

Д.А. Овчаренко, студент

И.И. Иваненко, кандидат технических наук, доцент

Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

ПРОБЛЕМЫ УДАЛЕНИЯ КСЕНОБИОТИКОВ В ПРОЦЕССЕ ТРАДИЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД

Ксенобиотики – чужеродные для организмов соединения, которые практически не включаются в элементные циклы углерода, азота, серы или фосфора. Они временно или постоянно накапливаются в окружающей среде и вредно влияют на все живое. Широкое и повсеместное применение пестицидов, в том числе неразлагаемых, накопление различных отходов в огромных количествах привело к загрязнению окружающей среды – недр, воздуха и воды. Ксенобиотики, которые подвергаются полной деградации, т. е. минерализуются до диоксида углерода, воды, аммиака, сульфатов и фосфатов, используются микроорганизмами в качестве основных ростовых субстратов и проходят полный метаболический цикл. Однако некоторые ароматические углеводороды и синтетические полимеры вообще не поддаются биологической трансформации.

Особую проблему в сфере очистки сточных вод составляют частицы пластика в силу их крайне малого размера и невозможности их разложения существующими биологическими методами. В городскую канализацию попадают стоки, загрязненные волокнами после стирки белья (эксперименты по отбору проб сточных вод из бытовых стиральных машин показали, что одна одежда может производить более 1900 волокон за стирку [1]), а также с водой уходят аморфные или сферические частицы пластика в составе декоративных смываемых и несмываемых косметических средств гигиены ежедневного пользования.

В среднем микропластиком принято считать частицы размером до 5 мм в связи со сложностью их обнаружения. Существует два типа пластических микрочастиц: первичные – пластиковые гранулы различных размерных групп, используемые на производственных предприятиях как сырье, и вторичные, образованные в результате распада более крупных пластиковых элементов. Сброшенные в природный водоем микропластические частицы свободно плавают по всему водоносному слою. Другие мелкие частицы песка и прочих загрязнений легко адсорбируются на их поверхности, повышая риск потребления их в пищу организмами.

В России очень мало внимания уделяется содержанию микропластика в сточных водах, хотя как раз на очистных сооружениях нужно

устранять первопричину просачивания частиц пластиковых отходов с «очищенными» водами в мировой океан, исследованию которого посвящается основное внимание. Большая часть поступающего на очистные сооружения пластика задерживается на механической ступени очистки, вместе с остальным обезвоженным и обезвреженным осадком этот пластик нередко поступает на удобрение сельскохозяйственных полей, что загрязняет почву ксенобиотиком, и немалая доля пластиковых частиц проходит дальше, минуя биологическую ступень очистки, и попадает на выходе в приемный водоем. В последнее время микропластик обнаруживается в пробах водопроводной воды, это говорит о том, что фильтры и барабанные сети на водозаборных очистных сооружениях также не способствуют 100%-ной очистке забираемой воды от полимерных микрочастиц. Данные микрочастицы крайне малы и часть из них беспрепятственно просачивается сквозь слои загрузки фильтров. Таким образом, необходимо не просто удалить эти ксенобиотики, но найти способ их разрушения.

Нельзя утверждать, что очистные сооружения не справляются с очисткой сточных вод от пластиковых отходов. По данным различных исследований за 2014 г., можно выявить важность очистных сооружений на пути микропластика в водоем. Однако несмотря на большое количество задержанных частиц, можно наблюдать высокий суточный вынос микропластика со сточными очищенными водами, что говорит о недостаточной степени очистки. Также из сравнения можно утверждать, что концентрация микропластика в стоках напрямую зависит от крупности города, к которому принадлежат очистные сооружения. Таким образом, увеличение расходов, поступающих на очистные сооружения, влечет за собой увеличение нагрузки микропластическим загрязнением, и для поддержания такой же концентрации сбрасываемого микропластика, что и в малонаселенных городах, требуется дополнительная ступень очистки. Еще одной важной проблемой является отсутствие нормативов по допустимому сбросу микропластических отходов в приемный водоем из-за отсутствия точного представления о конкретном негативном влиянии микропластика на водную среду, соответственно, нельзя точно судить о качестве сбрасываемых вод.

Также не существует в мире нормативного метода выявления микропластика в воде. Во всех исследованиях по анализу воды на наличие микропластических частиц порядок выделения частиц и волокон аналогичен – фильтрация взвеси с помощью фильтровальных устройств через круглые фильтры из различных по размеру планктонных сетей от 300 до 20 мкм. Чтобы получить более точное представление о составе полученной отфильтрованной пробы, необходимо затем очистить ее

методом флотации, где происходит отделение микропластика по плотности от органической и неорганической среды. Для дополнительного анализа отдельных частиц чаще всего применяют следующие спектроскопические инструменты:

1) спектроскопия FTIR. Полимеры диагностируются путем сравнения со спектрами известных полимеров;

2) флюоресцент Nile Red. Исследование микропластика, как правило, проводится с помощью зеленого флюоресцента в растворе NR с концентрацией 5 мг/л;

3) рамановская спектроскопия. Техника определения основана на последовательной CARS микроскопии (anti-Stokes Raman Scattering), