладу Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), опубликованному 22 августа 2019 года, в настоящее время установлено «безопасное» количество микропластика в питьевой воде. Но по мере того, как количество его растёт риск загрязнения становится всё более ощутимым. В частности, потребители морской продукции проглатывают до 11000 микрочастиц пластика каждый год, и учитывая недостаточность исследований по этому вопросу, это утверждение может вскоре откорректировать. До 1% этих микрочастиц поглощается человеческим организмом. Крошечные синтетические и не биоразлагаемые полимеры, микропластики накапливаются в почвах, в толще воды, на её поверхности, а также в подземных источниках. ВОЗ считает допустимым воздействие микропластика в питьевой воде на здоровье человека. Хотя их влияние на здоровье человека еще не четко установлено, но однозначно они вошли в пищевую цепочку и влияют на живые организмы. Кроме того, к этой обнадеживающей оценке следует сделать предостережение, т.к. эта тема сегодня остается плохо документированной.

Большинство потребительских товаров, используемых сегодня, состоит из пластика той или иной формы. Ежегодно во всем мире производится почти 280 миллионов тонн пластмасс, большая часть которых попадает на свалки или в океаны [31]. Хотя пластмассы легкие, недорогие и долговечные, эти же качества могут сделать их очень вредными для природы, особенно когда они переносятся через воду. Пластмассы, попавшие в водоёмы, скорее всего, будут циркулировать в одном из пяти основных круговоротов океана: двух в Тихом океане, одном в Индийском и двух в Атлантическом. Эти океанические мусорные локации - не сплошные острова из пластика; вместо этого они представляют собой мутную смесь пластмасс. Недавние исследования, проведенные на поверхности Великих озер, выявили аналогичные проблемы [29]. Растущее беспокойство вызывает то, что как только пластмассы

попадают в дикую природу, они могут вызвать запутывание, смерть от проглатывания и перенос инвазивных видов.

Совместные исследования факультетов биоинженерных технологий и ветеринарной медицины, проведенные в университете Гента (Universiteit Gent), Бельгия, выделяют три, наиболее опасные составляющие, загрязнение пластиком: риск проглатывания, химический риск и риск агломерированных бактерий. Есть опасения, что риск поглощения очень мелких частиц (наночастиц) выше, чем в настоящее время задокументировано. Прежде всего, если выбросы пластмасс продолжатся нынешними темпами, риск для водных экосистем будет значительно выше, что однозначно приведет к увеличению опасности для здоровья человека. Пластиковый мусор уже ежегодно убивает более 1 миллиона морских птиц и более 100 000 морских млекопитающих, и, по оценкам, к 2050 году 99% морских животных будут проглатывать пластик.

Кроме того, в исследовании, опубликованном Всемирным банком, сообщается об ухудшении качества воды и его влиянии на экономический рост некоторых стран. В частности, в развивающихся странах рост может быть снижен на треть из-за ухудшения качества воды. Теперь, пластик, наряду с бактериями и химическими веществами, является одним из опасных экологических факторов.

Основываясь на приведенных данных, можно сформулировать проблему следующим образом: чрезмерное загрязнение водоемов приводит к ухудшению качества водоснабжения, ухудшению экологической обстановки, наносит непоправимый вред живым организмам. А также выделить объект и предмет исследований.

Объект исследования: поверхностные источники водоснабжения.

Предмет исследования: способы очистки от пластикового загрязнения.

Опираясь на методологию системного подхода в научно-исследовательской деятельности необходимо выделить следующие ключевые моменты:

а) выявить недостаток:

1) количество пластика постоянно увеличивается, также увеличивается и количество отходов;

2) пластик плохо разлагается и накапливается в водоёме, некоторые компоненты пластика разлагаются с выделением опасных, мутагенных, ядовитых веществ.

б) основное направление исследования:

1) изучение причин загрязнения;

2) разработка мероприятия по очистке водоёмов от микропластиц пластика для нужд питьевого водоснабжения.

в) ожидаемый результат: устранение загрязнения поверхностных источников водоснабжения от микропластика

г) средства устранения недостатка:

1) организационные мероприятия, направленные на уменьшения поступления пластика в водоёмы;

2) технические мероприятия, направленные на разработку схем фильтрования воды на питьевые и хозяйственные нужды.

д) своевременность: стремительное увеличение количества пластиковых отходов в водоемах в ближайшее время может привести к экологической катастрофе.

Определив ключевые моменты работы, можно сформулировать цель и задачи исследования.

Целью настоящей работы является разработка комплексных мероприятий по устранению загрязнения поверхностных источников водоснабжения от микропластика.

Для достижения указанной цели выделены **следующие научно-технические задачи:**

а) выявить причины и последствия загрязнения;

б) определить возможности по сокращению загрязнения;

в) разработать технологическую схему очистки.

Для успешного решения поставленных задач требуется их конкретизировать и определить следующие моменты:

а) исходные данные: текущее состояние загрязнения поверхностных источников водоснабжения микропластиком;

б) граничные условия: поверхностные источники водоснабжения. Отсутствие химического и биологического загрязнения;

в) предыдущий опыт: изучение состояния вопроса по отечественным и зарубежным источникам;

г) противоречие:

1) каким должен стать предмет в результате работы: водопроводная вода не должна иметь загрязнение пластиковыми микрочастицами;

2) как это можно получить: организационные мероприятия направленные на уменьшение загрязнения водоёмов и выбор оптимальной схемы фильтрации;

3) что этому мешает: увеличение количества и накопление пластика, который попадает в водоем;

4) как должно быть, чтобы не мешало: внедрить комплексные мероприятия, направленные на снижение уровня загрязнения, находящийся в водоеме пластик эффективно отфильтровать.

Научная новизна полученных результатов состоит в следующем:

а) изучение и обобщение отечественного и зарубежного опыта по борьбе с загрязнением водоёмов микропластиком;

б) разработка технологической схемы очистки воды для нужд водоснабжения.

Методы исследований: для решения поставленных задач проводилось документальное исследование, основанное на анализе отечественных и зарубежных литературных источников с использованием теоретических методов расчёта схем водоочистки; документальное и инструментальное обследование водопроводной сети и насосных установок; а также другие методы для решения научно-технических задач.

Практическая значимость работы состоит в разработке технологической схемы очистки воды для нужд водоснабжения.

Практическая значимость подтверждена в публикации результатов исследования в статьях:

1. Технологические решения водоподготовки и утилизации осадков микропластика. // Молодежь. Наука. Общество: материалы Всероссийской студенческой научно-практической междисциплинарной конференции. Тольятти. 2020.

2. Загрязнение пресных вод микропластическими частицами. В сборнике статей Всероссийской научно-практической конференции Природопользование и устойчивое развитие регионов России. – МНИЦ, Пенза, 2021.

Личный вклад автора состоит в непосредственном участии в изучение и обобщение отечественного и зарубежного опыта по борьбе с загрязнением водоёмов микропластиком, анализе полученных данных, обосновании темы, цели, задач и методики исследований. Автором предложен ряд организационных, технологических мероприятий применительно к теме диссертации.

На защиту выносятся:

– результаты обобщение отечественного и зарубежного опыта по борьбе с загрязнением водоёмов микропластиком;

– технологическая схема очистки воды для нужд водоснабжения.

Апробация работы. Диссертация носит методологический характер и проявляет себя в наличии научно обоснованных и апробированных результатов документального исследования, и теоретической разработки технологической схемы очистки воды для нужд водоснабжения.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 3 разделов, общих выводов, библиографии из 42 наименований. Общий объем работы 105 стр., включая 47 иллюстраций, 8 таблиц.

Глава 1 Причины и последствия загрязнения пластиком водной среды

1.1 Термины и определения элементов загрязнения объекта исследования

На начальном этапе исследования необходимо разработать понятийный аппарат, разобраться с терминами и определениями для того, чтобы более четко описать суть проблемы. Были выделены наиболее важные элементы, и намечены пути решения поставленных задач.

Пластмассы (пластические массы, пластики) – органические материалы, основой которых являются синтетические или природные высокомолекулярные соединения (полимеры).

Исключительно широкое применение получили пластмассы на основе синтетических полимеров. Название «пластмассы» означает, что эти материалы под действием нагревания и давления способны формоваться и сохранять после охлаждения или отверждения заданную форму. Процесс формования сопровождается переходом пластически деформируемого (вязкотекучего) состояния в стеклообразное. «В зависимости от природы полимера и характера его перехода из вязкотекучего в стеклообразное состояние при формовании изделий пластмассы делят на термопласты и реактопласты.

Термопласты (термопластичные пластмассы) при нагреве расплавляются, а при охлаждении возвращаются в исходное состояние.

Реактопласты (термореактивные пластмассы) отличаются более высокими рабочими температурами, но при нагреве разрушаются и при последующем охлаждении не восстанавливают своих исходных свойств.

Производство синтетических пластмасс основано на реакциях полимеризации, поликонденсации или полиприсоединения низкомолекулярных исходных веществ, выделяемых из угля, нефти или

природного газа. При этом образуются высокомолекулярные связи с большим числом исходных молекул.

Полимер – высокомолекулярное соединение, вещество с большой молекулярной массой (от нескольких тысяч до нескольких миллионов), состоит из большого числа повторяющихся одинаковых или различных по строению атомных группировок – составных звеньев, соединенных между собой химическими или координационными связями в длинные линейные (например, целлюлоза) или разветвленные (например, амилопектин) цепи, а также пространственные трёхмерные структуры.

Биополимеры – класс полимеров, встречающихся в природе в естественном виде, входящие в состав живых организмов: белки, нуклеиновые кислоты, полисахариды, лигнин. Биополимеры состоят из одинаковых (или схожих) звеньев – мономеров. Мономеры белков — аминокислоты, нуклеиновых кислот — нуклеотиды, в полисахаридах – моносахариды.

Выделяют два типа биополимеров – регулярные (некоторые полисахариды) и нерегулярные (белки, нуклеиновые кислоты, некоторые полисахариды)» [6].

1.2 Исследования Гринпис

Гринпис подняла тревогу по поводу загрязнения рек микропластиком, обнаружив его во всех реках, которые она тестировала в Великобритании, обнаружив проблему огромной сложности, да еще с неопределенными последствиями.

В период с 6 февраля по 29 марта Гринпис проверила тринадцать рек, где забрасывала свои сети в тридцати сельских и городских районах. Она нашла там 1271 частиц, 15 различных видов пластика, из которых почти половина полиэтилен, обрывки от соломки до микрошариков. Из тридцати только две "относительно сельские" области не содержали их, указывает Гринпис в опубликованном докладе.

И это только "видимая часть айсберга": сети смогли отобрать образцы пластика, которые находились только в 10 см от поверхности воды. Влияние микропластиков на пресноводную фауну еще предстоит определить, уточняется в исследовании.

Наиболее загрязненной оказалась река Мерси (северо-запад Англии), в которой за полчаса было взято 875 образцов микропластиков.

Она течет рядом с производителем пластика, который оценивает её степень загрязнения выше, чем на "Седьмом континенте" "пластиковых островах", состоящим из отходов, дрейфующих по Атлантическому, Тихому, и Индийскому океанам.

"Мы игнорируем эту проблему на свой страх и риск. Как только микропластики попадают в реку, их невозможно удалить, поэтому мы должны решить эту проблему у источника", - сказал Дэвид Сантильо, сотрудник лаборатории Гринпис в Университете Эксетера (The University of Exeter).

Среди других рекомендаций Гринпис призывает правительство Великобритании установить юридические обязательства по сокращению производства и использования одноразовой пластиковой упаковки по крайней мере на 50% к 2025 году.

Запрет на продажу косметики или средств гигиены тела (мыло, средства глубокой очистки, зубные пасты, гели для душа и т.д.), содержащие микрошарики, вступил в силу в январе 2018 года в Великобритании.

Гринпис призывает к расширению этого запрета на другие продукты, такие как солнцезащитный крем, губная помада, товары для дома, потому что более года после запрета микрошарики продолжают попадать в водные пути Великобритании.

1.3 Исследования международного общества экологической экономики

По оценкам Международного общества экологической экономики (International Society for Ecological Economics, ISEE), в мировой океан ежегодно попадает 13 миллионов тонн пластика. Более миллиона млекопитающих, рыб и птиц страдают или умирают каждый год, глотая этот пластик, либо запутываясь в нем. Более 75 % рыб в настоящее время переносят пластиковые частицы в желудке. Опасные химические вещества накапливаются по всей пищевой цепи и в конечном итоге попадают в организм человека (рисунок 1).



Рисунок 1 – Предупреждающий знак о химическом загрязнении морепродуктов

Около 90% пластиковых отходов, переносимых в океан, поступает только из 10 крупных рек. В Азии это Янцзы, Хуанхэ, Хай Хэ, Жемчужная Река (Чжуцзян), Амур, Меконг, Инд, Ганг, а также Нигер и Нил в Африке (рисунок 2). Каждая из них проходит через наименее населенные развитые районы определённых стран, где не только отсутствует инфраструктура сбора и рециркуляции отходов, но и ограничена экологическая осведомленность.

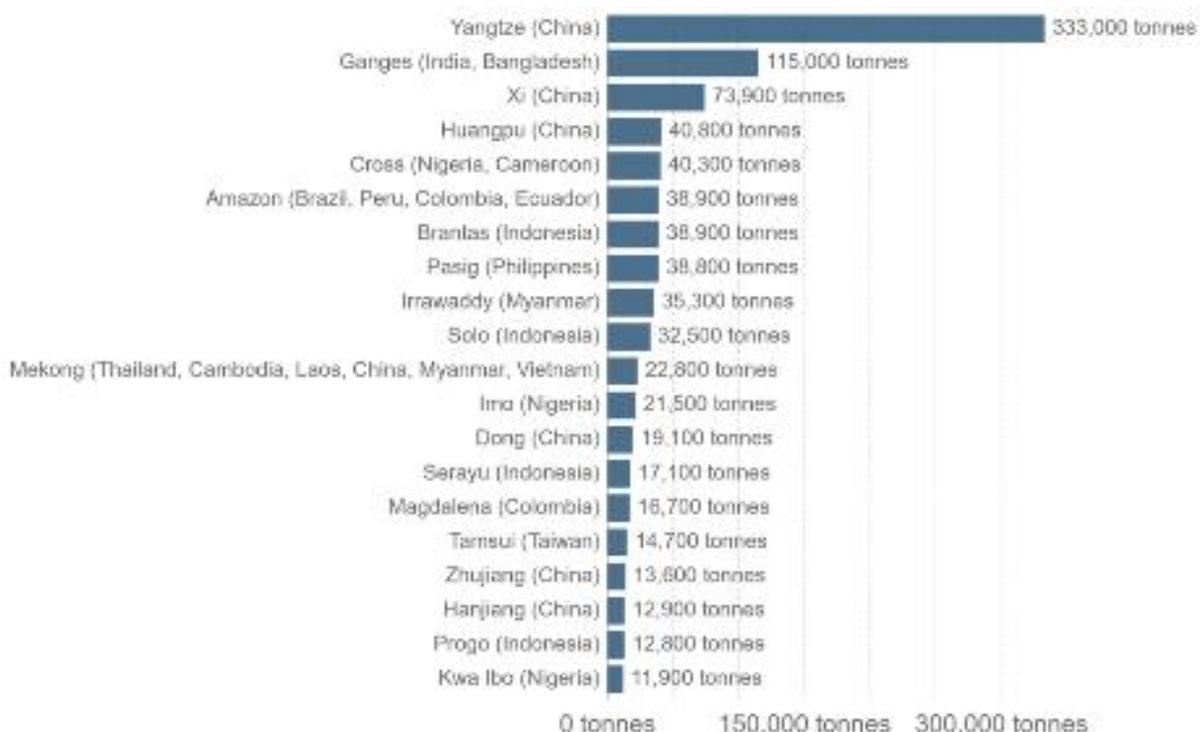


Рисунок 2 – 20 речных бассейнов наиболее загрязнённые пластиком

Проблема загрязнения пластмассой тесно связана с увеличением мирового производства и его использования. Общий объем мирового производства пластика достиг 8,3 млрд тонн [35]. Как практичный, дешевый и прочный материал, пластик полностью преобразил наш образ жизни и функционирование промышленности.

Тридцать лет назад пластик не был таким вездесущим. Люди приносили на местные рынки бамбуковые корзины, чтобы купить фрукты и овощи, которые продавцы заворачивали в листья лотоса или банана. Эти биоразлагаемые материалы сегодня почти полностью заменены мешками, соломенными циновками, упаковками для пищевых продуктов и бутылками. Пластмассы составляют более 20% от общего объема образующихся ежедневно муниципальных отходов (3600 тонн) (рисунок 3) [30].



Рисунок 3 – рыбацкие лодки рядом с мусором в порту Карачи

Это оказывает огромное давление на работу служб по распределению отходов. В городских районах незаконно сброшенные пластиковые отходы блокируют водные пути, забивают канализационные и дренажные системы и повышают риск наводнений. В районах, лишённых услуг по сбору мусора, пластиковые отходы часто сжигаются под открытым небом или уничтожаются на неформальных свалках, на улицах или в местных водотоках, которые доставляют их к морю. Сжигание пластмасс высвобождает вредные химические вещества, которые представляют серьёзную опасность для здоровья населения. В прибрежных районах воздействие пластиковых отходов на индустрию туризма особенно велико. Они составляют 80% мусора, обнаруженного на пляжах, что нарушает природную среду прибрежных районов, морские экосистемы и ландшафты [37].

Кроме того, в этих районах большое количество людей и предприятий сбрасывают свои пластиковые отходы вблизи водных путей и водотоков

(рисунок 4). Они могут не знать о влиянии и разрушениях, вызываемых этими отходами, на морские экосистемы и пищевые цепи, включая наши собственные. Описанная ситуация требует незамедлительного ответа на вопрос какие меры принимать для устранения этой проблемы?



Рисунок 4 – Свиньи пасутся на огромной муниципальной свалке Найроби

С 2018 года правительства некоторых стран для борьбы с пластиковым загрязнением продвигает политику 4R – (Refuser, Réduire, Réutiliser, Recycler) «Отказ – сокращение – повторное использование – переработка». С этой целью был разработан и осуществлен ряд так называемых "морковно-палочных" мер, касающихся образования, стимулов и правовых норм. Например, правительство ввело небольшой налог на полиэтиленовые пакеты, предназначенный для супермаркетов и торговых центров. Этот налог позволил сократить использование этих мешков более чем на 50% в крупных супермаркетах. Собранные таким образом средства используются для поддержки экологических инициатив по всей стране. К ним относятся установка водяных фонтанов и солнечных панелей в государственных школах, чтобы помочь построить более экологически чистые школы и общественные

места. Правительство в настоящее время разрабатывает дополнительное регулирование одноразового использования пластмасс, которые выбрасываются. Стратегия оборотной экономики и план действий были также разработаны при поддержке Швеции и программы развития Организации Объединенных Наций в целях содействия осуществлению политики 4R.

Тем временем в рамках более широкой инициативы укрепляется технический и институциональный потенциал субнациональных администраций в области управления отходами путем осуществления своей политики децентрализации и деконцентрации. Министерство окружающей среды делегировало функции по управлению твердыми отходами местным органам власти и разработало ряд стимулирующих технических стратегий, рамок и руководящих принципов. Оно также оказало техническую и финансовую поддержку местным органам власти, с тем чтобы они могли в полной мере выполнять свои новые функции, например, путем предоставления оборудования для удаления отходов, такого как мелкомасштабные установки для сжигания, мусоровозы и мусорные баки, а также путем подготовки губернаторов округов и глав муниципалитетов по вопросам обращения с отходами.

В дополнение к этим инициативам борьба с пластмассовыми отходами требует дальнейших систематических изменений не только на различных национальных и субнациональных уровнях, но и на протяжении всего жизненного цикла пластмасс от производства, транспортировки и использования до удаления или рециркуляции. Объединив все ключевые заинтересованные стороны, можно принять срочные меры для сокращения отходов пластмасс в Сенегале и во всем мире и обеспечения защиты морских экосистем для будущих поколений.

1.4 Исследования движения «Зелёный пояс»

Движение «Зелёный пояс» (Green Belt Movement) предлагает развитие региональных планов по сокращению загрязнения водных ресурсов. Эти

планы будут разработаны на местном уровне, финансироваться предприятиями водопользования и некоторыми экологическими организациями, отвечающими за взаимодействие с производителями продукции из различных пластиков. С 1950 года было произведено почти 8 миллиардов тонн пластика (рисунок 5). Около 30% этих пластмасс по-прежнему используются (иногда после переработки), 10% сжигаются, а оставшиеся 60% утилизируются в равных долях на несанкционированных свалках и в виде диких отложений.



Рисунок 5 – Объём производства пластика

По воле ветра и стока отходы из этих диких или плохо управляемых хранилищ попадает в реки, озёра, водохранилища, моря, в том числе через ливневые стоки и канализационные сети. Чтобы бороться с этим загрязнением, необходимо применять различные уровни контроля, - утверждает Движение

«Зелёный пояс», предлагая действовать на местном уровне привлекая региональные органы власти и контролирующие организации.

Что касается финансового аспекта, то он основан на принципе «вода оплачивает воду», то есть водопользователи сами покрывают расходы, связанные с контролем загрязнения макро- и микропластиком в воде [22].

Движение также обращается к производителям пластика и требует, чтобы финансовый продукт был расширен за пределы услуг по управлению отходами, а также включал стоимость предварительной очистки и обработки в системе канализации». Изначально, общество должно бороться с отходами, брошенными в городах, на пляжах, берегах или возле дорог. Эти спонтанные отложения могут достигать рек или моря под действием ветра или дождевого стока. Чтобы исправить эту ситуацию, можно предложить сеть уличных корзин и пепельниц, достаточно плотную, чтобы способствовать правильному воспитанию наших сограждан. И также предусмотреть развитие навыков сортировки и отдельного сбора мусора, частности пластиковых отходов.

Установка пепельниц является примером мероприятия, которое можно было бы профинансировать за счет производителя табачной продукции, если бы такая система взаимодействия действительно увидела свет.

Кроме того, городская администрация может прибегать к специальной административным мерам, которые позволят им наказывать лиц, ответственных за незаконные свалки. Администрация должна будет использовать свои полицейские полномочия для возбуждения, административных и/или уголовных дел. Общественные организации могут, наконец, действовать на берегах, регулярно очищая их и устанавливая плавучие плотины для сбора отходов.

Вторая область работы для общественных организаций: сокращение количества пластика, переносимого дождевой водой. В основном это касается микропластиков и макроотходов (например, крышек, некоторых красок, обломков пластиковых деталей транспортных средств), оставленных на дороге. Они впадают в реки напрямую (когда вода из сетей дождевой

канализации сбрасывается без очистки) и косвенно (когда обильные дожди вызывают переполнение канализационных сетей или через выбросы со станций очистки). В этом аспекте городская администрация и общественные организации должны взаимодействовать, чтобы объяснить, что канализация — это не мусорные баки.

В городе Коллиур (Collioure, Pyrénées-Orientales), например, перед дождевыми решётками было написано: «Ничего не бросайте, ничего не выливайте. Здесь начинается море». Точно так же необходимо установить селективные коллекторы и отстойники, улавливающие макроотходы. Фильтры для улавливания микропластика, синтетических волокон одежды, сорванные во время стирки, или микрошарики некоторых косметических средств. Установки очистки сточных вод могут включать стадию первичного осаждения или третичную очистку, уменьшающую сброс пластика в окружающую среду. Так же можно установить оборудование для сбора отходов на переливных устройствах очистных сооружений и на выпускных отверстиях. И наконец, необходимо принципиально уменьшить пластиковое загрязнение, связанное с сточными водами.

1.5 Исследования Аделаидского университета

По результатам исследований университета Аделаиды (Австралия) предложен метод очистки воды от мельчайших частиц пластмассы (рисунок б) на базе нанотехнологии. «Намагниченные пружины, выполненные из угольных нанотрубок, собирают загрязнённые частицы микропластика из сточных вод. Изобретение не представляет опасности для окружающей среды и может использоваться многократно. Группа исследователей из Аделаидского университета (The University of Adelaide) обнаружила безвредный для окружающей среды способ очистки воды от микропластика с помощью намагниченных угольных нанотрубок. Об изобретении сообщил журнал Matter.



Рисунок 6 – Микроскопические частицы пластмассы

Проблема микропластика стала одной из самых обсуждаемых глобальных экологических угроз последнего десятилетия. Микроскопические пластиковые частицы обнаружены в воздухе и в воде, даже на дне морей Северного Ледовитого океана и в Марианской впадине. Ранее специалисты отмечали, что в океан попали более 5 трлн частиц общим весом свыше 250 тыс. тонн, а на один литр арктического льда приходится 12 тыс. пластмассовых микрочастиц. В результате глобального потепления они также могут попасть в воду, поставив под угрозу всю экосистему Мирового океана [42].

Гранулы микропластика используют производители косметики, зубной пасты, стирального порошка (рисунок 7). Мельчайшие фрагменты накапливаются в живых организмах и в теле человека, они способны проходить сквозь все промышленные системы очистки и попадать даже в «бутилированную воду» [40].

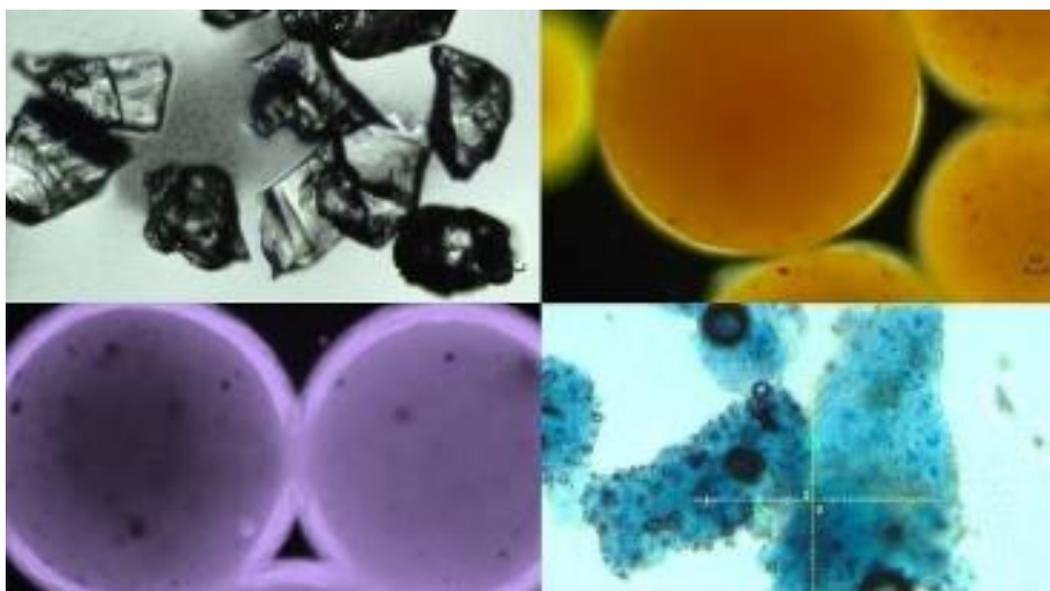


Рисунок 7 – Частицы микропластика, видимые на образцах косметики под микроскопом

«Микропластик поглощает находящиеся в воде органические и металлические загрязнители. С пищей эти вредные вещества попадают в организм различных морских обитателей, что приводит к заражению всей пищевой цепи. Угльные нанопружины (рисунок 8) достаточно прочны и стабильны, чтобы разложить микропластик на соединения, которые не представляют столь серьёзной угрозы для морской экосистемы» [40], – утверждает руководитель исследования, преподаватель химической технологии Аделаидского университета Ван Шаобинь.

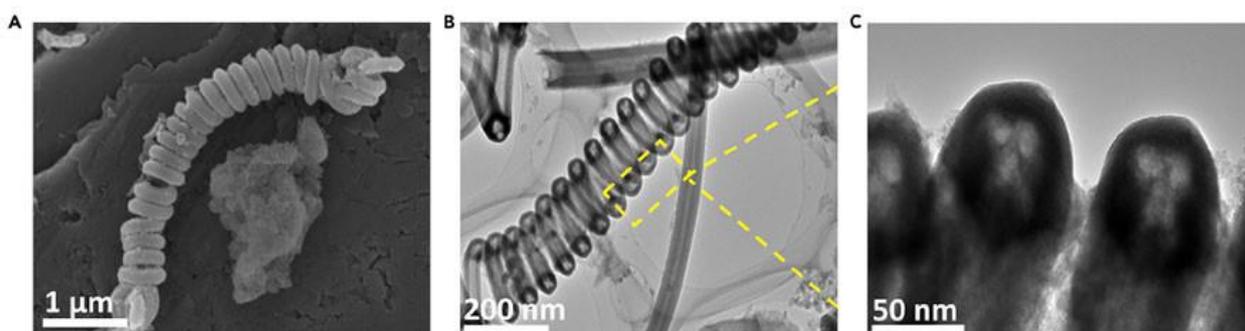


Рисунок 8 – Угльные нанопружины под электронным микроскопом

«Несмотря на то, что большинство микрочастиц невидимы невооружённым глазом, они являются опасными источниками заражения, так как способны накапливать и переносить токсины, вызывать заражения и даже проникать в кровь.

Перед исследователями стояла задача создать недолговечные химические вещества – активные формы кислорода (АФК), которые запускают цепные реакции и перерабатывают крупные молекулы микропластика в крошечные и безвредные растворимые в воде сегменты. Сами АФК зачастую производятся с использованием тяжёлых металлов, таких как железо или кобальт, и сами по себе являются опасными загрязнителями. Учёные нашли безвредный для окружающей среды путь производства АФК — использовали скрученные в пружинки угольные нанотрубки с добавлением азота.

Также для предотвращения выщелачивания и для намагничивания трубок использовалось небольшое количество марганца. Полученные катализаторы создавали кислотную среду и растворяли значительную часть микропластика всего за восемь часов.

Примечательно, что магнитные нанотрубки (рисунок 9) можно с лёгкостью извлекать из сточных вод и повторно использовать для проведения очистных работ, — отметил соавтор работы Дуань Сяогуан (Duan Xiaoguang).

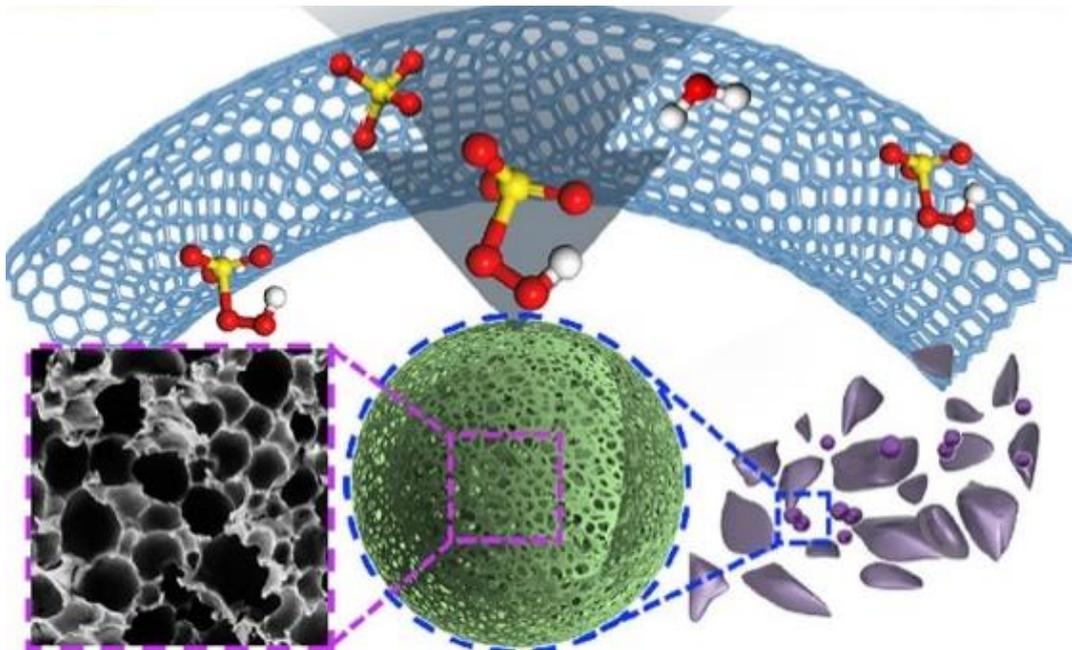


Рисунок 9 – Иллюстрация работы нанотрубок, очищающих воду от пластмассового загрязнения

Поскольку частицы микропластика зачастую обладают различным составом, учёные планируют адаптировать своё изобретение к работе с пластиком самого различного происхождения. Также исследователи рассчитывают, что побочные продукты переработки пластика они смогут использовать в качестве источника энергии для живущих в воде микроорганизмов.

По словам Ван Шаобиня, если пластмассовые загрязнители можно будет использовать в качестве пищи для водорослей, это станет примером крайне успешного применения биотехнологий для решения проблем окружающей среды безопасным и эффективным с точки зрения затрат способом» [30].

1.6 Влияние загрязнения пластиком на водоросли

Загрязнение Мирового океана пластиком угрожает прохлорококковым водорослям (*Prochlorococcus marinus*), изображённых на рисунке 10 – цианобактериям, которые вместе с другими микроводорослями отвечают за

фотосинтез. К такому выводу пришли австралийские учёные. Они выяснили, что отравление воды продуктами разложения пластмассы не позволяет этим полезным микроорганизмам расти и вырабатывать кислород. По мнению российских океанологов, одно из решений проблемы — отказ от пластиковой тары и упаковки во всём мире.

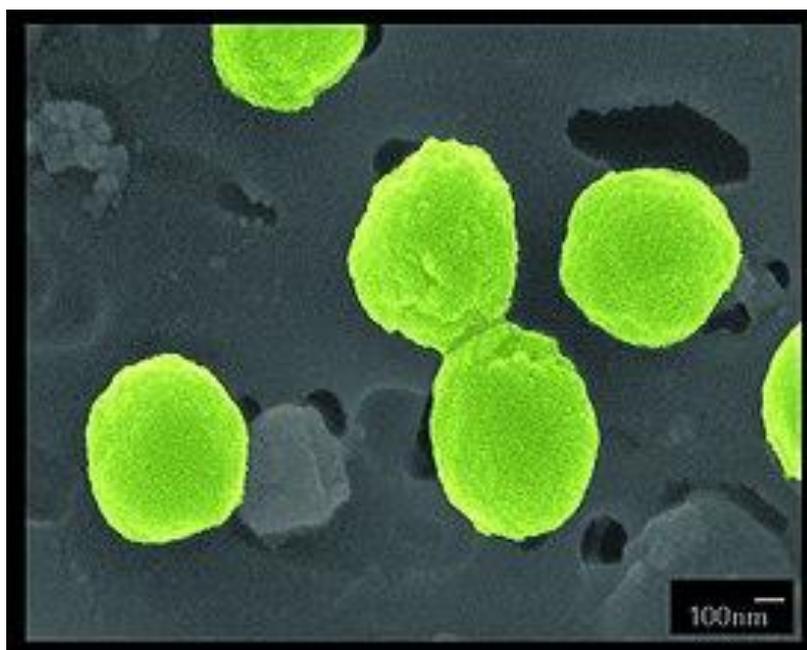


Рисунок 10 – Цианобактерии *Prochlorococcus marinus*

Учёные австралийского Университета Маккуори (Macquarie University) оценили вред, который наносит пластик микроводорослям *Prochlorococcus marinus* — важным фотосинтезирующим организмам Мирового океана. Согласно исследованию, опубликованному в журнале *Communications Biology*, разлагающаяся пластмасса отрицательно влияет на процессы роста и фотосинтеза этих микробов. Сине-зелёные водоросли *Prochlorococcus marinus* — самые маленькие цианобактерии в мире: от 0,5 до 0,7 микрометра в диаметре. При этом один миллилитр морской воды может содержать более 100 тыс. таких организмов. Вместе с другими микроводорослями они образуют фитопланктон, который в результате фотосинтеза обеспечивает планету большей частью атмосферного кислорода.

Австралийские учёные впервые в мире испытали в лабораторной среде воздействие продуктов распада пластиковых пакетов и ПВХ на микроорганизмы. «Мы обнаружили, что химические вещества, выщелачиваемые из пластикового мусора, мешают наиболее распространённой в мире фотосинтезирующей бактерии *Prochlorococcus marinus* расти и вырабатывать кислород», — говорит исследователь университета и основной автор работы доктор Саша Тету.

Соавтор исследования доктор Лиза Мур также напоминает, что микроводоросли водоросли являются первым и основным звеном в пищевой цепи и обеспечивают до 10% общего мирового производства кислорода.

«Для оценки последствий и поисков решения проблемы пластикового загрязнения в морской среде мы должны знать о его воздействии на все основные бактерии Мирового океана», — дополняет коллегу доктор Тету.

«Мы обязаны сине-зелёным водорослям появлению кислорода на Земле два миллиарда лет назад, и до сих пор они отвечают за 60% фотосинтеза в Мировом океане. Во время прошлой экспедиции нашего института мы обнаружили огромное количество частиц микропластика на дне арктических морей Северного Ледовитого океана. Он есть там, он есть в воздухе, которым мы дышим, есть и в нас с вами», — сказал академик Адрианов. По мнению океанолога, одно из решений этой проблемы — отказ от пластмассовой тары и упаковки.

«Нужно скорее отказываться от пластиковой упаковки. В советское время так и было — мы заворачивали еду в крафтовую бумагу, наливали сметану в стеклянную банку, использовали авоськи. Пластик не применялся, и в этом не было и нет ничего страшного», — подытожил Адрианов.

1.7 Загрязнение морей и океанов через реки

В прибрежных районах морей и океана идет борьба непрерывная с загрязнением, и теперь известны его драматические последствия для жизни

морских обитателей. Поскольку с 1950-х годов производство пластмасс увеличивается в геометрической прогрессии, становится понятным, что без стратегии сокращения выбросов, объём загрязнения утроится к 2040 году.

Для начала требуется понять пути, по которым они попадают в водоёмы, это связано с определением источников их появления и место, где они заканчивают свой путь. По оценкам [36], 80% загрязнения морской среды пластиком происходит из прибрежных источников и это связано с деятельностью приморской экономической зоны.

Тем не менее мы по-прежнему не располагаем данными и наблюдениями за этими отходами. Для понимания переноса и рассеивания пластика в океанах цифровые модели являются идеальным инструментом для устранения этих пробелов и для проверки гипотез о поведении частиц в воде [18].

Опубликованная в бюллетене загрязнения морской среды [6], работа, опираясь на модель циркуляции океана (Рисунок 11) в глобальном масштабе, направлена на то, чтобы узнать о будущем плавающих пластиковых обломков, которые выбрасываются вдоль побережья. Пластиковые отходы, смоделированные как цифровые частицы позволяют задать цель исследования более точно и сравнить траекторию плавающих пластиковых частиц в зависимости от того, каким образом они попали в воду с берегов.



Рисунок 11 – Модель глобальной циркуляции океана

В первом сценарии, так называемом речном, поступление отходов происходит из рек, и следует модели, установленной исследователями в 2017 году, известно, что около 2 миллионов тонн пластмасс ежегодно попадают в океан. Наиболее загрязненные реки расположены в основном вдоль побережья западной части Тихого океана и составляют около 70% мирового потребления по этому сценарию.

Второй сценарий, основан на численности населения на побережье и пропорционален количеству плохо переработанным пластиковых отходов. Модель основана на оценке исследований 2015 года, в котором оценивалось, что в 2010 году в океан было сброшено от 5 до 13 миллионов тонн пластмассового мусора. В этом сценарии, благодаря прибрежному населению, поступления распределяются по берегам более равномерно, чем в речном сценарии.

Чтобы изучить их распределение и появление, смоделированы пути пластиковых отходов в виде цифровых частиц, которые ежедневно в течение 23 лет (с 1993 по 2015 год) отслеживают эволюцию течений в глобальном масштабе.

Эти цифровые частицы не точно отражают реальность, это теоретический случай загрязнения пластмассой: здесь рассматривается только плавающая доля загрязнения, то есть отходы, транспортируемые на поверхность океана, – на самом деле они составляют только 50% находящегося в море пластика, но цифровые частицы никогда не оседают на дно.

Чтобы имитировать постоянный приток пластикового загрязнения в океан, в обоих сценариях ежемесячно высвобождается 20 000 частиц – в общей сложности около 6 миллионов частиц в течение 23 лет цифрового моделирования.

Несмотря на то, что на самом деле сброс мусора реками и прибрежное население представляют разные уровни загрязнения, моделируется

одинаковое количество частиц в каждом сценарии, чтобы сравнить их путь (рисунок 12).

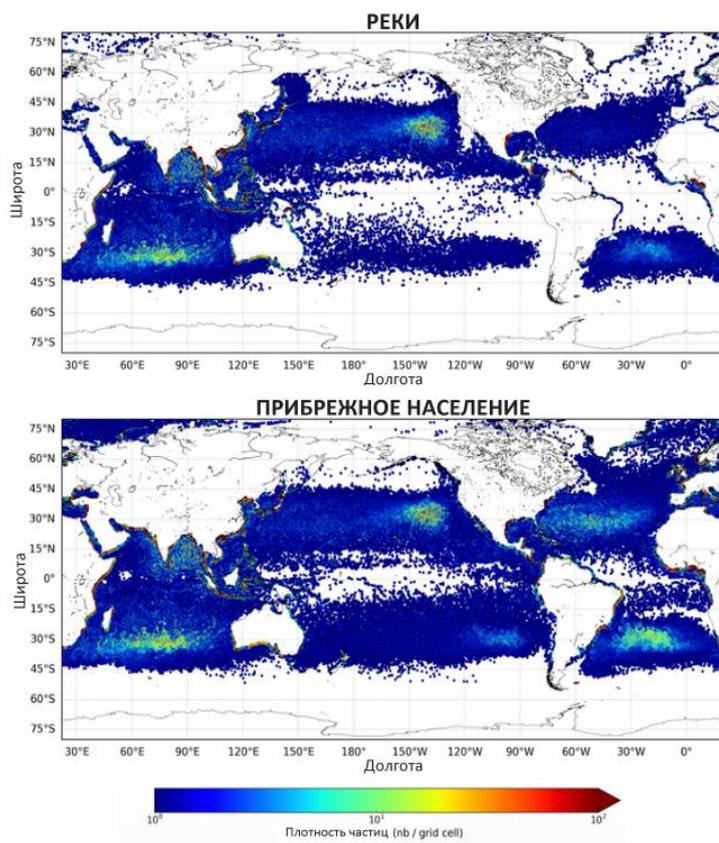


Рисунок 12 – Количество частиц в конце моделирования модели в сценарии рек (вверху) и сценарии прибрежного населения (внизу)

В конце моделирования восстанавливается географическое положение цифровых частиц: затем находится как те, которые были 23 года назад, выпущены в начале процесса, так и самые молодые, выпущенные всего несколько месяцев назад.

При наличии у исследователей спутника, который обнаруживал пластиковые частицы на поверхности океанов, можно было бы получить картину, которая позволит уточнить, что загрязнения поверхностными частицами происходит только из рек или только от прибрежного населения, которые являются двумя основными причинами загрязнений, рассмотренными здесь. В обоих случаях частицы присутствуют почти повсюду в океанах. От побережья до середины океанических бассейнов с

гораздо большей концентрацией в середине каждого океанического вихря: их называют субтропическими зонами конвергенции.

Пять из них известны накоплением пластиковых отходов: в центральной части Индийского океана, северной и южной части Тихого океана, северной и южной части Атлантики. Хотя физическая динамика выглядит аналогично в обоих симуляциях, наблюдается значительные различия в концентрации: в речном сценарии количество частиц намного меньше в 3 океанических бассейнах – южной части Тихого океана, северной Атлантике и южной Атлантике.

Судя по имеющимся данным, сценарий прибрежного населения более точно воспроизводит накопление в субтропических зонах сближения, чем в реках. В обоих случаях одинаковое количество частиц присутствует в ядре Северной и Индийской зон конвергенции Тихого океана с быстрым накоплением: только через 5 лет они достигают сердца этих вихрей. Это доказывает, что пути от источника загрязнения (береговой линии) до воронок (сердцевины вихрей) относительно короткие.

Напротив, в южной части Тихого океана частицы накапливаются очень медленно в сценарии прибрежного населения. Это показывает, что частицы путешествуют долго и на большие расстояния, прежде чем они достигнут этого региона: поэтому основной источник не обязательно находится на побережье южной части Тихого океана.

Со статистической точки зрения в ядре субтропических зон сходимости обнаруживается менее 20% частиц, выброшенных с берега. Только 29 % в конечном итоге попадает в океан в речном сценарии, по сравнению с 45 % в сценарии населения. Куда же делись оставшиеся? 54-70 % на береговой линии.

В речном сценарии 70 % частиц оказались на мели, по сравнению с 54 % в сценарии населения. Несмотря на эту разницу в количестве и различном распределении источников, их окончательное разброс в обоих случаях одинаков.

Возможно, эта однородность объясняется тем, что они переносятся одним и тем же течением. Такое перераспределение между источниками и воронками вихрей показывает, что между некоторыми прибрежными районами потенциально существуют особые связи. Чтобы изучить и понять эту связь океан разделён на несколько частей: большие бассейны выделены между севером и югом, кроме Тихого океана, также распределенного между востоком и западом.

Исследователи оценили количество частиц, которые оседают в определенной области (источника) у берега в направлении центральной части вихря. 85 % частиц, которые оседают на береговой линии, делают это в своем родном регионе в обоих сценариях, а 15% до этого путешествуют на расстояние до 8000 км, что обеспечивает глобальную связь. Таким образом, это цифровое исследование выделило несколько элементов.

Во-первых, отходы из рек и прибрежного населения являются двумя ключевыми источниками загрязнения моря пластмассами, причем до 20% от общего количества частиц, выброшенных с побережья, накапливаются в центре сходящихся водоворотов.

Во-вторых, существуют различия между этими двумя сценариями. Сценарий прибрежного населения лучше коррелирует накопление частиц в зонах сходимости водоворотов, с пропорциями между частицами, которые попадают в море, и теми, которые оседают на дно.

На рисунке 13 представлена Матрица осаждения частиц. Ячейки окрашиваются в соответствии с количеством частиц, поступающих из указанной области источника загрязнения и заканчивающихся в области воронки вихря. Белые клетки указывают на малое осаждение (менее 50 частиц).

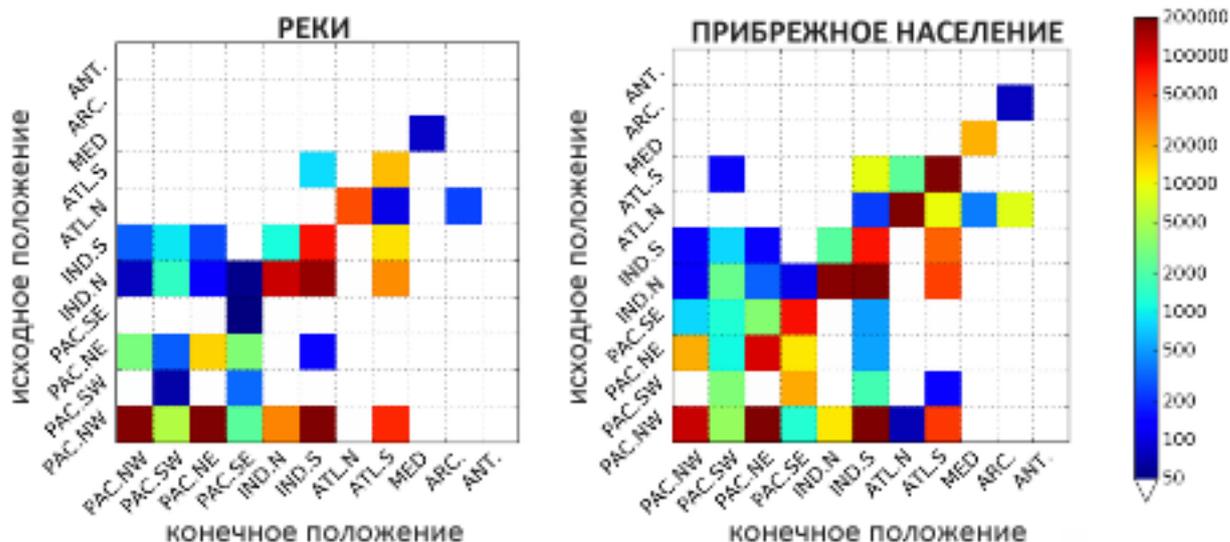


Рисунок 13 – Матрица осаждения частиц в сценарии рек и сценарии прибрежного населения

Исследователи показали, что плавающие обломки могут пройти тысячи километров, прежде чем осядут, а это означает, что отходы, отправленные с одного побережья мирового океана, могут оказаться на другом побережье за 8000 км и дальше. Таким образом, это теоретическое исследование позволяет лучше оценить влияние источников загрязнения пластмассами на их распространение на побережье и в открытых водоёмах. Исследователи из лаборатории физической и космической океанографии сосредоточили свою работу на исследовании этих вопросов, а также о роли динамики океана в распространение частиц макро и микропластика.

1.8 Структура и состав наиболее часто встречающихся пластмасс

Пластмассы представляют собой полимеры, к которым могут быть добавлены легирующие элементы или другие вещества, которые способны служить структурным компонентом материалов и конечных объектов, согласно определению регламента ЕС № 10/2011 от 14 января 201150. Они

имеют довольно большое разнообразие структур, размеров, свойств, а также использования.

Примерно 95% структурной составляющей пластика приходится на полимеры (называемых также смолами), оставшееся 5% – добавки, наполнители и пластификаторы. На рисунке 14 представлено разнообразие различных полимеров, также некоторые добавки, которые применяются для изменения их механических свойств (жесткость, прочность), оптических (прозрачность, цвет), химических (проницаемость).



Рисунок 14 – Состав и структура пластика

Различные семейства пластмасс. Пластмассы могут быть определены по их свойствам, происхождению, молекулярному размеру, в соответствии с внутренними характеристиками: термопластичные пластмассы и термореактивные пластмассы.

Термопласты могут обратимо переходить из твердого состояния в жидкое через нагрев и охлаждение, что делает их механически перерабатываемыми (например, ПЭТ-бутылка).

Термореактивные вещества имеют структуру, форму и жесткость, которая не изменяются после образования пластика (например, пенополиуретана). Поэтому они не подлежат вторичной переработке

Загрязнение водной среды (водный мусор, отходы) определяется как: «любой материал или предмет, изготовленный и используемый человеком, который прямо или косвенно выбрасывается в водную среду» (Генри, 2010). Эти отходы могут быть плавающими на поверхности, в толще пресной или соленой воде, у берегов или на береговой линии, на мели на пляжах или на морском дне. В водной среде встречается частицы пластиковых отходов различных размеров (рисунок 15)

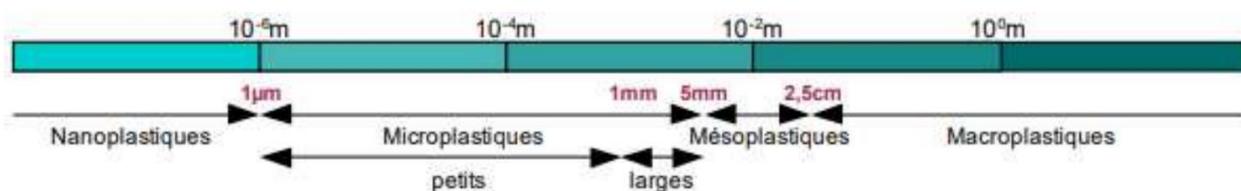


Рисунок 15 – Номенклатура пластмасс в зависимости от их размера

Частицы макро-пластика, размер которых превышает 5 мм – это, например, бутылки, пластиковые пакеты и другая упаковка. Иногда называют мезопластиками, пластмассовые обломки размером от 5 до 25 мм (Wang и др., 2018). Очень большие пластмассы (больше метра) иногда называют мега-пластмассами [32].

Хотя в настоящее время не существует стандартизированного определения для микро-пластмасс, общепризнано, что это частицы пластмасс менее 5 мм. Микропластики составляют наибольшую долю пластического мусора в водоёмах. Нано-пластмассы могут быть определены как пластиковые частицы размером менее 1 мкм [10].

Мезо-, микро-, нано-пластмассы могут быть получены из так называемого первичного или вторичного источника: Первичными микро-пластмассы называются, когда они производятся непосредственно в виде

микрочастиц. Они образуются при бытовом использовании (например, микрошарики для косметики) и промышленного использования (например, микро-пластмассы из акрила, меламина или полиэстера, используемые для очистки поверхностей для удаления ржавчины и краски). Вторичными микропластмассы называются, когда они возникают в результате физического, химического или биологического разложения более крупных пластмасс [21]. Это относится, например, к микропластикам, возникающим из-за износа шин.

Результаты исследований количественной оценки пластиковых отходов в различных областях Мирового океана обобщены в Таблице 1.

Многие исследователи пытались количественно оценить поток, переносимый с наземной зоны в океаны. Во всем мире от 0,7 до 12,7 миллиона тонн пластмасс в год поступают с суши в океаны [29].

Установлено что наибольшее загрязнение мирового океана происходит за счёт рек, расположенных в южной и юго-восточной Азии. Концентрации пластмасс сильно различаются между различными реками и зависят от плотности населения, уровня урбанизации и индустриализации, количества осадков и сезонности, наличия искусственных барьеров, таких как плотины и шлюзы, и уровня экономического развития.

Более поздние исследования стремятся количественно оценить потоки макро-отходов, включая макропластики, сброшенные по канализационным системам. По их оценкам, пластмассы составляют 3% макро-отходов, не считая пластиковой частиц 85% санитарно-гигиенических средства. По приведённым ниже оценкам, приток отходов составляет от 2000 до 10 000 тонн в год (табл. 1).

Таблица 1 – Обобщение некоторых исследований количественного определения пластиковых отходов в различных водоёмах, «данные Программы ООН по защите окружающей среды по [16]

Тип отходов	Накопление или концентрация	Территория распространения	Метод исследования	Комментарии
Плавающий пластиковый мусор (макро, мезо и микро)	268 940 тонн	Океаны по всему миру	Компиляция опубликованных результатов 24 экспедиций в период с 2007 по 2013 год.	Интерактивная карта океанических течений (http://app.dumpark.com/seas-of-plastic-2/)
Плавающий пластиковый мусор (макро, мезо и микро)	93 000 – 236 000 тонн	Океаны по всему миру	Сборник из 26 исследований, опубликованных в период с 1971 по 2013 год.	Стандартизированные данные использовались в 3 моделях циркуляции океана, предсказывающих распределение мусора, для оценки общей массы пластмасс.
Плавающий пластиковый мусор (макро, мезо и микро)	45 000 – 129 000 тонн	Северная часть Тихого океана, на площади 1,6 млн км ²	Моделирование из 652 образцов. Филеманта на 18 судах в 2015 году.	–
Плавающие пластмассы и полученные области накопления	7 000 – 35 000 тонн	Мировой океан Поверхность	Моделирование на основе данных, собранных экспедициями (включая Malaspina 2010, региональные обследования, и данные, опубликованные в литературе).	Оценка плотности пластика в географическом районе.
Микропластики в поверхностных водах	64±194 частиц 88 ± 82 волокна на литр	Северное море – побережье в Германии	Поверхностные пробы (глубина 20 см) проведены в 2011 году.	Высокая изменчивость в изучаемых концентрациях, что свидетельствует о гетерогенном распределении в области исследования.
Микро-пластмассы	1,25 млн частиц/км ²	Средиземное Море	На основе 74 образцов	Среди самых высоких в мире концентраций пластмасс, связанных с прибрежным населением, туризмом и многочисленными морскими маршрутами

Данные приведены из открытых источников».

1.9 Исследование Всемирного фонда дикой природы

Ежегодно в Средиземное море сбрасывается около 570 000 тонн пластика-эквивалент 33 800 пластиковых бутылок в минуту. По данным

Всемирного фонда дикой природы (WWF), который исследовал этот вопрос, ежегодные экономические потери для прибрежных стран составляют 770 миллионов долларов, поскольку это загрязнение разрушает экосистемы и морские отрасли, такие как туризм и рыболовство.

Навязывая использование одноразовых масок и пластиковых защитных средств, пандемия только усугубила опасность загрязнения моря пластиком. Согласно документу Американского химического общества, мы потребляем по всему миру около 129 миллиардов масок и 65 миллиардов перчаток каждый месяц. Без принятия срочных мер морские отходы будут продолжать расти.

Однако пандемия COVID-19 не прекратила усилий стран по борьбе с этим морским загрязнением. Эта проблема скорее связана с тем, что правительства стран Ближнего Востока и Северной Африки (MENA) действуют без согласования политики и инвестиций. Марокко принимает национальную стратегию, получившую название "пляжи без пластика", в то время как Тунис стремится определить районы, подверженные риску загрязнения морской пластмассы. Египет, Палестина и Ливан также разрабатывают программы и мероприятия по борьбе с этой формой загрязнения, часто при поддержке Всемирного банка.

Виртуальное совещание, организованное в марте 2021 года, собрало участников из Марокко, Сенегала, Туниса, Кот-Д'Ивуара, Египта, Ливана, Канады, Европейской комиссии и других многосторонних форумов по проблеме загрязнения морской среды. Все они признали необходимость принятия срочных мер в рамках трех основных мер:

- 1) Включить новые политические стимулы и инвестиционные планы в стратегии стимулирования, чтобы уменьшить злоупотребление пластиковыми материалами, повысить ценность пластиковых отходов и способствовать более экологичному и инклюзивному восстановлению экономики. Марокко и Кот-Д'Ивуар сделали выбор в пользу широкой и комплексной мобилизации различных заинтересованных сторон в целях сокращения загрязнения пластмасс.

Сенегал ввел правовые ограничения в отношении некоторых пластмассовых изделий, ввел режимы расширенной ответственности производителей и использовал другие финансовые и бюджетные меры для сдерживания использования пластика. Тунис предпринял усилия по усилению воздействия закона 1996 года, в котором была введена система ECOLEF по восстановлению и утилизации использованной упаковки, что обеспечило финансовую ответственность производителей за управление этой продукцией.

2) Обмен информацией и передовой практикой для разработки оптимальных решений. Установление универсальных целей, которые международное сообщество обязано соблюдать, будет способствовать борьбе с пластиковым загрязнением на всех уровнях-от местного до глобального. Барселонская и Абиджанская конвенции обеспечивают региональную основу для согласования законодательства и принятия общих подходов к борьбе с загрязнением морской среды. Региональное сотрудничество способствует взаимодействию и устранению пробелов, особенно в тех случаях, когда речь идет о проблемах, которые еще не охвачены, таких, как микропластики. Для обеспечения успеха операций государственный и частный секторы должны объединяться.

3) Обеспечение того, чтобы все звенья технологической цепочки (пластиковой) работали вместе над переходом к циклической экономике: государственный сектор занимается политикой, законодательством и развитием потенциала, в то время как частный сектор предлагает инновационные решения, такие как кардинальное изменение процесса производства конечного продуктов. Для функционирования циклической экономики необходима четкая правовая основа и эффективные экономические стимулы на национальном уровне.

Важное значение имеет принятие согласованных нормативных стандартов и общих определений для всех рынков, а также обеспечение международного контроля за соблюдением стандартов. В странах региона «Middle East and North Africa» ведущую роль начинает играть частный сектор:

например, в Марокко Фонд Мохаммеда VI будет сотрудничать с частными операторами по переработке пластмасс в целях создания рабочих мест и оптимизации производства. «World Wildlife Fund» сотрудничает с частными компаниями и муниципалитетом Танжера в целях разработки местной модели сортировки, сбора и рециркуляции пластиковых отходов, а также в целях повышения осведомленности общественности и содействия обмену информацией между различными субъектами.

1.10 Загрязнение микропластиком

История применения полимерных материалов прошла длительный путь. «Человек достаточно давно знаком с высокомолекулярным соединениями природного происхождения. Эти соединения использовались в быту, а позднее в промышленности достаточно широко. В качестве примеров можно привести материалы, содержащие полимеры природного происхождения (дерево, растительные волокна хлопок, лен), а также крахмал, полимерные смолы на основе изопрена (каучук), полиамиды (шелк). Развитие химии органического синтеза в XX в. привело к появлению синтетических полимеров – пластмасс, волокон. Помимо их несомненных полезных свойств, облегчающих жизнь, возникли и проблемы, связанные с охраной здоровья человека и защитой окружающей среды. Пластиковое загрязнение – процесс накопления продуктов из пластмасс в окружающей среде (рисунок 16), его распространение коррелирует с невысокой ценой и долговечностью пластмасс, что определяет высокий уровень их использования человеком» [30, 34]. «В 1960-х гг. пластмассы составляли менее 1 %, в 2011 г. – более 12 % твёрдых бытовых отходов. В период с 1950 – 2018 гг. во всем мире произведено до 6.3 млрд. т. различных пластмасс, из них было переработано около 9%, сожжено - до 12%» [33].



Рисунок 16 – Пластиковый мусор на побережье Охотского моря

«Пластиковое загрязнение представлено множеством форм, одной из которых является микропластик». В настоящее время этот термин означает частицы синтетических полимеров или сополимеров (пластика), размером от нм до 5 мм. Эти частицы состоят из твердых материалов, нерастворимы в воде и неразлагаемы» [33].

«Неразлагаемость означает неспособность материалов минерализовываться или распадаться на составные химические элементы в течение достаточно долгого времени (вечно существующих материалов не бывает, те же частицы пластика разрушаются путем фотодеструкции). Последствия заключаются в том, что эти материалы являются стойкими загрязнителями синтетического происхождения» [34].

«Микропластик, загрязняющий природные воды, можно разделить на две подгруппы. К первой подгруппе относятся микроскопические частички промышленного производства от гранул, предназначенных для производства пластмасс до сферических или аморфных частиц синтетических полимеров, которые используются при производстве лечебных, гигиенических и

косметических средств (загустители, регуляторы вязкости, пленкообразователи, скрабы, матрицы для доставки активных ингредиентов и т.п.). (таблица 2) [28]. Ко второй группе – текстильные микроволокна, абразивные материалы лакокрасочной промышленности и фрагменты более крупных пластиковых предметов. Значительную часть их составляют упаковка и одноразовые изделия (все, что будет использовано и выброшено в течение одного года – пластиковая посуда, бутылки, контейнеры для еды), включая «биоразлагаемые» полимеры. Считается, что такие полимеры разлагаются на территории свалок или в океанской воде в течение 1-2 года. Фактически же они распадаются на мелкодисперсные частицы, обладающие повышенной миграционной способностью в природной среде. Наиболее распространенными загрязнителями этого типа являются частицы бисфенола А и полистирола» [34, 35].

«Ежегодное поступление микропластика в Балтийское море оценивается в 130 т., установки по очищению сточных вод проходят до 10-30% частиц, которые при этом смешиваются с различными химическими загрязнителями и микробами. Частицы неразлагаемых полимеров попадают в неочищенные сточные воды или в осадок сточных вод, используемый в качестве удобрения в сельском хозяйстве, превращаются в захороненные твердые отходы или попадают в воды Мирового океана» [37].

«Меры борьбы с пластиковым загрязнением, известные на настоящий момент – ограничение производства одноразовых пластиковых предметов, максимальная замена их биodeградируемыми полимерами, получаемыми из окружающей среды, отдельный сбор и переработка мусора (что позволяет вторично использовать пластиковые материалы)» [34, 40].

Таблица 2 – Компоненты, считаемые микропластиком («По данным Программы ООН, опубликованным в 2015 г.)

Название полимера	Функциональность
Нейлон-12 (полиамид-12)	Увеличивает объем, контролирует вязкость, опацифайер (например, в кремах от морщин)
Нейлон-6	Увеличивает объем, контролирует вязкость
Полибутилентерефталат	Образует защитную пленку, контролирует вязкость
Полиэтиленизотерефталат	Увеличивает объем
Полиэтилентерефталат	Придает клейкость, образует пленку, фиксирует волосы, контролирует вязкость, придает эстетичность (например, блески в пене для ванной, блеск в декоративной косметике)
Полиметилметакрилат	Сорбент для основных компонентов
Полипентаэритилтерефталат	Пленкообразователь
Полипропилентерефталат	Стабилизация эмульсий, кондиционер для кожи
Полиэтилен	Абразив, пленкообразователь, контролирует вязкость, связывающий элемент для пудры
Полипропилен	Увеличивает объем, вязкость
Полистирол	Пленкообразователь
Политетрафторэтилен, тефлон	Увеличивает объем, модификатор скольжения, связывающий элемент, кондиционер для кожи
Полиуретан	Образует пленку (например, в масках для лица, кремах для загара, туши для ресниц)
Полиакрилат	Контролирует вязкость
Акрилат сополимер	Связывающее действие, фиксатор для волос, образует пленку, суспендирующий агент
Аллилстеарат/винилацетат сополимер	Фиксатор для волос, образует пленку
Этилен/пропилен/стирен сополимер	Контролирует вязкость
Этилен/метилакрилат сополимер	Пленкообразователь
Этилен/акрилат сополимер	Образует пленку в водостойких кремах для загара, придает вязкость (например, помаде, средствам для грима, кремам для рук)
Бутилен/этилен/стирен сополимер	Контролирует вязкость
Стирен акрилат сополимер	Эстетический эффект, цветные микросферы (в декоративной косметике)
Триметилсилоксилат	Образует пленку (в декоративной косметике, средствах для загара, средствах по уходу за кожей)

Данные приведены из открытых источников» [16].

«Частицы микропластика обнаруживаются в организмах до 90% обследованных людей, при этом характер наносимых ими повреждений не

установлен; указывают обычно возможные накопление в легких, закупорку сосудов, тромбообразование, канцерогенный эффект. Соответственно, не регламентирован и уровень загрязнения (ПДК). Показано, что в водной среде частицы микропластика легко колонизируются бактериями и захватывают различные виды загрязнителей [24]. Эти частицы накапливаются главным образом в поверхностном слое воды, частично обнаруживаются и в донном осадке. При захвате планктонными рачками-фильтраторами необратимо связываются, не позволяя осуществлять дальнейшую фильтрацию пищи» [34, 35].

«Одним из вариантов повышения эффективности очистки воды от частиц микропластика является связывание взвешенных в водной среде мелких частиц полимерами с образованием рыхлых хлопьевидных скоплений - флокул. Биофлокулянты представляют собой полимеры биологического происхождения, к их числу относятся крахмал, полиальгинаты, лигносульфоновые и гуминовые кислоты, хитозан, а также биомасса клеток микроорганизмов или продукты их метаболизма.

В качестве хлопьеобразователей-биофлокулянтов могут быть использованы бактериальные полисахариды или продукты гидролиза биомассы микроорганизмов» [21].

«Наиболее простым способом получения биофлокулянтов, связывающих частицы микропластика может быть щелочной гидролиз суспензии микроорганизмов, например, дрожжей или активного ила. При этом в жидкую среду выделяются растворимые белки, которые вместе с клеточными оболочками могут служить достаточно эффективными флокулянтами» [21].

«В процессах биологической очистки сточных вод образуется избыточное количество активного ила (отхода), которое необходимо удалять из системы очистки. На каждые 100 т растворенных в стоках органических веществ образуется 50 т избыточного активного ила. Активный ил - это искусственно (антропогенно) созданная экосистема, состоящая из множества

клеток микроорганизмов, объединенных биополимерным гелем в хорошо защищенное и организованное структурно-функциональное целое – хлопья. Высокая адсорбционная способность активного ила обусловлена его развитой поверхностью – до 100 м²/г сухой массы» [21].

«Флокулообразующие бактерии относятся к родам: *Actinomyces*, *Bacillus*, *Brevibacterium*, *Cellulomonas*, *Micrococcus*, *Mycobacterium* и др. Наиболее многочисленны бактерии р. *Pseudomonas* – до 80% от численности бактерий активного ила. В геле содержатся главным образом полисахариды (молекулярный вес 20000-1000000 и выше), состоящие из одного или нескольких типов моносахаров. Основная роль в их образовании принадлежит капсульной палочковидной бактерии *Zoogloea ramigera*, близкой по свойствам к псевдомонадам. Применение активного ила для флокуляции позволяет в ряде случаев снизить концентрацию взвешенных веществ в сточных водах на 60–70%» [21].

«Другим вариантом может быть доочистка сточных вод иммобилизованными культурами микроводорослей и цианобактерий. Такие культуры содержат значительное количество полисахаридов и характеризуются сниженной скоростью роста и фотосинтеза при сохранении высокой скорости метаболизма» [8]. «Вариантом иммобилизации может быть синтетическое волокно, гранулы геля или биопленка, нарастающая на искусственном носителе, например, на дисковом фильтре» [2, 8, 14].

«Обычные дисковые фильтры состоят из пакетов дисков из коррозионно-стойкого (полистиров, пеностекло, алюминий) материала, закрепленных на общем валу. Вал с дисками вращается со скоростью 2-3 оборота в минуту в сторону течения очищаемой жидкости. Биопленка адсорбирует и перерабатывает органические вещества в условиях естественной аэрации. Толщина биопленки не превышает 5 мм, поэтому междисковое пространство (15-20 мм) не зарастает и хорошо вентилируется. Нарастающая пленка сползает с поверхности диска на дно лотка» [14].

«Осадок, содержащий флокулы и/или избыточную биомассу может использоваться для производства грунтов и удобрений. В данном случае речь идет не о сельском хозяйстве, а о городском озеленении или рекультивации свалок и карьеров: данных о том, что частицы микропластика оказывают отрицательное влияние на высшие растения нет» [34].

Вывод по первой главе:

Проанализированы данные о недавно появившемся, но уже достаточно распространенном типе загрязнителей водной среды – микроскопических частицах синтетических полимеров. Рассмотрены известные данные о их негативном воздействии на живые организмы, а также возможные методики биологической очистки сточных вод от микропластика и последующего использования отработанного органического материала.

Глава 2 Методы и технологии очистки воды от пластика

2.1 Анализ загрязнения водоёмов пластиками

Вода играет важную роль в нормальном функционировании человека. Это незаменимый ресурс для многих отраслей промышленности, который служит источником жизни для всего живого. Поэтому необходима тщательная очистка вода, поступающей на хозяйственные и питьевые нужды. В зависимости от качественных характеристик примесей и степени их образования существуют разные способы их очистки, т.е. комплекс работ, процессов и действий, направленных на удаление загрязняющих веществ и примесей из воды, поступающие из источника. При этом устраняются или разрушаются вредные вещества, которые оказывают негативное воздействие на потребителей водных ресурсов и экосистему в целом.

На сегодняшний день не существует универсального способа обеззараживания и очистки воды, поэтому на практике, как правило, используется комбинация различных методов и способов очистки. Общая классификация таких методов, следующая:

- механический способ;
- химический способ;
- физический способ;
- биологический способ;
- биохимический способ.

Методику очистки принимают на основании анализа состава загрязнений, а также от требуемой степени очистки. При этом учитываются и другие параметры - грунтовые условия, мощность очистного сооружения, особенности применяемых технологий и т.д.

На основании проведенного исследования можно выделить три основных направления для уменьшения количества микропластикового загрязнения в воде, которая подаётся на нужды хозяйственного и питьевого водоснабжения.

1) Снижение уровня загрязнения поверхностных источников пластиковыми отходами.

2) Применение биоразлагаемых пластиков.

3) Новые методы и технологии очистки воды от пластика.

Для обоснования выбора наиболее эффективного способа очистки воды от пластика необходимо провести анализ физических и химических свойств основных материалов, влияющих на загрязнение водных источников.

Таблица 3 – Основные материалы загрязняющие водоёмы

Вид мусора попадающего в водоёмы	Процентное содержание, %
Сигаретные окурки	27
Пластиковые пакеты	15
Пластиковые бутылки	10
Пластиковая посуда	9
Стеклянные бутылки	8
Алюминиевые банки	7
Крышки и колпачки	7
Упаковка из под еды	6
Соломки от коктейлей	6
Рыбацкие сети	5

Как видно из Таблицы 3 почти 75% мусора, попадающего в водоёмы, приходится на пластик, оставшиеся 25% Это другие материалы стекло, металлы, неорганические отходы, которые впоследствии оседают на дно, но и практически не попадают на водоприемники систем хозяйственного и питьевого водоснабжения [20]. Поэтому следует обратить особое внимание именно загрязнению различными фракциями пластиковых отходов.

2.1.1 Физические свойства полимеров, необходимые для выбора методов их удаления из воды

«Плотность (0,85—1,8 г/см³). Это физическое свойство очень важно для учёта прогнозирования и разработки методов очистки, т.к. характеризует способность пластика плавать на поверхности воды или тонуть.

Твёрдость пластмасс определяется по Бринеллю при нагрузках 50 — 250 кгс на шарик диаметром 5 мм.

Теплостойкость по Мартенсу — температура, при которой пластмассовый брусок с размерами 120 X 15 X 10 мм, изгибаемый при постоянном моменте, создающем наибольшее напряжение изгиба на гранях 120 X 15 мм, равное 50 кгс/см², разрушится или изогнётся так, что укреплённый на конце образца рычаг длиной 210 мм. переместится на 6 мм.

Теплостойкость по Вика — температура, при которой цилиндрический стержень диаметром 1,13 мм под действием груза массой 5 кг (для мягких пластмасс 1 кг.) углубится в пластмассу на 1 мм.

Температура хрупкости (морозостойкость) — температура, при которой пластичный или эластичный материал при ударе может разрушиться хрупко.

Особые свойства полимеров объясняются не только большой молекулярной массой, но и тем, что макромолекулы имеют цепное строение и обладают уникальным для неживой природы свойством — гибкостью» [7].

2.1.2 Классификация полимеров

«По химическому составу все полимеры подразделяются на органические, элементоорганические, неорганические.

Органические полимеры. Образованы с участием органических радикалов (СН₃, С₆Н₅, СН₂). Это смолы и каучуки.

Элементоорганические полимеры. Они содержат в основной цепи органических радикалов неорганические атомы (Si, Ti, Al), сочетающиеся с органическими радикалами. В природе их нет. Искусственно полученный представитель – кремнийорганические соединения.

Неорганические полимеры. Их основу составляют оксиды Si, Al, Mg, Ca и др. Углеродный скелет отсутствует. К ним относятся керамика, слюда, асбест.

Следует отметить, что в технических материалах часто используют сочетания отдельных групп полимеров. Это композиционные материалы (например, стеклопластики).

По форме макромолекул полимеры делят на линейные, разветвленные, ленточные, пространственные, плоские.

По фазовому составу полимеры подразделяются на аморфные и кристаллические.

Аморфные полимеры однофазны и построены из цепных молекул, собранных в пачки. Пачки могут перемещаться относительно других элементов.

Кристаллические полимеры образуются тогда, когда их макромолекулы достаточно гибкие и образуют структуру.

По полярности полимеры подразделяют на полярные и неполярные. Полярность определяется наличием в их составе диполей – молекул с разобщенным распределением положительных и отрицательных зарядов. В неполярных полимерах дипольные моменты связей атомов взаимно компенсируются.

По отношению к нагреву полимеры подразделяют на термопластичные и термореактивные.

Термопластичные полимеры (полиэтилен, полипропилен, полистирол) при нагреве размягчаются, даже плавятся, а при охлаждении затвердевают. Этот процесс обратим.

Термореактивные полимеры на первой стадии образования имеют линейную структуру и при нагреве размягчаются, а затем, по причине протекания химических реакций, затвердевают (образуя пространственную структуру) и в дальнейшем остаются твердыми» [6].

2.2 Основные типы пластика

Около 90% от общего количества производимых пластмасс составляют разновидности, показанные на рисунке 17.

						
PETE	HDPE	PVC	LDPE	PP	PS	OTHER
Полиэтилен терефталат	Полиэтилен высокой плотности	Поливинил хлорид (ПВХ)	Полиэтилен низкой плотности	Полипропилен	Полистирол	Прочие виды пластика
РЕТЕ или РЕТ Безопасность: подходит только для однократного применения. При повторном применении могут выделяться фталаты. Применение: хранится большинство напитков, растительных масел, кetchupов, специй, косметических средств.	HDPE или PE HD Безопасность: считается относительно безвредным, хотя из него может выделяться формальдегид. Применение: изготавливается одноразовая посуда, контейнеры для пищевых продуктов, бутылки для косметических средств, фасовочные пакеты, сумки, игрушки.	PVC или V Безопасность: запрещен для пищевого применения. Может содержать бисфенол А, винилхлорид, фталаты, ртуть и/или кадмий. Применение: изготавливаются оконные профили, элементы мебели, пленка для натяжных потолков, трубы, скатерти, занавески, напольные покрытия, тара для технических жидкостей. Не подлежит переработке	LDPE или PEVD Безопасность: относительно безопасен для пищевого применения, в редких случаях может выделять формальдегид. Применение: изготавливают большинство видов пакетов, мусорных мешков, компакт-дисков, линолеумов.	Маркировка PP Безопасность: довольно безопасен, но при определенных условиях может выделять формальдегид. Применение: изготавливают пищевые контейнеры, упаковки для продуктов питания, шприцы, игрушки.	Маркировка PS Безопасность: может выделять стирол, поэтому одноразовая посуда и называется одноразовой. Применение: изготавливается почти вся одноразовая посуда, стаканчики для йогурта, лоточки под мясо, фрукты и овощи, контейнеры для еды, игрушки, сэндвич панели, теплоизоляционные плиты.	O или OTHER Поликарбонат, полиамид и виды пластмасс, не получившие отдельный номер. Безопасность: содержит Бисфенол А, точнее некоторые из них содержат, а некоторые пластмассы из этой группы, наоборот, отличаются повышенной экологической чистотой. Применение: изготавливаются бутылочки для детей, игрушки, бутылки для воды, упаковки. Не подлежит переработке

Рисунок 17 – Основные типы пластика

Данные разновидности пластика используются при производстве:

- 1) Полиэтилентерефталат (ПЭТ, PET, или PETE). Используется для производства имплантатов, частей электроприборов, промышленных машин, автомобилей.
- 2) Полиэтилен высокого давления (ПЭВД, или HDPE). Из этого материала делают пакеты, компакт-диски, упаковочную пленку, бутылки, ящики для бутылок, бочки, корпуса аккумуляторов, миски, ведра и многое другое.
- 3) Поливинилхлорид (ПВХ, или PVC). Идет на изготовление шлангов, напольных покрытий, обоев, кровельного полотна.
- 4) Полиэтилен низкой плотности (высокого давления) (ПЭНД, или LDPE).
- 5) Полипропилен (ПП, или PP). Используется в автомобилестроении, производстве мебели, искусственных газонов, сидений для унитазов, стерилизуемых медицинских приборов.

б) Полистирол (ПС, или PS). Из него состоят упаковки для пищевых продуктов, изоляционные материалы, кожзаменители, части и детали электрооборудования.

7) Полиуретан (ПУР, или PUR). Применяется для изготовления губок для посуды, мебели для сидения, матрасов, антикоррозионного покрытия для машин.

2.2.1 Полиэтилен

«Одним из наиболее часто встречающихся веществ, которая загрязняет поверхностные источники водоснабжения является полиэтилен в различных его модификация. Рассмотрим подробнее этот материал.

Полиэтилен — термопластичный полимер этилена. Является органическим соединением и имеет длинные молекулы $\dots\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—}\dots$, где «—» обозначает ковалентные связи между атомами углерода (рисунок 18). Самый распространённый в мире пластик.

Представляет собой воскообразную массу белого цвета (тонкие листы прозрачны и бесцветны). Химически и морозостоек, изолятор, не чувствителен к удару (амортизатор), при нагревании размягчается (80—120°C), при охлаждении застывает, адгезия (прилипание) — чрезвычайно низкая. Плотность 0,94-0,96 г/см³, соответственно, полиэтилен практически всегда находится на поверхности воды, за исключением случаев затопление более тяжёлыми веществами, например, песком, мусором» [25].

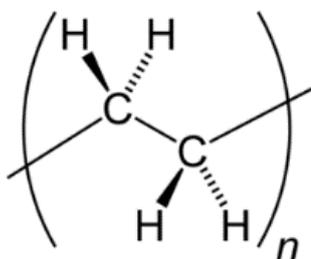


Рисунок 18 – Молекула полиэтилена

«Промышленностью выпускаются несколько разновидностей полиэтилена. Ниже приводится расшифровка названия, русское и международное обозначение.

Полиэтилен низкой плотности (высокого давления) — ПЭНП, ПВД, LDPE (Low Density Polyethylene).

Полиэтилен высокой плотности (низкого давления) — ПЭВП, ПНД, HDPE (High Density Polyethylene).

Полиэтилен среднего давления (высокой плотности) — ПСД,

Линейный полиэтилен средней плотности — ПЭСЦ, MDPE или PEMD.

Линейный полиэтилен низкой плотности — ЛПЭНП, LLDPE или PELLD.

Полиэтилен очень низкой плотности — VLDPE.

Полиэтилен сверхнизкой плотности — ULDPE.

Металлоценовый линейный полиэтилен низкой плотности — MPE.

Сшитый полиэтилен — PEX или XLPE, XPE.

Высокомолекулярный полиэтилен — ВМПЭ, НМWPE, PЕНMW или VHMWPE.

Сверхвысокомолекулярный полиэтилен — УНМWPE» [35].

Рассмотрим некоторые химические свойства данного материала.

«Устойчив к действию воды, не реагирует со щелочами любой концентрации, с растворами нейтральных, кислых и основных солей, органическими и неорганическими кислотами. Со временем подвергается деструкции с образованием поперечных межцепных связей, что приводит к повышению хрупкости на фоне небольшого увеличения прочности. Нестабилизированный полиэтилен на воздухе подвергается термоокислительной деструкции (термостарению). Термостарение полиэтилена проходит по радикальному механизму, сопровождается выделением альдегидов, кетонов, перекиси водорода и др.

Изделия из полиэтилена пригодны для переработки и последующего использования. Полиэтилен (кроме сверхвысокомолекулярного)

перерабатывается всеми известными для пластмасс методами, такими как экструзия, экструзия с раздувом, литьё под давлением, пневматическое формование. Экструзия полиэтилена возможна на оборудовании с установленным «универсальным» червяком.

Плесневые грибки *Penicillium simplicissimum* способны за три месяца частично утилизировать полиэтилен, предварительно обработанный азотной кислотой. Относительно быстро разлагают полиэтилен бактерии *Nocardia asteroides*. Некоторые бактерии, обитающие в кишечнике южной амбарной огнёвки (*Plodia interpunctella*), способны разложить 100 мг полиэтилена за восемь недель. Гусеницы большой восковой моли, или огнёвки пчелиной (*Galleria mellonella*) могут утилизировать полиэтилен еще быстрее» [35].

2.2.2 Полиэтилентерефталат

Полиэтилентерефталат (полиэтиленгликольтерефталат, ПЭТФ, ПЭТ, ПЭТГ, лавсан, майлар). Продукт поликонденсации этиленгликоля с терефталевой кислотой (рисунок 19). Одним из важных параметров ПЭТ является характеристическая вязкость, определяемая длиной молекулы полимера. С увеличением присущей вязкости скорость кристаллизации снижается. Прочен, износостоек, хороший диэлектрик, плотность — 1,38—1,4 г/см³.

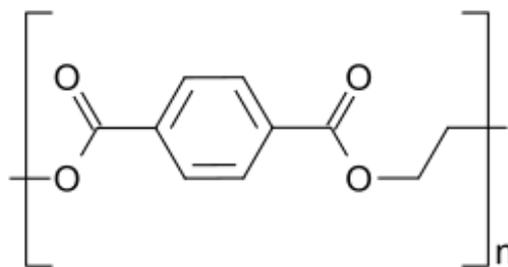


Рисунок 19 – Молекула полиэтилена

Полиэтилентерефталат самое массовое из всех видов химических волокон для бытовых целей (одежда) и техники. Ёмкости для жидких

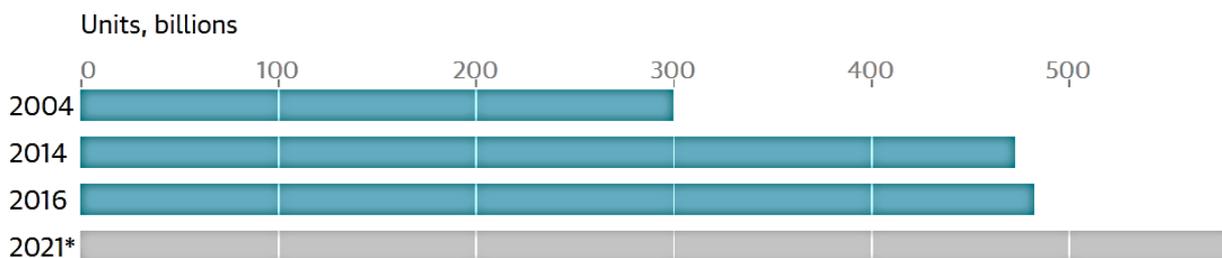
продуктов питания, особенно ёмкости (бутылки) для различных напитков. Основным материалом для армирования автомобильных шин, транспортёрных лент, шлангов высокого давления и других резинотехнических изделий, и пр.

ПЭТ-бутылка была запатентована в 1973 году, с 1977 года началась промышленная переработка использованной ПЭТ-тары. ПЭТ на Западе (прежде всего в США), начался выпуск пластиковой бутылки путем выдувания с контролируемой формой.

Пластиковая бутылка из ПЭТ была значительно дешевле и практичнее стеклянной бутылки, а главное, несмотря на химический характер ее производства, ПЭТ-бутылка легко перерабатывается несколько раз. Первая ПЭТ бутылка была переработана еще в 1977 году.

Сегодня пластиковая бутылка из ПЭТ является одним из самых популярных видов тары в мире. Большая часть газировки и питьевой воды в США упаковывается именно в ПЭТ. Схожим образом обстоят дела в России. Но в нашу страну пластиковая бутылка по-настоящему пришла только в 90-е годы XX века. Переработке ПЭТ-бутылок уделяют особое внимание, во многих регионах их собирают отдельно от других бытовых отходов [9, 17]. В июне 2017 года каждую секунду в мире производили 20 тыс. ПЭТ бутылок, а покупали каждую минуту около 1 млн. Был сделан прогноз, что к 2021 году это число станет больше примерно на 20 % (рисунок 20). Каждую минуту во всем мире покупается миллион пластиковых бутылок, и к 2021 году это число вырастет еще на 20%, создавая экологический кризис, который, по прогнозам некоторых участников кампании, будет столь же серьезным, как изменение климата. Спрос, эквивалентный примерно 20 000 бутылок, покупаемых каждую секунду, обусловлен явно ненасытным желанием бутилированной воды и распространением западной, урбанизированной культуры «на ходу» в Китае и Азиатско-Тихоокеанском регионе [27].

Global PET plastic bottle production



Guardian graphic | Source: Euromonitor. * forecast

Рисунок 20 – Мировое производство пластиковых бутылок из ПЭТ

Полиэтилентерефталат-гликоль (ПЭТГ) — это разновидность листового ПЭТа: высокоударопрочный листовый пластик из полиэтилентерефталата с добавлением гликоля (по международному обозначению PET-G).

2.2.3 Ацетилцеллюлоза

Ацетилцеллюлоза — сложные эфиры целлюлозы и уксусной кислоты (рисунок 21) белая аморфная масса; плотность около 1300 кг/м³. Сырьём для получения ацетилцеллюлозы служит хлопок или древесная целлюлоза. Ацетилцеллюлоза обладает высокой светостойкостью и негорючестью. На основе ацетилцеллюлозы изготавливают прочные пластмассы.

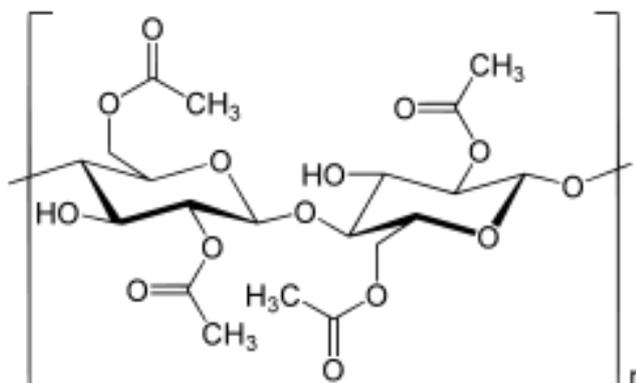


Рисунок 21 – Молекула ацетилцеллюлозы

Ацетатные волокна — один из основных видов искусственных волокон; получают из ацетилцеллюлозы. В зависимости от типа исходного сырья различают триацетатное волокно (из триацетилцеллюлозы) и собственно ацетатные волокна (из частично омыленной, т. е. вторичной, ацетилцеллюлозы).

Большинство сигаретных фильтров изготовлены из ацетилцеллюлозы и содержат тысячи полимерных волокон, которые не разрушаются в природе. Выброшенные фильтры — один из самых частых видов мусора [<http://www.longwood.edu/cleanva/ciglitterarticle.htm>]. В 2006 году группа International Coastal Cleanup сообщила, что сигареты и сигаретные фильтры составляли около четверти всего мусора, собранного на побережьях, что в два раза больше, чем для других видов мусора.

2.2.4 Полипропилен

«Полипропилен (PP) — термопластичный полимер пропилена (пропена). Полипропилен получают полимеризацией пропилена в присутствии металлокомплексных катализаторов (рисунок 22). Параметры, необходимые для получения полипропилена близки к тем, при которых получают полиэтилен низкого давления. При этом, в зависимости от конкретного катализатора, может получаться любой тип полимера или их смеси. Полипропилен выпускается в виде порошка белого цвета или гранул с насыпной плотностью 0,4—0,5 г/см³. В отличие от полиэтилена, полипропилен менее плотный (плотность 0,91 г/см³, что является наименьшим значением вообще для всех пластмасс), более твёрдый (стойк к истиранию), более термостойкий (начинает размягчаться при 140 °С, температура плавления 175 °С), почти не подвергается коррозионному растрескиванию. Обладает высокой чувствительностью к свету и кислороду, чувствительность понижается при введении стабилизаторов» [37].

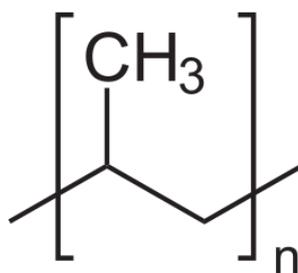


Рисунок 22 – Молекула полипропилена

«Полипропилен применяется для производства плёнок (особенно упаковочных), мешков, тары, труб, деталей технической аппаратуры, пластиковых стаканчиков, предметов домашнего обихода, нетканых материалов, электроизоляционный материал, в строительстве для вибро- и шумоизоляции межэтажных перекрытий в системах «плавающий пол». При сополимеризации пропилена с этиленом получают некристаллизующиеся сополимеры, которые проявляют свойства каучука, отличающиеся повышенной химической стойкостью и сопротивлением старению.

В мире наблюдается перепроизводство полипропилена: сейчас переизбыток оценивается в размере 7,4 млн т. в год, в 2015 году при ожидаемом объёме мирового потребления 66 млн т. производственные мощности составят 79 млн т. Российское производство полипропилена началось в 1981 году на Томском нефтехимическом комбинате (ныне принадлежит «Сибур»). В 1990-е годы установки по производству полипропилена были построены на Московском НПЗ («Газпром нефть» и «Сибур») и «Уфаоргсинтезе» («Башнефть»). В 2007 году производство полипропилена открылось на будённовском Ставролене («Лукойл»), а в 2013 году на омском Полиоме.

Основные способы переработки — формование методами экструзии, вакуум- и пневмоформования, экструзионно-выдувного, инжекционно-выдувного, инжекционного, компрессионного формования, литьё под давлением» [37].

2.3 Способы борьбы с загрязнением водоемов пластиковыми отходами

Решение проблемы загрязнения океанами микро-пластиками является важной задачей. Для решения этой проблемы на сегодняшний день предложено несколько решений: повышение осведомленности и изменение поведения производителей и граждан, адаптация для постпереработки рецептуры продукции, ограничение промышленных и бытовых выбросов, адаптация очистных сооружений. Параллельно разрабатываются проекты по очистке загрязнения, уже присутствующего в открытых водных источниках.

По данным исследования, опубликованного в PLoS ONE – международного междисциплинарного рецензируемого научного журнала с открытым доступом для публикаций, который публикует научные исследования и обзоры в сфере естественных и медицинских наук. В конце 2019 года, более 5250 миллиардов микрофрагментов или почти 270 000 тонн пластика выброшено в открытые водоемы. Эти микро-пластмассы размером менее 5 миллиметров возникают из-за фрагментации под механическим воздействием волн, ветра и песка и химическим действием УФ-излучения, сбрасываемых пластмасс, (мешки, бутылки, упаковка). Они также поступают из промышленных отходов при производстве пластмасс, а также из косметической и текстильной промышленности.

К 2025 году количество пластиковых отходов, попадающих в морскую среду, может увеличиться в десять раз, если не будет улучшен контроль за отходами. Согласно исследованию, представленному Всемирным экономическим форумом в Давосе, соотношение тонн пластика к тоннам рыбы составляло один к пяти в 2014 году, будет один к трем в 2025 году и превысит один к одному в 2050 году.

По оценкам ученых, макро-пластиковые отходы, обнаруженные в море, поступают примерно на 80 % с открытых свалок, отходов, брошенных в дикой природе, и при экстремальных погодных явлениях (штормов, цунами).

Остается 20 % мусора, выброшенного за борт с туристических судов, торгового флота и рыбаков. Поэтому следует ожидать, что фрагментация этих макро-отходов на микро-пластмассы резко возрастет в ближайшие годы из-за увеличения численности населения и потребления пластика.

Ниже предлагаются мероприятия по борьбе с ростом загрязнением открытых водных источников, выработанные с учетом международного опыта.

2.3.1 Сокращение промышленных и бытовых выбросов

Европейские производители пластмасс, представленные компанией PlasticsEurope, сходятся во мнении: необходимо расширить переработку пластика, уменьшить его захоронение и предотвратить попадание в водоёмы макро-и микро-пластиковых отходов. Чем лучше будет налажено производство, тем меньше будет макро-пластиковых отходов в водотоках и в море, и, тем более, меньше микро-пластмасс в будущем. Их основное внимание уделяется повышению осведомленности работников заводов о том, чтобы в водоёмы не попадали пластиковые гранулы, используемые в качестве сырья для изготовления пластиковой продукции (операция Clean Sweep).

Для уменьшения загрязнения предлагается запретить микро-шарики в косметике. США уже подошли к этому, в конце 2015 года они приняли закон, который запретит использование этих продуктов с начала 2017 года. Европейский союз может последовать этому примеру в ближайшее время. Ряд промышленников не стали дожидаться вступления в силу этого запрета. В конце 2012 года компания Unilever объявила, что к 2015 году прекратит использование пластиковых микро-шариков в своей косметике. За этим движением последовали другие компании: Colgate-Palmolive, L'Oréal, Clarins, The Body Shop, Lush и др.

Таким образом, для сведения к минимуму выбросов, нужно принять меры по борьбе с загрязнением в источниках. Первый шаг – улучшить очистку сточных вод, чтобы очистные сооружения максимально задерживали эти микро-пластмассы. В Европе уже существует пилотные проекты по разработке специальных фильтров для задерживания микро-пластиковых отходов.

2.3.2 Административная поддержка и повышение осведомленности всех заинтересованных сторон

Во Франции закон о переходе на зеленую энергетику предусматривает запрет одноразовых пластиковых пакетов с 1 июля 2016 года и запрет на пластиковую столовую посуду с 1 января 2020 года. Для улучшения переработки пластмасс правила сортировки будут распространены на всю пластиковую упаковку начиная с 2022 года. Закон также предусматривает сокращение пластмассовых свалок и увеличением доли перерабатывающих предприятий, в том числе и с рекуперацией энергии (использование пластика в качестве топлива). Также требуется вести активную работу не только в Европе, но и в наиболее загрязненных районах, особенно в Азии, помогать производителям и повышать осведомленность всех участников.

Это может быть сделано, в частности, в рамках Всемирного совета производителей пластмасс, Всемирного совета по пластику (WPC), в состав которого входят производители из Европы, Азии, Ближнего Востока, Южной и Северной Америки (однако, африканские производители в эту организацию не входят). Например, бассейн Средиземного моря, где проживает 450 миллионов жителей 22 стран, свидетельствует о совместной ответственности различных стран, а также о сложности согласованных решений. Средиземное море одно из самых загрязненных пластиком морей в мире, это плавающие пластмассы, пластмассы, найденные на пляжах или на морском дне. Согласно исследованию, опубликованному в PLoS ONE, в море находится 247 миллиардов частиц плавающих пластмасс или 23 150 тонн. Загрязнение происходит главным образом в Магрибе, Египте и Ливане: структуры обработки отходов остаются в зачаточном состоянии, а открытые свалки по-прежнему широко развиты.

2.3.3 Альтернативные проекты по очистке океанов

Несмотря на все предпринимаемые меры, в предстоящие десятилетия микро-фрагменты будут продолжать загрязнять океаны. В дальнейшем

решение этой проблемы потребует всё более кардинальных решений. Некоторые из этих альтернативных проектов рассмотрим ниже.

Самый громкий проект - Ocean Cleanup, который разработал голландец Боян Слат. Его идея: развернуть серию плавающих барьеров, этакую гигантскую воронку, концентрируя и возвращая обломки к платформе, способной их собирать либо перерабатывать. Предлагаемое конструктивное решение позволит бороться только с макро-отходами, плавающими на поверхности воды. Проект SeaVax, может дополнить решение Бояна Слата для удаления микро-фрагментов пластика, плавающих на поверхности. SeaVax – это лодка, пользующаяся солнечной и ветровой энергией, разработанная компанией Bluebird Marine Systemes LTD. В настоящее время разрабатывается прототип. По мнению конструкторов, судно SeaVax должно генерировать достаточно энергии для переработки 89,9 млн литров морской воды. В воде, богатом микро-пластмассами, он может засосать и хранить 150 тонн пластмассового мусора. SeaVax стремится создать инфраструктуру для переработки мусора на суше.

В середине марта открытие, сделанное японскими исследователями, появившееся в Science, заполонило заголовки газет: бактерия сможет съесть пластик и разорвать его молекулярные связи! Средства массовой информации ухватились за эту тему и разделили энтузиазм исследователей, которые видят в ней возможное прекращение загрязнения моря. Если обнаруженные бактерии атакуют только полиэтилентерефталат (ПЭТ), исследователи стремятся обнаружить другие бактерии, разрушающие другие пластмассы (раздел 2.3.5).

Единственное долгосрочное решение - действовать на суше, рядом с источником, чтобы пластик не попадал в воду. С этой точки зрения Фонд Race for Water разрабатывает небольшие установки для газификации (регенерации) пластика для производства электроэнергии. Одна пятитонная единицаустановка может превращать 1680 тонн пластиковых отходов в год, вырабатывая 3500 мегаватт-часов энергии. Достаточно, чтобы покрыть

потребности в электроэнергии 2000 человек - сообщает Swissinfo. Фонд надеется использовать эту технологию для запуска пилотного проекта на острове Пасхи в конце 2016 года, прежде чем распространить его на другие острова и прибрежные города, которые являются основными источниками загрязнения океана.

2.3.4 Решение в руках граждан

Несмотря на все эти проекты, большая часть пластиковых фрагментов, уже найденных в море, и все отходы, затонувшие на морском дне, останутся в океанах. Для предотвращения дальнейшего роста загрязнения крайне важно, чтобы потребители изменили свое поведение. Проекты морских сборщиков сложны, поэтому важно мобилизоваться на суше для изменения поведения. Различные информационно-пропагандистские кампании или операции по уборке проводятся различные государственные, общественные, экологические организации. Изменение поведения граждан предполагает, в первую очередь, не выбрасывать в природу ни одного мусорного пакета. Предполагается понимание того, что любое действие может повлиять на загрязнение воды: окурок, брошенный в канаву, косметика, содержащая микро-шарики, или стирка синтетической одежды.

2.3.5 Альтернатива пластику

В настоящее время проводятся различные исследования, направленные на поиск альтернатив полимерным материалам.

«Грибы – замена пенополистирола. Грибы используют при производстве защитной упаковки, акустических систем, изоляции, товаров для отдыха. Каков механизм? Например, при росте гриба на древесной целлюлозе он разлагает древесину, параллельно склеивая целлюлозу вместе. Так формируется композит. При нагревании уже готового изделия мицелий гриба инактивируется, и в итоге получается прочный и легкий материал

Водоросли – биопластик Solaplast. Водоросли собирают, размельчают в гранулы и используют для изготовления оправ для очков, USB-накопителей, игрушек, брелков, упаковки для продуктов.

Картофельный крахмал – Крахмалистый остаток, который остается после производства картошки фри и чипсов — экологически чистый компонент для изготовления биопластических сумок.

Сорго – сырье для производства съедобных столовых приборов.

Банановое дерево – его натуральные волокна являются долговечными и могут использоваться в процессе производства центробежно-формованных пластмасс (мусорные контейнеры, емкости для воды, дорожные конусы, лодки).

Опавшие листья – листья разновидностей диких лиан в Азии и Южной Америке — сырье для изготовления посуды» [33].

Научные исследования в сфере изучения новых упаковочных материалов ведется во многих лабораториях: что снижает величину пластикового загрязнения. Стоит помнить о альтернативе в виде хлопковых сумок, стеклянных бутылок.

«Пластик любого вида является весьма долговечным материалом, то есть, разлагается очень долго (450-500 лет). Если сохранится текущий уровень потребления пластика, то планета к тому времени, как начнут разлагаться первые пластиковые изделия, уже будет полностью покрыта долгоиграющими полимерами» [33].

«Каждый год в океан попадает 150 тонн пластикового мусора, включая бутылки, упаковки, рыболовные сети.

Из-за пластиковых отходов в океане гибнут миллионы морских обитателей ежегодно.

Микропластик обнаружен и в организмах глубоководных животных: а значит, пластиковое загрязнение добралось уже на километровые глубины.

В океане образовалось уже 5 больших мусорных пятна: одно в Индийском океане, по два в Атлантическом и Тихом.

Очищение вод мирового океана от пластика требует огромных ресурсов. Причем важно не только финансирование, но и разработка эффективных инновационных средств по сбору и ликвидации отходов, попавших в воду.

Микропластик попадает в почву, воздух и воду, оказывая отрицательное влияние и на окружающую среду, и на здоровье человека.

На свалках присутствуют различные виды пластмасс, процесс их разрушения ускоряют различные микроорганизмы. При деградации биоразлагаемых пластиков в воздух выделяется метан — парниковый газ, влияющий на процесс глобального потепления.

Вред пластика для животных заключается в том, что животные могут принимать полимеры за пищу, отравляя свои организмы.

Кроме того, животные могут запутываться в пластике и погибать.

Человек не всегда использует пластиковые изделия правильно. Например, нагревает в микроволновке пищу в тех контейнерах, в которых этого делать нельзя из-за возможности выделения опасных веществ. Это оказывает существенный вред здоровью.

При повторном применении одноразовой пластиковой посуды повреждается ее защитный слой, выделяются опасные вещества: фенол, формальдегид, кадмий, свинец» [35].

«При употреблении спиртных напитков из пластиковой посуды велик риск попадания токсинов в организм, поскольку в спиртовой среде также нарушается целостность поверхностного слоя.

Интоксикация организма продолжается годами. Мы не замечаем этого, но опасные компоненты пластика скапливаются в организме. Что в итоге становится причинами разного рода проблем со здоровьем.

Некоторые полимеры являются провокаторами контактного дерматита.

Также нередки случаи развития бронхиальной астмы — еще один довод вреда пластика для человека.

Под действием токсинов, которые выделяет пластик, нарушается функциональность сердечно-сосудистой, иммунной, репродуктивной систем.

Вред сжигания пластика заключается в выделении в атмосферу большого количества токсичных веществ, поэтому утилизировать его таким способом недопустимо.

Невозможность перегнивания пластика — это основной фактор, который ухудшает экологическую обстановку. И создает проблему пластикового загрязнения из-за повсеместного применения полимерных материалов.

Отказаться от пластика на 100% не представляется возможным: многие сферы требуют применения полимерных материалов. Однако, в быту вполне можно найти альтернативы, сократив массовое потребление пластиковых изделий.

Химики из Японии открыли новый вид бактерий (*Ideonella sakaiensis* 201-F6), которые способны разлагать пластик (по крайней мере, полиэтилентерефталат — наиболее распространенный его вид). Исследование опубликовано в журнале «Science» [41]. Бактерии были обнаружены при помощи скрининга микробных организмов в естественных условиях (океане). *Ideonella sakaiensis* 201-F6 используют полиэтилентерефталат в своем углеродном и энергетическом обменах. Бактерии выделяют два фермента, разлагающие это соединение до экологически безопасных терефталевой кислоты и этиленгликоля. Открытие бактерий *Ideonella sakaiensis* 201-F6 дает надежды на прогресс в биоремедиации (переработки отходов с использованием организмов) [38]. Ранее похожие свойства были замечены только у небольшой группы грибов, которые ученые до сих пор не сумели приспособить для масштабной переработки промышленных отходов.

Выводы по второй главе:

На основании состава загрязнения, находящегося на поверхности водоёмов определён тип, химический и фракционный состав пластика, пути миграции и места скопления мусорных конгломератов. Изучен мировой опыт борьбы с пластиковым загрязнением, который можно разделить на ключевые моменты:

- 1) Определение источников, миграции, состав загрязнения;
- 2) Выявление причин загрязнения;
- 3) Определение влияния загрязнения на эко системы водных бассейнов;
- 4) Разработка мероприятий по устранению причин загрязнения;
- 5) Предложение способов очистки поверхностных водных источников.

Глава 3 Схема водоподготовки с ультрафильтрацией

В предыдущей главе рассмотрены основные типы пластика, который попадает в поверхностные источники водоснабжения. Определены их основные физические и, отчасти, химические свойства, наиболее важные для выявления тенденции загрязнения, разложения, опасного влияния на окружающую среду. На основании проведенного анализа, опираясь на предыдущий опыт, можно выделить основные направления по разработке принципиальной схемы водоподготовки, основанной на применении ультрафильтрации. К рассмотрим этот метод очистки более подробно.

«Ультрафильтрационная технология разделения растворов известна давно, она успешно применяется в пищевой, химической, микробиологической и других отраслях промышленности, однако в сфере водоснабжения об этом методе всерьез заговорили всего три-четыре года назад.

Это связано с появлением на рынке промышленно освоенных и коммерчески доступных мембран и аппаратов, а также отработкой надежной технологии их эксплуатации приурочено к масштабным изменениям в производстве инновационных мембранных аппаратов, специально предназначенных для работы в составе систем очистки природных вод. Новая отрасль промышленности долго осваивала и совершенствовала производство мембран с целью использования их на крупных водопроводных станциях.

Переход к ультрафильтрации вызван рядом причин, прежде всего – неудовлетворительным качеством питьевой воды в городах, связанным с ограниченными возможностями существующих очистных сооружений. Песчаные зернистые фильтры, входящие в состав всех станций водоподготовки, часто не в состоянии задержать очень мелкие частички (коллоиды), болезнетворные бактерии и вирусы, обычно развивающиеся в этих фильтрах. Именно на ультрафильтрационные мембраны «возложили»

обязанность доочистки питьевой воды, ведь эти мембраны имеют поры размером 0,01–0,1 микрон, позволяющие задерживать бактерии и вирусы» [2].

3.1 Теоретические основы процесса ультрафильтрации

«Производительность ультрафильтрационного мембранного аппарата при работе в «тупиковом» режиме описывается в общем виде следующей зависимостью:

$$Q = \frac{\Delta P \cdot S}{\mu \cdot (R_m + R_3 + R_{oc})}, \quad (1)$$

где ΔP – разница давлений над и под мембраной (исходной воды и фильтрата);

S – площадь мембран в аппарате;

μ – динамическая вязкость воды;

R_m – сопротивление мембраны;

R_3 – дополнительное сопротивление мембраны за счет закупоривания ее пор;

R_{oc} – сопротивление осадка на поверхности мембраны» [14].

«Изучение экспериментальных зависимостей падения производительности мембран, полученных различными исследователями, а также в наших опытах по ультрафильтрации речной воды и раствора хлорида железа показало, что наилучшим образом они отражаются следующим уравнением:

$$J = \frac{\Delta P}{\mu \cdot R_m} \cdot e^{-at} + \frac{\Delta P}{\mu \cdot \sqrt{(R_m + R_3)^2 + 2 \cdot b \cdot t}} \cdot (1 - e^{-at}), \quad (2)$$

где a – коэффициент, описывающий процесс закупоривания пор:

$$a = \frac{\alpha \cdot \Delta P \cdot C_{исх}}{\mu \cdot R_m}, \quad (3)$$

$C_{исх}$ – концентрация загрязнений в исходной воде;

b – коэффициент, описывающий образование осадка:

$$b = r_m \cdot C_{\text{исх}} \cdot \left(\frac{\Delta P}{\mu}\right), \quad (4)$$

r_m – удельное сопротивление осадка.

В результате адсорбции на мембране различных загрязнений ее производительность постепенно уменьшается, что описывается зависимостью:

$$R_m = R_{m0} \cdot \left(1 + k_{\text{адс}} \cdot (1 - e^{-pt})\right), \quad (5)$$

где R_{m0} – сопротивление чистой мембраны;

$k_{\text{адс}}$ – коэффициент пропорциональности, показывающей увеличение сопротивления мембраны за счет адсорбции загрязнений в зависимости от их концентрации в исходной воде;

p – коэффициент скорости адсорбции» [14].

«Величина R_z зависит от соотношения размеров частиц и пор мембраны, и ее абсолютное значение увеличивается для более тонкопористых мембран. Тем не менее, при микрофильтрации процесс забивания пор носит наиболее значительный характер, поскольку сопротивление мембраны больше, несмотря на то что относительное падение производительности в течение стадии закупоривания пор намного меньше.

Необходимо отметить, что природная вода – это сложная смесь частиц различной степени дисперсности: от молекул гуминовых кислот до глинистых частичек, поэтому в ней всегда будут присутствовать частицы, соизмеримые с порами ультрафильтрационных мембран. Поэтому полностью избежать стадии закупоривания пор путем подбора размера пор мембраны невозможно» [14].

Для расчета по приведенным формулам необходимо знать следующие величины: содержание взвешенных веществ в исходной воде, сопротивление

мембраны до и после закупорки пор, коэффициент a и удельное сопротивление осадка.

«Для прогноза падения производительности необходимо знать, какое количество загрязнений остается на мембране после каждого фильтроцикла и через какое время накопится такое их количество, которое вызовет падение производительности, максимально допустимое для данной системы очистки воды. Количество осадка, находящегося внутри мембранного элемента, равно разности между массой взвешенных и коллоидных веществ, задержанных мембраной, и массой загрязнений, вымытых из мембранного элемента во время обратных промывок:

$$M = M_{oc} - M_{пр}, \quad (6)$$

где M_{oc} – масса загрязнений, задержанных мембраной:

$$M_{oc} = (C_{исх} - C_{ф}) \cdot V_{ф}, \quad (7)$$

$M_{пр}$ – масса загрязнений, удаленных при обратных промывках:

$$M_{пр} = C_{пр} \cdot V_{пр}, \quad (8)$$

где $C_{исх}$, $C_{ф}$, $C_{пр}$ – концентрации взвешенных веществ или трехвалентного железа соответственно в исходной, промывной воде и фильтрате;

$V_{ф}$ и $V_{пр}$ – объем фильтрата и промывной воды.

В процессе удаления загрязнений при обратной промывке происходит вынос частиц осадка с поверхности и из пор мембраны. В первые моменты времени происходит раскрытие пор, что можно выразить через изменение дополнительного сопротивления R_3 :

$$R'_3 = R_3 \cdot \exp\left(-k_{зак} \cdot \frac{\Delta P_{пр}}{\Delta P_{ф}}\right), \quad (9)$$

где $k_{зак}$ – коэффициент раскупорки пор при обратной промывке,

$\Delta P_{пр}$ – давление при обратной промывке.

Процесс удаления осадка в зависимости от продолжительности промывки t :

$$M = M_0 \cdot \exp\left(-\frac{k'}{M_0^c} \cdot \left(1 - \exp\left(-k'' \cdot \frac{\Delta P_{пр}}{\Delta P_{\phi}}\right)\right) \cdot t\right), \quad (10)$$

где M_0 , M – количество осадка в начале и в конце промывки;
 c , k' , k'' – коэффициенты, определяемые экспериментально» [2].

«Основываясь на данной модели, можно рассчитать количество загрязнений, накопленных в мембранном аппарате через заданное число фильтроциклов, и определить его производительность к этому времени. Пример результатов расчета по описанной методике приведен на рисунке 23.

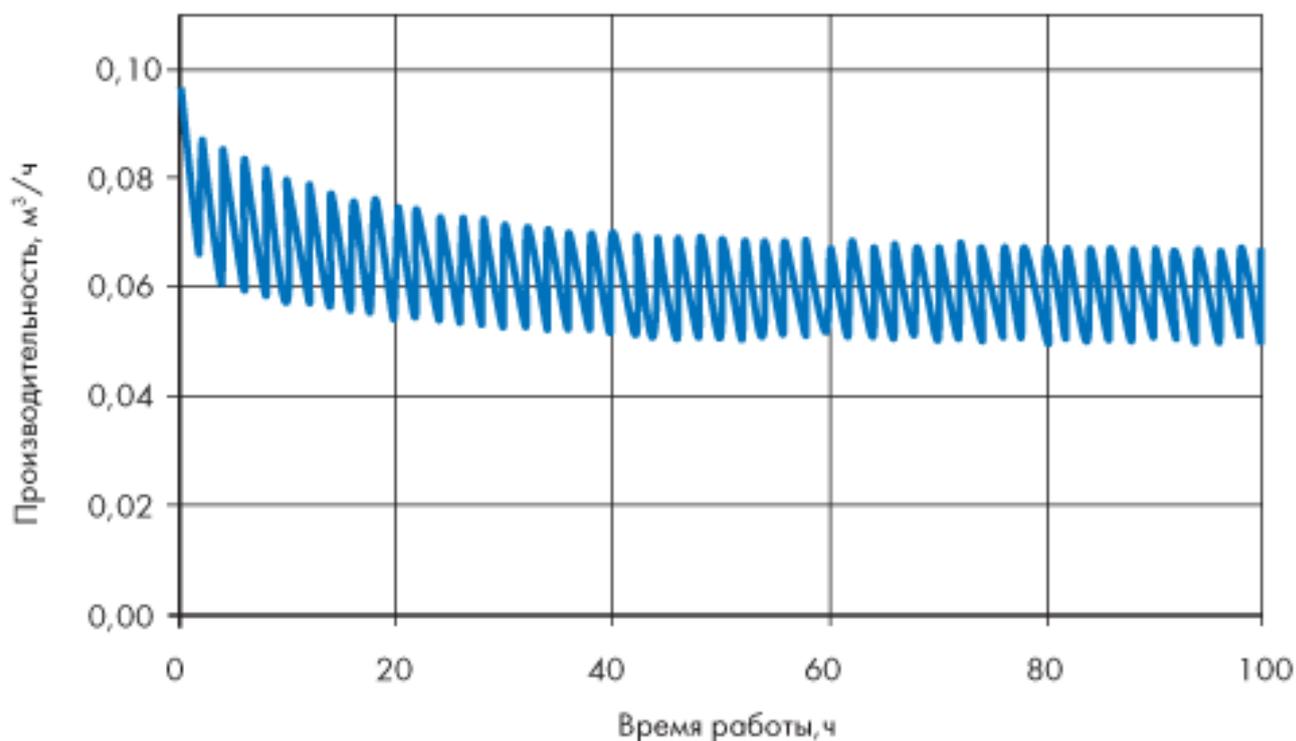


Рисунок 23 – График зависимости производительности ультрафильтрационной установки от времени (начальный участок кривой)

Изменяя продолжительность промывки и фильтроцикла, а также давление фильтрования и промывки, по указанным выше формулам или по

экспериментальным данным можно строить графики, отражающие зависимости объемов очищенной и промывной воды от изменяемых параметров. Оптимальные параметры находятся по наибольшей полезной производительности за расчетный промежуток времени (рисунок 24)» [2].

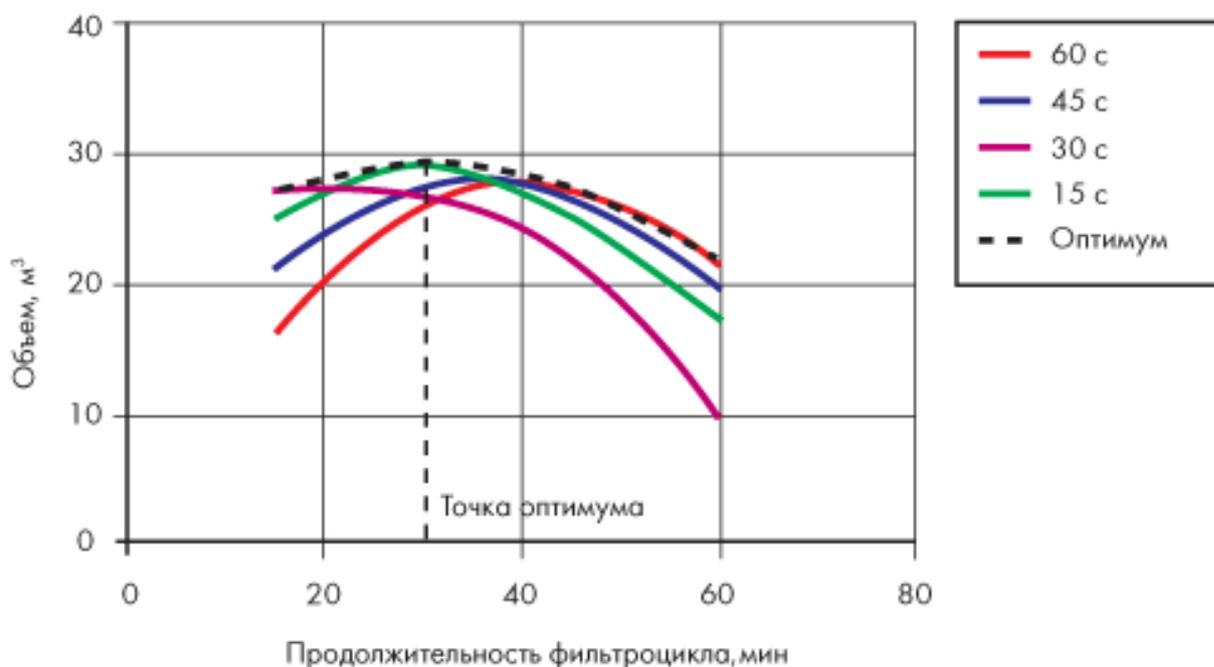


Рисунок 24 – Пример графической оптимизации продолжительности фильтроцикла

3.2 Схемы компоновки системы ультрафильтрации

Установки ультрафильтрации можно использовать в различных по сложности технологических процессах. В зависимости от качества входящей воды, компоновка этапов процесса очистки может быть выполнена в нескольких вариантах [1].

Вариант 1 (рисунок 25):

- грубая механическая очистка;
- ультрафильтрация.

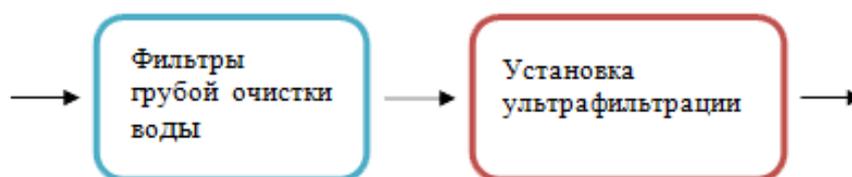


Рисунок 25 – Компоновки системы ультраfiltrации (Вариант 1)

Применяется для очистки воды, поступающей из скважины. Для входящего потока характерно высокое содержание взвешенных веществ при нахождении остальных параметров в пределах нормы.

Вариант 2 (рисунок 26):

- грубая механическая очистка;
- механическая filtration сквозь слой инертного материала;
- ультраfiltrация;
- filtration через слой сорбционного материала.

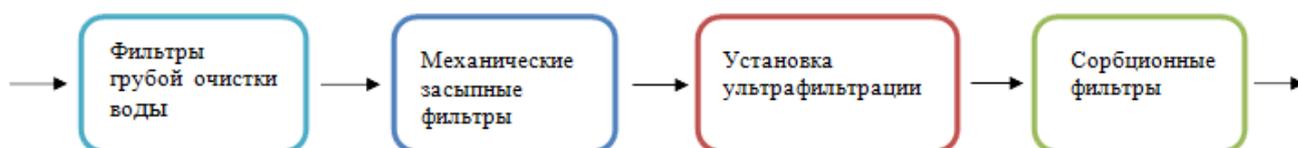


Рисунок 26 – Компоновки системы ультраfiltrации (Вариант 2)

Подобная схема применяется при обработке воды с высоким содержанием соединений железа, взвешенных веществ и повышенной мутности. Применяется для очистки воды, забираемой из открытых источников водозабора.

Вариант 3 (рисунок 27):

- грубая механическая очистка;
- ультраfiltrация;
- filtration через слой сорбционного материала;
- умягчение воды.



Рисунок 27 – Компоновки системы ультрафильтрации (Вариант 3)

Основная область применения – воды поверхностных источников, имеющие повышенное содержание солей магния и кальция.

Вариант 4 (рисунок 28):

- грубая механическая очистка;
- ультрафильтрация;
- фильтрация через слой сорбционного материала;
- обработка на установках обратного осмоса.



Рисунок 28 – Компоновки системы ультрафильтрации (Вариант 4)

Основное назначение – обработка воды с повышенным содержанием ионов тяжелых металлов и превышениями по регламентируемым органолептическим показателям. Параллельно может быть выполнена очистка от взвешенных веществ, солей железа, кальция и магния, частиц микропластика. На рисунке 29 представлена принципиальная схема водоподготовки, воды с поверхностных источников [12].

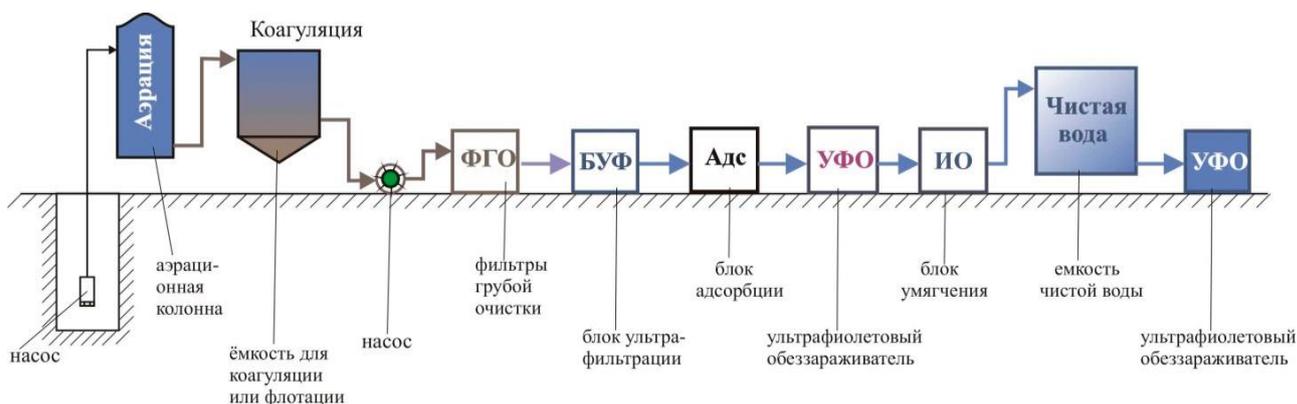


Рисунок 29 – Принципиальная схема водоподготовки

3.3 Технологическая схема ультрафильтрационной установки

В случае эксплуатации ультрафильтров в тупиковом режиме работа установки заключается в чередовании следующих режимов [1]:

- 1) Фильтрация;
- 2) Прямая промывка (факультативно);
- 3) Обратная промывка;
- 4) Химически усиленная промывка.

Переключение насосов и клапанов должно происходить таким образом, чтобы исключить появление в системе гидроударов. Изменение режима работы, требующее переключения между питающим насосом и насосом обратной промывки, должно предусматривать период простоя длительностью 5-10 секунд между завершением одного режима и включением другого. Принципиальная технологическая схема ультрафильтрационной установки представлена на рисунке 30, спецификация оборудования – в таблице 4 [12].

Перед ультрафильтрацией исходная вода проходит предварительную обработку. Крупные частицы удаляются сетчатым фильтром с размером ячеек не более 300 мкм. Мелкие взвешенные частицы и растворенные органические вещества эффективно связываются в хлопья с помощью коагуляции. В качестве коагулянтов рекомендуется использовать растворимые соли Fe(III) и Al(III). Не допускается использование органических коагулянтов и флокулянтов, т.к. они

необратимо загрязняют мембрану. Оптимальное значение рН при использовании железо- или алюминийсодержащего коагулянта составляет 6,8-7,0. При необходимости значение рН должно быть откорректировано. Во избежание необратимого загрязнения фильтр грубой очистки (сетчатый фильтр) целесообразно установить перед точкой ввода коагулянта в раствор. Время контакта коагулянта с раствором составляет 30-60 секунд. В случае, если необходимое время контакта не может быть достигнуто в трубопроводе, используется контактный резервуар. Доза коагулянта и время контакта являются параметрами оптимизации. Концентрация трехвалентного металла в фильтрате не должна превышать 1 % от его количества, добавленного в исходную воду [3].

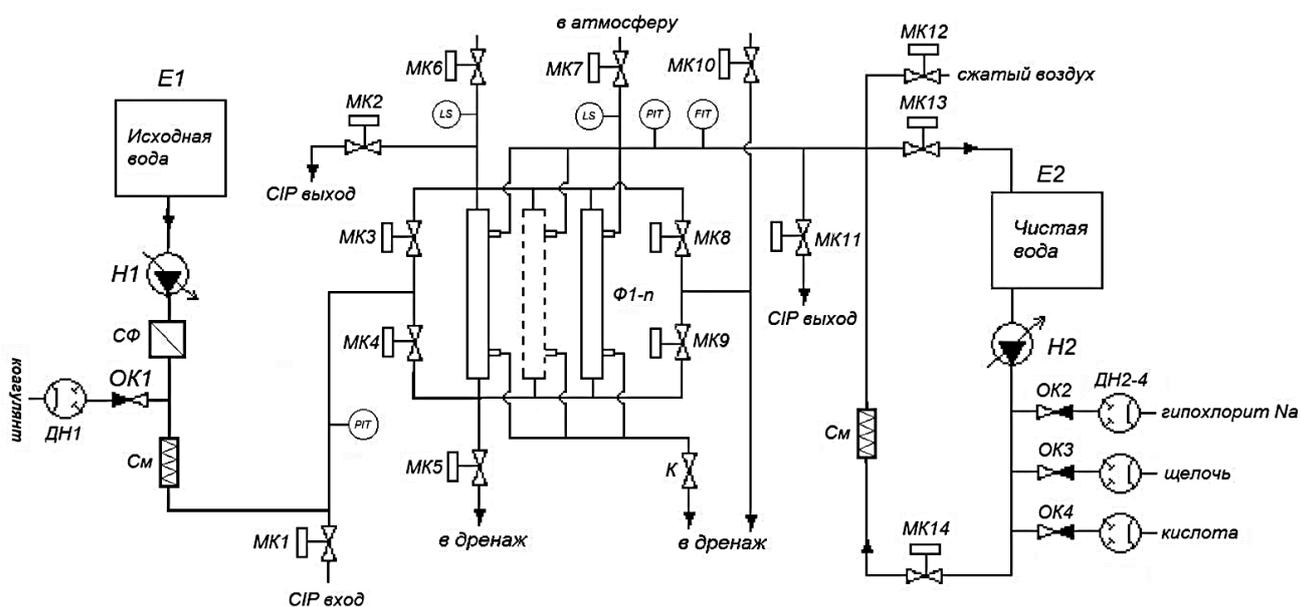


Рисунок 30 – Технологическая схема установки ультраfiltrации

Таблица 4 – Спецификация оборудования

Обозначение	Наименование	Количество
ДН1-4	Дозирующий насос	4
Е1,2	Емкость	2
К	Кран шаровой	1
МК1-14	Магнитный (соленоидный) клапан	14
Н1,2	Насос с частотно регулируемым приводом	2
ОК1-4	Обратный клапан	4
См	Смеситель	2
СФ	Сетчатый фильтр	1
Ф1-п	Ультраfiltrационный модуль	n

3.4 Процесс ультрафильтрации

Ультрафильтрация – это технология очистки воды, при котором вода пропускается под давлением через мембрану, имеющую поры от 5 нм, до 0,1 мкм (рисунок 31). Системы ультрафильтрации воды очищают жидкость от взвешенных частиц, размер которых превышает 0,01 мкм (это бактерии, вирусы, различные микроорганизмы, примеси). Другими словами, ультрафильтрация – это баромембранный процесс разделения на фракции и концентрирования растворов с помощью мембран [15].



Рисунок 31 – Степень очистки воды в зависимости от параметров мембраны

Процесс очистки происходит под действием разности молекулярного веса растворенных веществ и воды, а также из-за разного давления с одной и с другой стороны мембраны. Все соединения, которые необходимо удалить из жидкости, остаются на мембране и не попадают через фильтр (рисунок 32) [15].

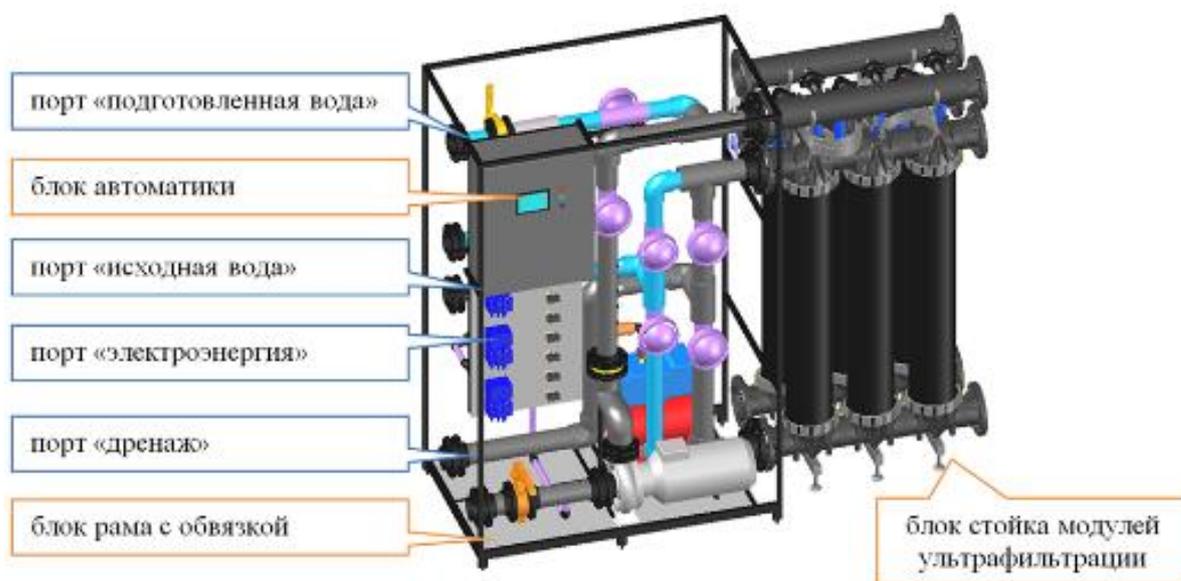


Рисунок 32 – Ультрафильтрационная установка

От других методов очистки ультрафильтрация отличается тем, что солевой состав воды не изменяется, а удаляются на 99,9% взвеси, снижается мутность, цветность и окисляемость. Этот метод используют вместо осаждения, отстаивания и микрофильтрации [39].

Ультрафильтрация имеет сходство с обратным осмосом, но в этом случае предъявляются более высокие требования отводу от поверхности мембраны концентрата, способного формировать гелеобразные слои и малорастворимые осадки. Установка ультрафильтрации служит для улучшения качества жидкости перед обессоливанием. Чтобы тонкая очистка стала более эффективной, рекомендуют подогреть воду до 20–25 °С [23]. Такая технология занимает место между фильтрованием и обратным осмосом, а ее технологические возможности намного шире, чем у последнего. В таблице 5 приведён сравнительный анализ основных показателей баромембранных процессов.

Сравнительная характеристика баромембранных процессов представлена в табл. 5

Таблица 5 – Сравнение баромембранных процессов

Характеристика	Микрофильтрация	Ультрафильтрация	Обратный осмос
Объекты разделения	Частицы (бактерии, дрожжи)	Макромолекулы (белки)	Низкомолекулярные растворенные в-ва, соли, сахара и др.
Осмотическое давление	Оч. низкое	Оч. низкое	Высокое (5– 25 бар)
Рабочее давление	<2 бар	1– 10 бар	10– 60 бар
Морфология мембран	Часто гомогенные	Асимметричные	Асимметричные
Толщина рабочего слоя	10– 150 мкм	0,1– 1,0 мкм	0,1– 1,0 мкм
Критерий разделения	По размеру частиц	По размеру частиц	Различия в коэффициентах растворимости и диффузии

Ультрафильтрация бывает двух типов — тангенциальная и тупиковая. Чаще всего применяется тупиковая фильтрация (dead-end), так как она более экономична. При тупиковом режиме вся вода, которая подается на мембрану, фильтруется через нее. Все взвешенные частицы и прочие загрязнители скапливаются на мембранной поверхности и удаляются во время промывки обратным потоком.

Важный элемент ультрафильтрационной системы очистки воды — это мембранный модуль ультрафильтрации (рисунок 33), поэтому так важно подобрать необходимый тип мембран, конструкцию модуля и режим ее работы. От количества модулей и фильтрационной площади зависит производительность установки [4].

Характеристики ультрафильтрационного модуля.

Гидрофильные капиллярные мембраны изготавливаются из следующих полимеров: поливинилхлорид, полисульфон, поливинилиденфторид. Селективный слой расположен на внутренней поверхности полого волокна. Мембраны обладают высокой проницаемостью и устойчивостью к загрязнению.

Размер волокон: внутренний диаметр - 1,0 мм, наружный диаметр - 1.6 мм.

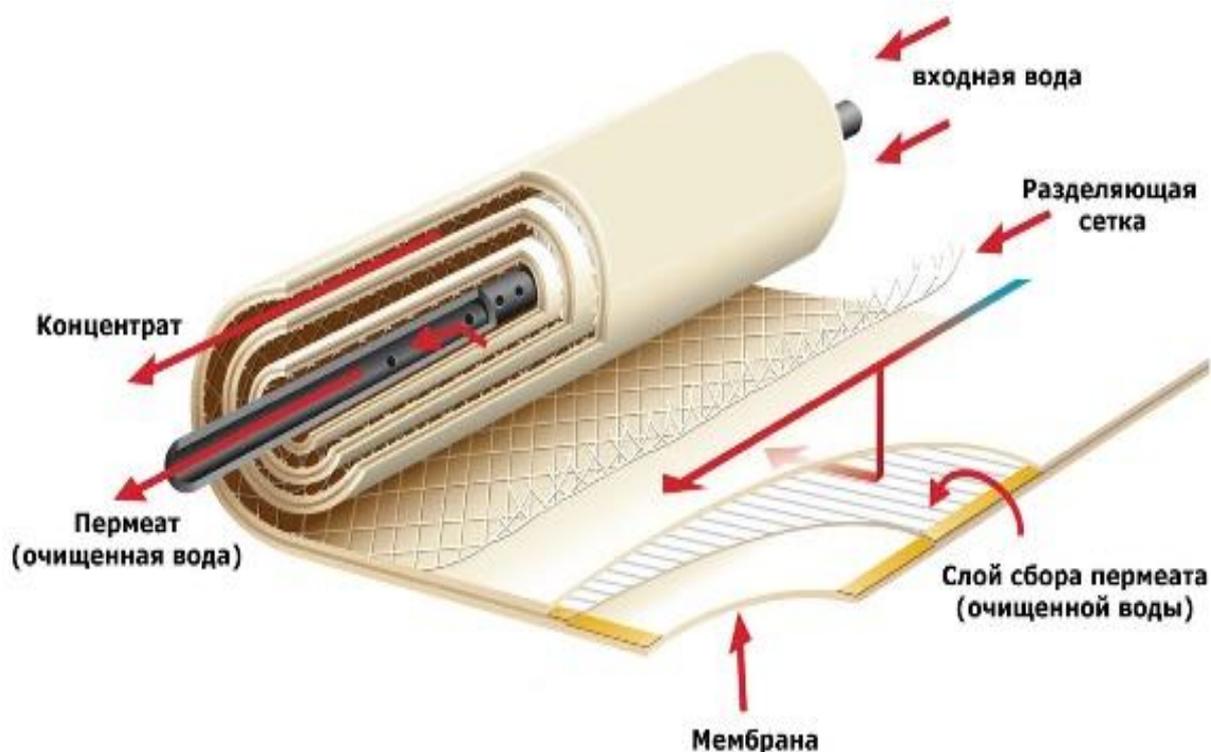
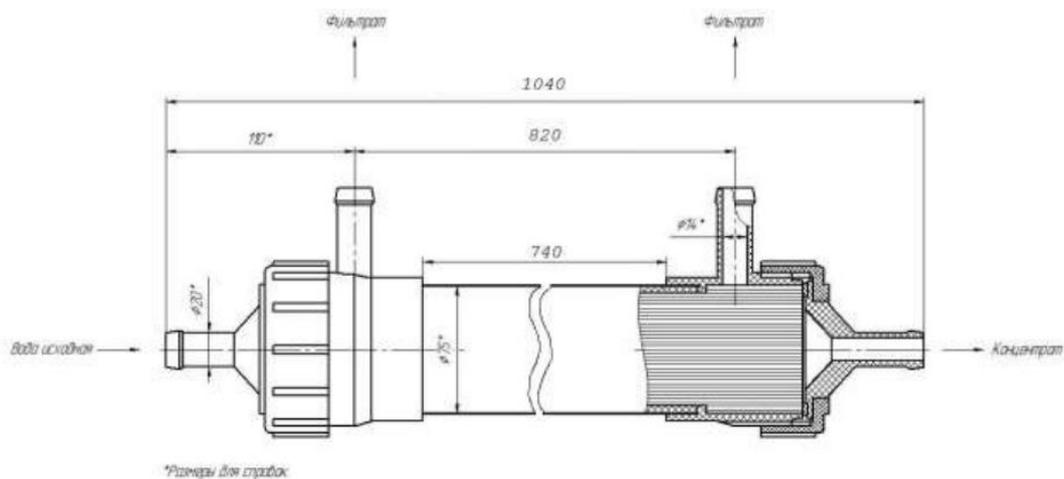


Рисунок 33 – Мембранный модуль ультрафильтрационной установки

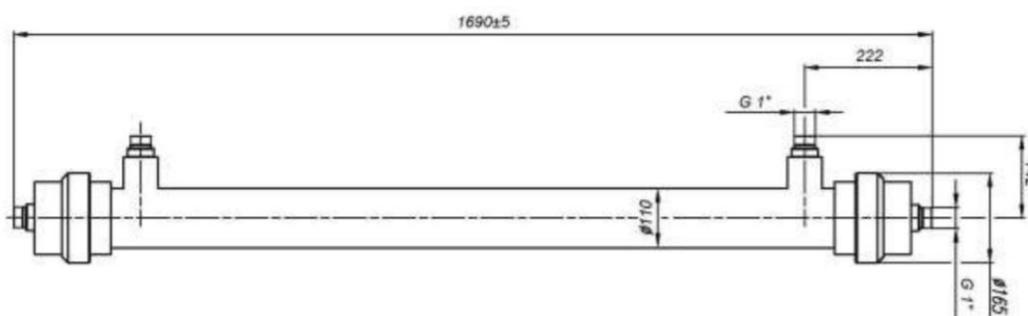
Доступный диапазон отсекаемых молекулярных масс: 10 - 300 кДа
 Корпус модуля изготовлен из поливинилхлорида. Половолоконная мембрана герметизирована на торцах модуля эпоксидной смолой. Серийно выпускаются модули трех типоразмеров (таблица 6, рисунок 34).

Таблица 6 – Характеристики ультрафильтрационных модулей

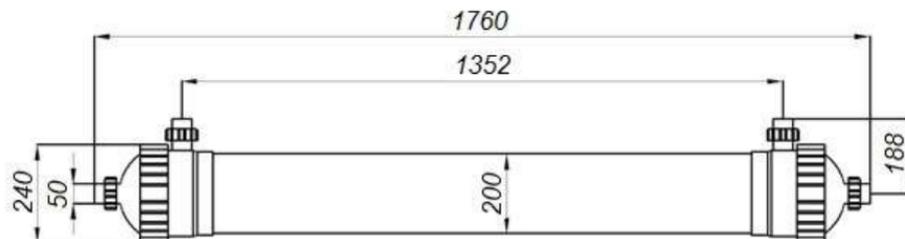
Типоразмер	Диаметр корпуса, мм	Длина, мм	Количество волокон, шт.	Поверхность фильтрации, м ²	Присоединение
1	75	1040	1250	3	штуцер под шланг Ø 20 мм
2	110	1690	1700	8	наружная резьба 1"
3	200	1760	5700	24	разборная муфта под трубу Ø 50 мм



а) Типоразмер 1, поверхность фильтрации – 3 м²



б) Типоразмер 2, поверхность фильтрации – 8 м²



в) Типоразмер 3, поверхность фильтрации – 24 м²

Рисунок 34 – Ультрафильтрационные модули

3.4.1 Мембраны ультраfiltrации

Мембраны, используемые в различных мембранных процессах, можно классифицировать по разным признакам. Наиболее простой является классификация всех мембран на природные (биологические) и синтетические, которые, в свою очередь, подразделяются на различные подклассы исходя из свойств материала (рисунок 35) [4].

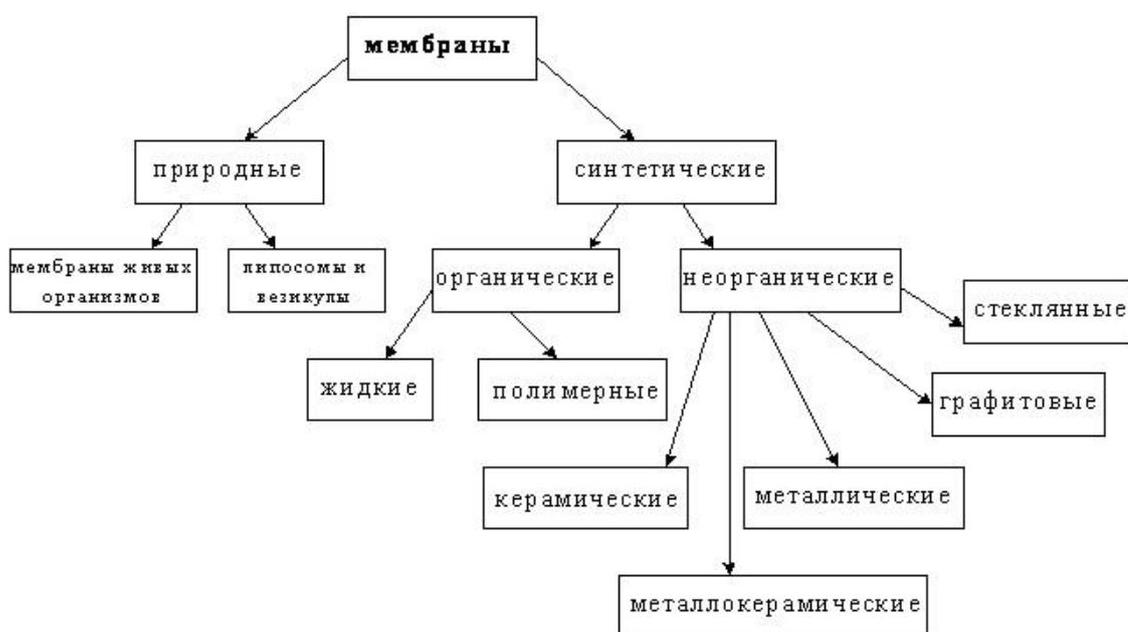


Рисунок 35 – Классификация мембран по материалу и происхождению

Мембраны ультрафильтрации изготавливают в виде:

- а) Плоских листов. Выпускаются размером 20 x 20 см, имеют высокую устойчивость к различным загрязнениям.
- б) Полых одноканальных волокон. Они довольно хрупки к нагрузкам, срок эксплуатации невысокий из-за возможности нарушения целостности.
- в) Полых многоканальных волокон. Срок эксплуатации высокий, так как волокна имеют 7 капилляров, внутренний диаметр каждого 0.9 мм. Благодаря этому, они высокопрочные, исключено нарушение целостности мембраны [4. 19].

Мембраны изготавливают из различных полимеров — ацетат целлюлозы, полисульфон, полиэтерсульфон, полиамид, полиимид, композитный фторполимер, гидрофобизированный полисульфон поливинилиденфторид, полиакрилонитрил и прочие. Чаще всего используют полиэтерсульфон (PES), его характеристики идеальны для возможного смешивания с другими полимерами. Мембраны из него устойчивы к воздействию хлора (Cl) и могут иметь рН в районе 1-13, подходят для очистки воды от любых вредных веществ [19].

По способу работы мембраны (подачи исходной воды) делят на:

а) Изнутри – наружу. Исходную воду вводят внутрь капилляров волокон, а очищенная жидкость выводится с их внешней стороны.

б) Снаружи – вовнутрь. Это обратный метод, который считается сложнее первого. Подача жидкости происходит снаружи волокна, а фильтрат копится внутри капилляра. При таком способе мембраны плохо восстанавливаются и вновь они засоряются намного быстрее.

Мембранные модули устанавливают:

а) Вертикально – все модули устанавливают по отдельности, как показано на рисунке 36;

б) Горизонтально – устанавливают 2-4 мембраны в одном месте.



Рисунок 36 – Вертикально установленные мембранные модули

Для предотвращения быстрого выхода оборудования из строя входная вода должна подвергаться предварительной очистке от мелких механических примесей. Эту функцию выполняет механический фильтр.

При необходимости во входную линию добавляются вспомогательные реагенты – коагулянты и флокулянты. С их помощью возможно задержание частиц, размеры которых меньше, чем диаметр пор мембраны. Добавление, в

поток реагентов вызывает образование небольших хлопьев (флокул). Коллоидные и органические примеси, которые необходимо удалить закрепляются на поверхности полученных хлопьев. Периодически, для восстановления работоспособности установки должна выполняться промывка фильтрующего модуля. Она осуществляется обратным током воды из сборника пермеата. При образовании прочных химических осадков используются дополнительные реагенты (растворы перекиси водорода, гипохлорита натрия, соляной кислоты). Промывочный раствор проходит с внешней стороны волокон, внутрь вымывая в дренажную линию все накопившиеся загрязнения. При подготовке раствора нужной концентрации, следует учитывать состав и величину отложений (рисунок 37).

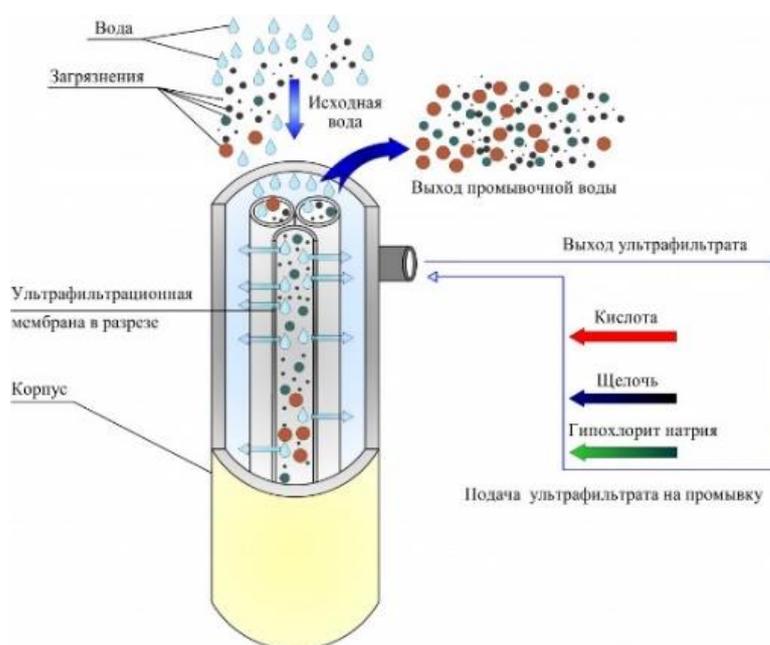


Рисунок 37 – Схема регенерации мембранного модуля

3.4.2 Работа установки в режиме фильтрации

Предварительно очищенная вода подается в мембранные модули с помощью центробежного насоса с частотно-регулируемым приводом. Фильтрация производится при постоянном заданном расходе фильтрата, поэтому внутри каждого периода фильтрации трансмембранное давление (ТМД) постепенно увеличивается. Увеличение ТМД происходит за счет

увеличения числа оборотов насоса. Датчики давления, установленные на линиях подачи и фильтрата, используются для измерения и регистрации трансмембранного давления. Режим фильтрации реализуется в двух направлениях: «Фильтрация сверху» и «Фильтрация снизу». Направление фильтрации меняется с верхнего на нижнее или с нижнего на верхнее после обратной промывки. Цикл фильтрации включает в себя «фильтрацию сверху», «фильтрацию снизу», обратные промывки и (факультативно) прямую промывку (рисунок 38). На линии фильтрата устанавливают датчик температуры, для расчета коэффициента проницаемости с поправкой на температуру [13].

Рабочие условия в режиме фильтрации:

- Длительность: 20-120 мин;
- Максимальное допустимое трансмембранное давление: 1,5 бар;
- Рекомендуемое рабочее трансмембранное давление: 0,6-1,2 бар;
- Удельный поток фильтрата: 50-150 л/(м² · ч);
- Максимальная мутность питающей воды: 200 NTU;
- Максимальная рабочая температура: ≤ +40 °С;
- Рабочий диапазон pH: 1,0 – 12,0;

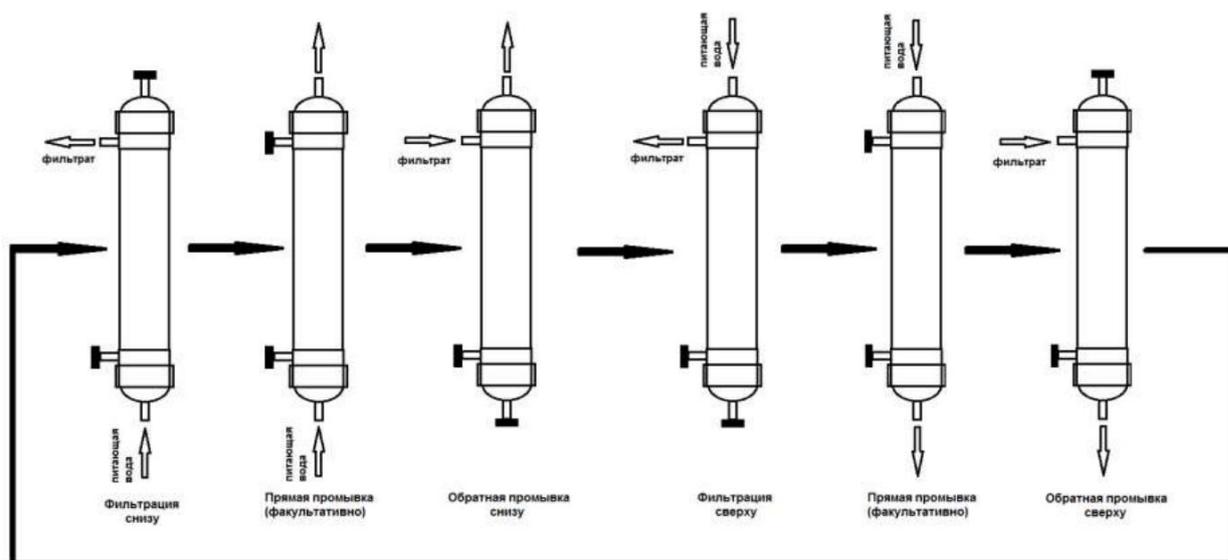


Рисунок 38 – Цикл фильтрации

3.5 Элементы технологической схемы водоочистки

Рассмотренные выше варианты компоновки системы ультрафильтрации содержит различное оборудование. комплектация зависит от степени загрязнения, вида и фракционного состава микропластика, объёмов водопотребления, требований по обеспечению качество подаваемой воды (хозяйственные, технологические, питьевые нужды) [11]. Далее будут подробнее рассмотрены элементы технологические схемы водоочистки, которые применяются для удаления частиц микропластика.

3.5.1 Фильтры засыпного типа

Фильтры засыпного типа без химической регенерации — весьма распространенные устройства в бытовых, общественных и промышленных системах водоподготовки. К такому типу фильтров относятся осветительные или осадочные фильтры, окислительные фильтры для обезжелезивания воды, адсорбционно-угольные фильтры. Несмотря на различия в целях и способах использования, эти фильтры имеют общие конструкционные и функциональные особенности. Цикл использования фильтра без химической регенерации состоит из следующих этапов:

- процесс фильтрования воды,
- обратная промывка,
- прямая промывка.

Основные элементы засыпного фильтра показаны на рисунке 39.

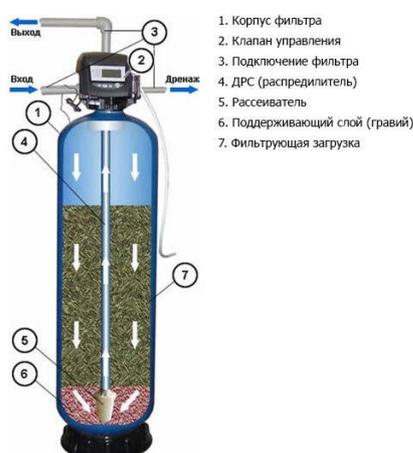


Рисунок 39 – Фильтр засыпного типа

Материалом корпуса фильтра может служить стеклопластик или (реже) нержавеющая сталь. Так как нержавеющая сталь относится к дорогостоящим и тяжелым материалам, ее применение ограничено в фильтрах для медицинских нужд или других специфических целей. Стеклопластик – достаточно прочный и химически устойчивый материал, поэтому он используется чаще всего. Оптимальная форма корпуса для засыпного фильтра — пустотелый цилиндр со скругленным верхом и дном. Эта форма обеспечивает наилучшие гидродинамические условия процесса фильтрования. Основание в виде кольца снизу фильтра придает ему устойчивость. Сверху корпуса фильтра имеется горловина для засыпки и обслуживания устройства. Если корпус фильтра имеет большие размеры, еще одна горловина для сборки и ремонта устраивается снизу корпуса. В режиме работы нижняя горловина на корпусе фильтра закрывается заглушкой. Кроме горловины, в корпусе фильтра могут быть и другие технологические отверстия — для засыпки фильтровального материала или для крепления необходимых приборов.

Работу фильтра регулирует блок управления (БУ). В его состав входит многоходовой клапан и приводной механизм (механический, электрический, гидравлический). Привод может снабжаться автоматическим регулированием, но возможно и ручное управление. Блок управления контролирует степень насыщения фильтрующего материала и своевременно подает сигнал о необходимости запуска регенерации. Встроенная программа автоматически запускает переключение водных потоков внутри фильтра для промывки засыпного материала. Блок управления связан с распределительной системой, которая осуществляет переключение потоков внутри фильтра.

В блоке управления имеется несколько внешних портов:

- для подключения линии загрязненной воды;
- порт для подачи отфильтрованной воды;
- дренажный порт для удаления отфильтрованных примесей.

Блоки управления подразделяются на несколько типов в зависимости от вида устройства, подающего сигнал к регенерации.

Первый тип БУ – с регенерацией через определенный период времени. Такие БУ снабжаются электронным или электромеханическим таймером, которые подают сигнал о начале регенерации строго через заданный промежуток времени. Фильтры без химической регенерации чаще имеют такой тип БУ.

Второй тип БУ предусматривает регенерацию по расходу воды. В таком блоке управления имеется счетчик воды по типу расходомера, и при расходе воды выше установленной нормы БУ подает сигнал на регенерацию фильтра. Таким типом БУ чаще оснащаются фильтры с химической регенерацией.

Третий тип БУ, применяемый достаточно редко — с регенерацией по параметрам качества воды. В БУ встраивается несколько датчиков, каждый из которых измеряет определенный показатель качества воды. Если параметр очищенной воды превышает заданную норму (например, по жесткости), подается сигнал на регенерацию фильтровального материала.

3.5.2 Механическое барабанное сито

Механическое барабанное сито (рисунок 40) применяется в сфере очистки сточных вод. Используется для отделения твердой фазы от жидкой, а также для удаления из сточных вод крупно- и мелкодисперсных включений. Оборудование изготовлено из коррозионностойких материалов и может применяться для обработки продуктов пищевых или химических производств. Механическое барабанное сито представляет собой наклонную цилиндрическую сетку с отверстиями круглой формы установленного диаметра, которая вращается на опорных роликах внутри сварной пространственной рамы. Вращение барабана осуществляется с помощью электромеханического привода. Загрузка жидкости осуществляется во внутреннюю полость барабана через подводящий патрубок. Внутри барабана установлен шнековый транспортёр, который осуществляет перемещение отфильтрованного твердого осадка вдоль барабана, в разгрузочное отверстие.



Рисунок 40 – Механическое барабанное сито

Очищенная жидкость попадает в приёмный лоток, откуда самотёком удаляется через отводящий патрубок. С наружной стороны барабана установлены цилиндрические щётки и промывочные форсунки, необходимые для прочистки отверстий сита. Корпус механического барабанного сита представляет собой сварную пространственную раму, выполненную из трубного и сортового нержавеющей металлопроката. Приёмный лоток для сбора отфильтрованной жидкости, а также внешняя обшивка рамы и крышки выполнены из листового полипропилена. В комплект поставки не входит: блок управления, промывочный насос. Основные технические характеристики устройства представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Технические характеристики механического барабанного сита

Модель	БС-618-2	
Габаритные размеры, мм	2900x1000x1550	
Мощность привода, кВт	0,55	
Диаметр отверстий сита, мм	1,5	
Пропускная способность куб./час при концентрации загрязнения:	200 мг/л	320
	400 мг/л	230
	600 мг/л	140

3.5.3 Механический барабанный фильтр из нержавеющей стали

Механические барабанные фильтры (рисунок 41) являются самым эффективным и испытанным устройством для очистки воды в сложных условиях эксплуатации и открытых системах водоснабжения.

Принцип действия: исходная вода входит внутрь барабана. Фильтрация происходит изнутри наружу. Фильтр постоянно или циклически медленно вращается. удаленные из воды частицы задерживаются на фильтровальной сетке и затем смываются чистой водой при вращении барабана при помощи форсунок в предусмотренный для этого желоб и удаляются из фильтра.

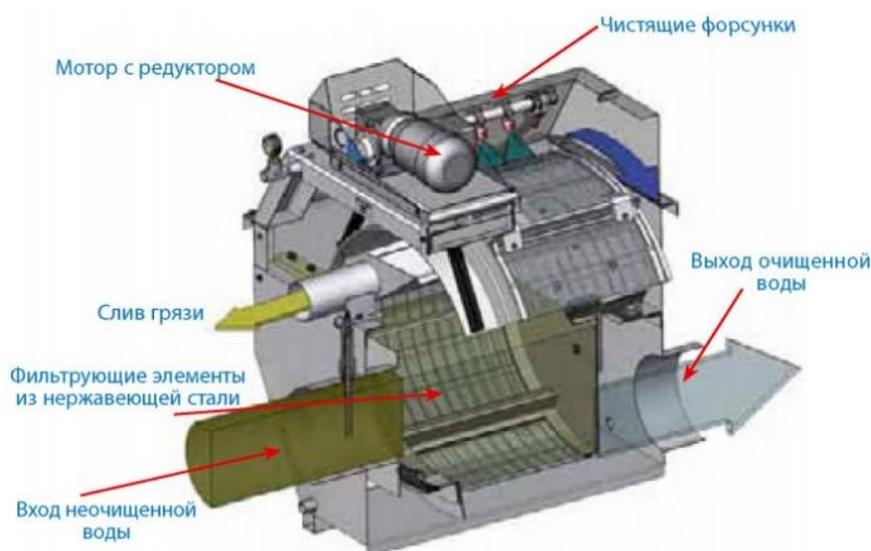


Рисунок 41 – Механический барабанный фильтр

Основные технические характеристики устройства представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Технические характеристики фильтра 605 БК-НВ

Модель фильтра	Засоренность, при t 14-16 С°			Засоренность, при t 14-16 С°			Засоренность, при t 26-28 С°			Габариты, мм.
	10 мг/литр	25 мг/литр	75 мг/литр	40	60	100	40	60	100	
605 БК-НВ	40	60	100	40	60	100	40	60	100	1077x760x1041
Сетка мкм.	65	84	114	43,2	64,8	90	11,5	17,3	24	
Производительность м³/час.										

3.5.4 Дисковый механический фильтр

Дисковый механический фильтр (рисунки 42, 43) предназначен для удаления из воды нерастворенных частиц размером от 20 мкм до 200 мкм. Фильтрующим элементом является пакет специальных дисков, изготовленных из полимерных материалов, на обеих поверхностях которых диагонально нанесены канавки определенной глубины и ширины, обеспечивающие высокую тонкость и точность фильтрации. При сжатии двух соседних дисков между ними образуется объемная сетчатая структура, являющаяся рабочим фильтрующим элементом. Процесс фильтрации происходит в момент, когда вода, проходя «снаружи-внутрь» через пакет плотно сжатых дисков за счет разности давления, очищается от находящихся в ней растворенных частиц.



Рисунок 42 – Дисковый механический фильтр

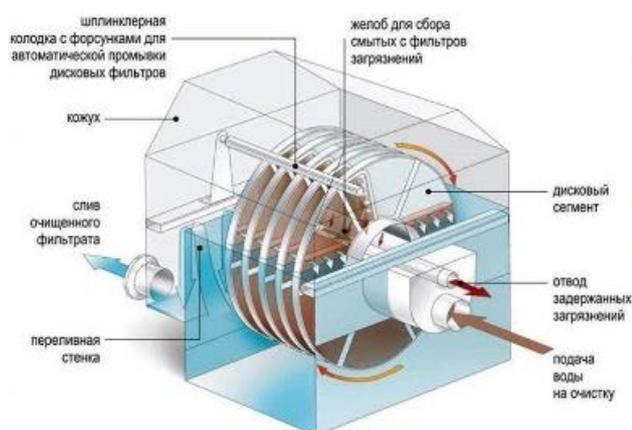


Рисунок 43 – Механизм дискового механического фильтра

Преимущества дисковых фильтров

Простая конструкция – нет поломок и расходных материалов.

Широкий диапазон применения (питьевое и технологическое водоснабжение, стоки, промышленная «оборотная» вода и т.д.).

Любая производительность при компактных размерах, от 6 до 300 м³/ч.

Тонкость очистки от 20 до 400 микрон.

Возможность использования в комплексных системах очистки воды.

Ручная или автоматическая промывка.

Коррозионностойкие и устойчивые к химическим реагентам материалы.

Экономичные - не требуют расходных материалов.

Прочные при невысоком весе.

3.5.5 Сорбционные фильтры

Термином «адсорбция» именуется процесс поглощения загрязнения жидкости поверхностным слоем твёрдого тела. Он основан на диффузии молекул загрязняющих веществ через специальную жидкостную плёнку, которая окружает частицы адсорбента, к поверхности последнего, которая происходит при перемешивании очищаемой жидкости. Затем диффузия продолжается со скоростью, определяемой строением применяемого адсорбента и величинами молекул собираемых веществ. Данный процесс наиболее эффективен в тех случаях, когда жидкость имеет низкую концентрацию загрязняющих веществ (на стадии глубокой очистки). В таких случаях эффективность процесса позволяет получить на выходе практически нулевую концентрацию загрязняющих веществ. Эффективность и скорость адсорбции прямо зависит от: структуры сорбента; концентрации загрязняющих веществ и их химической природы; активной реакции среды; температуры. На сегодняшний день лучшими сорбентами, предназначенными для очистки воды, считаются активированные угли разных марок. Эффективность последних определяется наличием микропор. Суммарный их объём является основной характеристикой и указывается для каждой марки.

Сорбционный фильтр состоит из: корпуса, представляющего собой баллон из стеклопластика необходимых размеров; неподвижного слоя из активированного угля, имеющего гравийную подсыпку; управляющего клапана разных типов (вариант – задвижки механической); трубопровода, по которому подаётся сточная вода; трубопровода, по которому отводится вода, очищенная; трубопровода, по которому подаётся вода, взрыхляющая; дренажно-распределительной системы (рисунок 44).

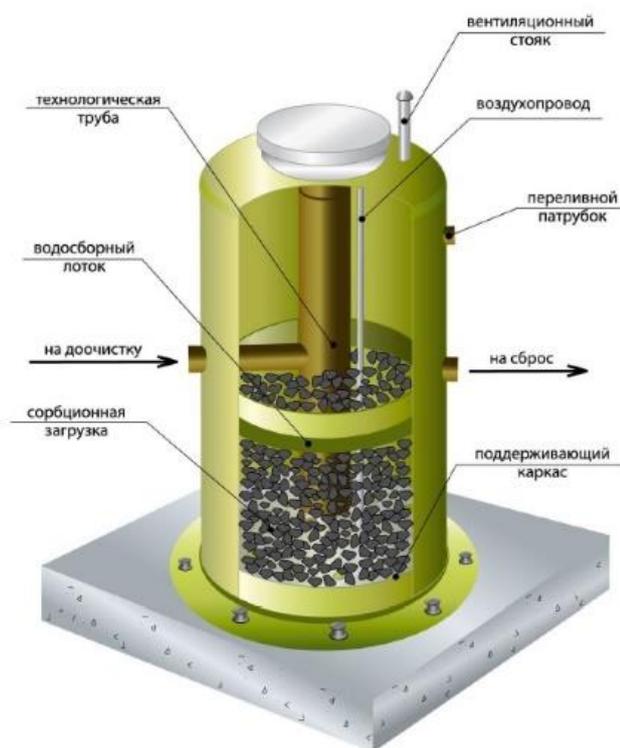


Рисунок 44 – Сорбционный фильтр

Принцип работы сорбционного фильтра: непосредственно на его входе монтируется пескоулавливатель и нефтеулавливатель, что позволяет снизить показатели по указанным типам загрязнений до разрешённых концентраций. Вода, пройдя описанный выше предфильтр, поступает по подводящей трубе в сорбционный блок. Отсюда, через распределительно-разгрузочную трубу, вода перемещается в нижнюю распределительную зону. Здесь она равномерно распределяется по всей площади заложенного сорбента, марка и объёмы

которого зависят от начальной и конечной концентрации загрязняющих веществ и требуемой производительности. После этого вода восходящим потоком направляется в сборный круговой лоток, а оттуда отводится через патрубок.

По типу конструкции фильтрующие аппараты могут быть в виде колон или ёмкостей (рисунок 45). Ёмкостные устройства могут быть горизонтальными или вертикальными.

- Горизонтальные фильтры долговечны, обладают большой пропускной способностью и могут быть монтированы под землю до 10 м.

- Вертикальные аппараты отличаются небольшим размером и могут быть установлены даже в местах с ограниченным свободным пространством. Они легче обслуживаются, но по сравнению с горизонтальными типами менее производительны.



Рисунок 45 – Типы конструкции сорбционных фильтров

«Для восстановления сорбента установке по таймеру или пропускной способности необходимо промыть фильтрующий материал. По типу прохождения процесса очистки сорбционные установки делятся на непрерывные (постоянные) и периодические.

Если сбои в работе недопустимы (вода необходима круглосуточно), монтируются системы с несколькими фильтрами, которые регенерируются в разное время. То есть сорбционная установка работает по непрерывному типу.

Существует огромное количество видов сорбентов и их марок. Фильтраты выбираются по составу примесей в очищаемой жидкости» [26].

Ниже приведены примеры виды сорбентов, которые встречаются наиболее часто в практике водочистки:

«Активированный уголь (кокосовый, древесный, каменный) считается одним из наиболее распространённых и эффективных сорбентов. Он удаляет из жидкости примеси, придающие ей неприятный вкус, запах и цвет. Снижает уровень органических загрязнителей на 90-99%. Может использоваться в виде порошка или гранул. Эффективность зависит от суммарного объёма микропор.

Кварцевый песок – один из наиболее доступных и экологически чистых видов фильтратов. Он способен удалять из жидкости нитраты, алюминий, железо, пестициды, уменьшать концентрацию радионуклидов. Фильтры с кварцевой загрузкой активно применяются как в быту, так и промышленности.

Циолиты используются для улучшения качества питьевых и технических вод на производстве. Удаляют из жидкости органические загрязнители, улучшает органолептические показатели. Уменьшают концентрацию радионуклидов, нитратов, фенолов, сульфатов, аммиака, фтора, нефтепродуктов (до 100%), железа.

Алюмосиликаты считаются перспективными сорбентами в очистке жидкостей от тяжёлых металлов (меди, стронция, никеля, цинка, хрома, кадмия и т.д.). Они способны удалять из стоков до 98% продуктов нефтепереработки.

Фиброил представляет собой современный синтетический сорбент. Используется для удаления из стоков продуктов нефтепереработки (до 0,05 мг/л), масел, жиров. Чаще всего фильтрующие системы с данной загрузкой применяются на нефтеперерабатывающих предприятиях, автостанциях и т.д.

По сорбционным свойствам близок к активированному углю. Но в сравнении с последним фиброил имеет более низкую стоимость.

Антрацит широко применяется для водоподготовки на электростанциях, в промышленности. Очищает воду от механических примесей, продуктов нефтепереработки, уменьшает неприятный запах и цвет. При использовании антрацитов количество веществ, находящихся в воде во взвешенном состоянии, снижается до 97%, масел до 99%.

Керамзит нередко используется в водоочистных станциях и в промышленном водоснабжении. Его фильтрующая способность не меняется в зависимости от температуры воды. Устройства с керамзитной загрузкой задерживают взвешенные частицы, фтор (до 40%), железо, хлор (до 87%), органику.

Шунгит, по сорбционным свойствам, можно приравнять к активированному углю. С его помощью из воды удаляются оксилаты, фенолы, спирты, карбонаты, гуминовые вещества и микроорганизмы» [5].

3.5.6 Микрофильтрация

Микрофильтрация воды – это одна из технологий ее очистки, при которой из нее удаляются нежелательные молекулы крупностью 0,02–10 мкм (например, цисты простейших). В отличие от микрофильтрации, макрофильтрация удаляет значительно более крупные примеси – ил, песок, ржавчину и др. Безусловно, установки очистки воды, осуществляющие микрофильтрацию, смогут задержать и крупные частицы, однако высок риск засорения устройств.

Микрофильтрация осуществляется с помощью мембран-сит, обычно имеющих изотропную структуру и представляющих собой диски различного диаметра (рисунок 46). Наибольшей производительностью они обладают в начальный период эксплуатации. Микрофильтрация осуществляется, как правило, при невысоком давлении во избежание деформаций мембран. Фильтры, выполняющие микрофильтрацию, применяются на первой ступени технологии получения ультрачистой воды.

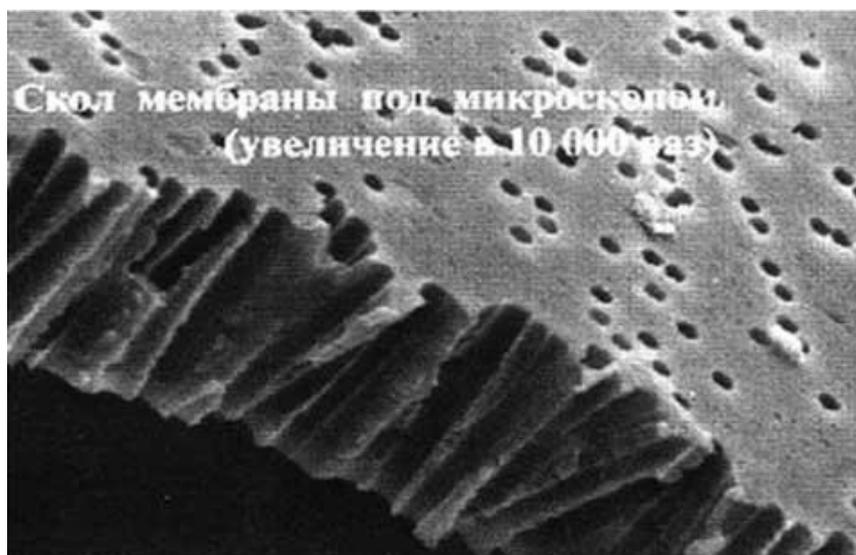


Рисунок 46 – Скол мембраны под микроскопом увеличение в 10 000 раз

На таких мембранах удаляются все вещества, которые больше 0,5-1 мкм: мелкий песок, крупная глина, микропластиковые частицы, водоросли, разнообразные паразиты, одноклеточные, бактерии.

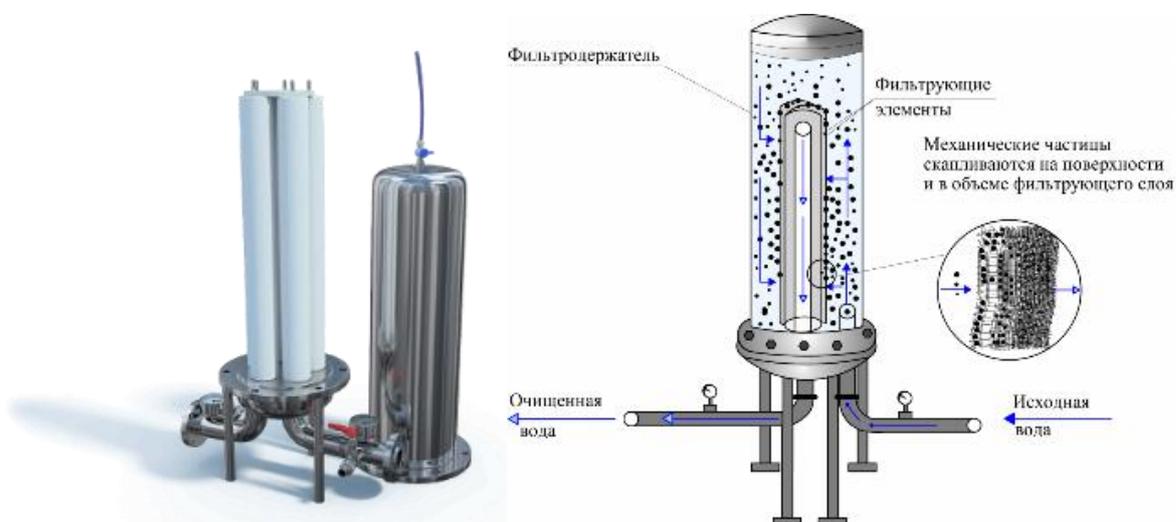


Рисунок 47 – Установки микрофильтрации

Работа установки микрофильтрации (рисунок 47) основана на процессе фильтрации воды через полимерный материал. Исходная вода по входному (центральному) трубопроводу подается в держатель, фильтруется сквозь

фильтрующие элементы по принципу "снаружи – внутрь" и по выходному трубопроводу поступает к потребителю. В ходе процесса фильтрации все частицы, размер которых превышает размер микропор картриджа, удаляются из входного потока, скапливаясь на фильтрующем элементе, тем самым снижая его пропускную способность. Уровень фильтрации зависит от используемого элемента.

3.6 Итоговые показатели применения технологии ультрафильтрации

Задачи, выполняемые ультрафильтрацией в процессе водоочистки:

- а) удаление микрочастиц в том числе микропластика до 0,1 мкм;
- б) осветление воды; требуется небольшое количество реагентов, невысокая себестоимость процесса при качественной очистке; так, если установка имеет производительность более 100 м³/ч, то себестоимость чистой воды составит примерно 0,5-2,0 руб/м³;
- в) дезинфекция воды; поры мембран настолько малы (0,001 мкм), что ни вирусы (0,02-0,004 мкм), ни более крупные вредные бактерии (до 1 мкм) не могут пройти через нее и оседают на ее поверхности;
- г) удаление железа и марганца; высокая степень очистки, этот метод значительно снижает энергопотребление;
- д) мембранная ультрафильтрация нужна перед системой обратного осмоса; так как в обратном осмосе самый дорогой элемент – это мембрана, то только предварительная очистка воды методом ультрафильтрации сокращает количество промывок мембран, а значит увеличивают их срок эксплуатации;
- е) очистка воды способом ультрафильтрации перед системой с ионообменными фильтрами; в этом случае из воды удаляется 95-98 % коллоидов диоксида кремния, не давая закупорить ионит; ультрафильтрация значительно затормаживает процесс развития биомикроорганизмов на поверхности смол.

Качество очищенной воды после этой технологии:

- мутность менее 0.1 NTU;
- индекс плотности осадка SDI 15 менее 3.0;
- содержание вирусов и бактерий уменьшается на 4 и более порядка;
- окисляемость становится меньше на 65% и более.

Основные преимущества метода ультрафильтрации.

Это современный метод, позволяющий очищать и сточные воды, и воды из поверхностных источников.

- а) ультратонкая очистка от различных загрязнений;
- б) можно отказаться от применения хлора при дезинфекции воды;
- в) расход реагентов снижается в десять раз;
- г) отлично защищает от засорения оборудование и появления нароста на стенках водопроводных труб;
- д) конструкция компактная, занимает небольшую площадь;
- е) простота обслуживания;
- ж) мембраны стойки к воздействию химии и различным температурам;
- з) процесс полностью автоматический;
- и) заменяет сразу несколько фильтров — механический, осветлитель и обезжелезиватель;
- к) при нахождении перед осмотическими и ионообменными установками, продлевают срок использования их мембран;
- л) отлично устраняет мутность и цветность. Очищает воду даже от масел;
- м) удаляет практически на 100% органические вещества, железо, марганец, кремний, вирусы и бактерии;
- н) снижает себестоимость очищенной воды, которая выходит высокого качества;
- о) требуется значительно меньшее потребление электроэнергии (примерно в два раза);
- п) сохраняется природный минеральный состав воды;

р) возможность применения практически во всех отраслях промышленности, при любых условиях, имеет высокую продуктивность, независимо от качества исходной воды.

Пути развития технологии ультрафильтрации.

- замена обычных способов обеззараживания;
- очистка жидкости перед обратным осмосом;
- замена высокотехнологичного процесса в установках очистки и кондиционирования исходной воды; этот метод позволяет получить высокоэффективную очистку жидкости, не используя химию и еще одну обработку воды.

На данный момент количество воды, очищенной методом ультрафильтрации, ежегодно увеличивается на 25%. Этот метод считается надежным и перспективным.

Стандартная установка имеет в составе:

- блок ультрафильтрации (БУФ) и аэрации;
- модуль дозирования жидкостей;
- фильтр-грязевик;
- адсорбционный модуль и умягчения;
- модуль обеззараживания;
- блок автоматической промывки;
- центр автоуправления;
- запорная арматура и элементы соединения.

3.7 Выводы по третьей главе:

Наиболее эффективным способом очистки воды, поступающей с поверхностных источников от загрязнения микропластиком, является применение метода очистки, в основе которого лежит ультрафильтрационная технология. Для повышения эффективности очистки предложены комплексные решение, которые включают в себя технологическую цепочку начиная с удаления механического загрязнения крупных фракций, осаждение

на механических фильтрах, и доведение качество воды до нормативных требований на ультрафильтрационных установках. Принятое решение наиболее перспективно, подобные установки активно применяются на зарубежных станциях водоочистки, однако в нашей стране применение данной технологии в силу её высокой стоимости пока ограничено. Повышение требования к качеству воды и развитие в мембранных технологий в ближайшее время позволит удешевить фильтровальные элементы и более широко внедрить Ультрафильтрация в качестве основного элемента водоочистки.

Заключение

По полученным результатам можно сделать следующие выводы: Исследования уровня загрязненности Мирового океана пластиковыми отходами позволяют оценить текущую ситуацию как критическую. По данным Всемирного экономического форума, к 2050 году количество производимого в мире пластика увеличится в три раза, до более чем миллиарда тонн. Почти треть всего пластика, используемого в качестве упаковочного материала, не собирается и не перерабатывается, а попадает в окружающую среду, по большей части в воды Мирового океана.

Пластиковые отходы представляют большую опасность как для обитателей водоемов, так и для Земли в целом, поскольку не разлагаются, накапливаются в живых организмах, нарушая их нормальную жизнедеятельность, затрудняют доступ кислорода в воду, тем самым способствуют образованию “мертвых зон” и глобальному потеплению. Улучшение данной экологической ситуации требует незамедлительного применения всех возможных мер по очищению Мирового океана от пластика, а также сокращению его производства и потребления.

В работе рассмотрены наиболее эффективные способы очистки. Предложена схема водоподготовки с ультрафильтрацией. Данный метод позволяет удалить на станциях водоподготовки до 99% пластиковых микрочастиц, благодаря применению ультратонких мембран от 0,01 до 0,1 мкм. Для повышения эффективности очистки предложены комплексные решение, которые включают в себя технологическую цепочку начиная с удаления механического загрязнения крупных фракций, осаждение на механических фильтрах, и доведение качество воды до нормативных требований на ультрафильтрационных установках. Принятое решение наиболее перспективно, подобные установки активно применяются на зарубежных станциях водоочистки, однако в нашей стране применение данной технологии в силу её высокой стоимости пока ограничено.

Список используемых источников

1. Андрианов А.П., Первов А.Г. Методика определения параметров эксплуатации ультрафильтрационных систем очистки природных вод // Критические технологии. Мембраны. 2003. № 2 (18).
2. Андрианов А.П., Первов А.Г. Перспективы применения мембранных методов ультрафильтрации и нанофильтрации на крупных водопроводных станциях // Проекты развития инфраструктуры города: Сб. науч. трудов. Вып. 4. Комплексные программы и инженерные решения в области экологии городской среды. М., 2004.
3. Беликов С.Е. Водоподготовка: Справочник. /Под ред. д.т.н., действительного члена Академии промышленной экологии С.Е. Беликова. М.: Аква-Терм, 2007. — 240 с.
4. Бойко Н.И. Применение мембранных технологий в очистке воды. / Бойко Н.И., Одарюк В.А., Сафонов А.В. // Журнал Технологии гражданской безопасности. 2014г.
5. Брок Т. Мембранная фильтрация. Пер. с англ. - М.: Мир, 1987. - 464 с.
6. Брошюра «Микропластик – невидимая проблема». URL: <http://www.ccb.se/wp-content/uploads/2016/03/Mikroplastikccb-ru.pdf> (дата обращения 11.07.2020).
7. Васильева Н.Г. Хитин как полимер XXI века. Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 16. С. 110–111.
8. Васильева С.Г., Лобакова Е.С., Лукьянов А.А. Применение иммобилизованных водорослей в биотехнологии // Вестник Московского университета. Серия 16: Биология. М.: Изд-во Моск. ун-та. 2016. № 3. С. 65–72.
9. Внутреннее исследование рынка водоподготовки ООО «Воронеж-Аква», 2015 г. URL: <http://www.voronezh-aqua.ru/investors/informationdisclosure/> (дата обращения 28.03.2021).

10. ГН 2.1.5.689-98 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Минздрав России, Москва, 1998. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200004636> (дата обращения 11.11.2019).

11. ГОСТ 2761-84. Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора (с Изменением N 1). Государственный стандарт союза ССР.

12. Дегремон. Технический справочник по обработке воды: в 2т. Т.1, Т2. Спб, Новый журнал, 2007.

13. Образовский А.С., Ереснов Н.В., Казанский Е.А., Ереснов В.Н. Водозаборные сооружения для водоснабжения из поверхностных источников. – М.: Стройиздат, 1976.

14. Первов А.Г. Современные высокоэффективные технологии очистки питьевой и технической воды с применением мембран: обратный осмос, нанофильтрация, ультрафильтрация, М., Издательство Ассоциации строительных вузов.

15. Первов А.Г. Современное состояние вопроса очистки поверхностных вод с помощью ультрафильтрации. / А.Г.Первов, А.П.Андрианов // Журнал Вестник МГСУ. 2010 г.

16. Программа ООН по защите окружающей среды. Пластик в косметике. URL: <https://www.ekokosmetika.ru/sites/default/files/images/public/UNEP%20%282015%29%20Plastic%20in%20Cosmetics.pdf> (дата обращения 26.10.2020)

17. ПЭТ-Саратов (ООО "Сарбининг"). Производство и реализация ПЭТ-бутылки (пластиковая бутылка). URL: <http://www.pet-saratov.ru/> (дата обращения: 19.02.2021)

18. Ровенских, А. С. Загрязнение Мирового океана пластиковыми отходами / А. С. Ровенских, В. А. Игумина, А. Е. Карючина, И. Ю. Нагибина. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2020. — № 18 (308). — С.

224-227. — URL: <https://moluch.ru/archive/308/69343/> (дата обращения: 02.06.2021).

19. Садовский Л.И. Обзор современных технологий водоподготовки и водоочистки на примере внедрения мембранных систем и реагентных программ. / Садовский Л.И., Алиакбарова А.И. // Журнал Экономика и предпринимательство, №9, 2016.

20. СП 31.13330.2012 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84* (с Изменениями N 1, 2, 3). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200093820> (дата обращения: 09.12.2019)

21. Тимакова Д.Н., Ксенофонтов Б.С. Использование активного ила в качестве биофлокулянта // Universum: Химия и биология: электрон. научн. журн. 2016. № 10 (28). URL: <http://7universum.com/ru/nature/archive/item/3683> (дата обращения: 09.10.2020)

22. Федеральная целевая программа "Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012-2020 годах". URL: <http://fcp.economy.gov.ru/cgi-bin/cis/fcp.cgi/Fcp/ViewFcp/View/2012/403> (дата обращения 30.11.2020).

23. Фрог Б. Н., Левченко А. П. Водоподготовка: Учебн. пособие для вузов. - Москва: Издательство МГУ, 1996. - 680 с, 178 ил.

24. Мосводоканал. Материалы сайта. URL: <http://www.mosvodokanal.ru> (дата обращения 03.11.2020).

25. ТУ 2211-145-05766801-2008. Полиэтилен. Технические условия. URL: <https://elarum.ru/info/standards/tu-2211-145-05766801-2008/> (дата обращения 13.10.2020).

26. A. Tahir, P. Taba, M.F. Samawi, S. Werorilangi. Microplastics in water, sediment and salts from traditional salt producing ponds [Text] // Advances in Marine Science. – Global Journal of Environmental Science and Management, 2019.

27. A million bottles a minute: world's plastic binge 'as dangerous as climate change. URL: <https://www.theguardian.com/environment/2017/jun/28/a-million-a->

minute-worlds-plastic-bottle-binge-as-dangerous-as-climate-change (дата обращения: 17.02.2021)

28. Baltic Eye Policy Brief. The cosmetics clean-up - first step to reduce microplastic input into the Baltic Sea. URL: http://www.su.se/polopoly_fs/1.331504.1493985676!/menu/standard/file/PBmikroplastENGwebb.pdf (дата обращения: 05.11.2020)

29. Erikson et al. Marine Pollution Bulletin, 77 (1), 177–182, 2013.

30. Ho Chia-Chi, Zydney L. A combined pore blockage and cake filtration model for protein fouling during microfiltration. // J. Colloid & Interface Science. 2000. V. 232, p. 389-399.

31. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE) e-ISSN: 2278-1684, p-ISSN: 2320-334X PP 46-48

32. Knoblauch Jessica A. Environmental Health News. 2 July 2009 (29 January 2013) "Biodegradable Plastics are Adding to Landfill Methane Emissions" // ecogeek.org.

33. Knops F.N.M., Franklin B. Ultrafiltration for 90 MLD Cryptosporidium and Giardia free drinking water: a case study for the Yorkshire Water Keldgate Plant. // Proc. of the Conf. on Membranes in Drinking and Industrial Water Production (Paris, 3-6 October). 2000. V. 1, p. 71-78.

34. Kosvintsev S., Holdich R.G., Cumming I.W., Starov V.M. Modelling of dead-end microfiltration with pore blocking and cake formation. // J. Membrane Science. 2002. V. 208, p. 181-192.

35. Laine J.-M., Vial D., Moulart P. / Status after 10 years of operation – overview of UK technology today // Proceedings of the Conference on Membranes in Drinking and Industrial Water Production. Paris, France, 3-6 October, 2000 – V. 1, p. 17-27.

36. Márta Simon, Alvis Vianello, Jes Vollertsen. Removal of >10 µm Microplastic Particles from Treated Wastewater by a Disc Filter [Text] // Advances in Civil Engineering. – MDPI AG, 2019.

37. Mavrov V., Chmiel H., Kluth J., Meier J., Heinrich F., Ames P., Backes K., Usner P. Comparative study of different MF and UF membranes for drinking water production. // *Desalination*. 1998. V. 117, p. 189-196.

38. Miaomiao Zhang, Chun Li, Mark M. Benjamin Fouling and Natural Organic Matter Removal in Adsorbent/Membrane Systems for Drinking Water Treatment, *Environmental Science & Technology*, Vol. 37, NO 8, 2003.

39. Philip Meier, FarhadSalehi Ultrafiltration with pre– coagulation in drinking water production. Literature review, *TECHNEAU*, 2006.

40. Sch_fer A.I., Fane A.G., Waite T.D. Cost factors and chemical pretreatment effects in the membrane filtration of waters containing natural organic matter. // *Water Resources*. 2001. V. 35, No. 6, p. 1509-1517.

41. *Science* 11 Mar 2016: Vol. 351, Issue 6278, pp. 1196-1199 URL: <https://doi.org/10.1126/science.aad6359> (дата обращения 11.01.2021).

42. Tracking down microplastic. URL: <https://www.awi.de/en/focus/marine-litter/tracking-down-microplastic.html> (дата обращения 17.10.2020).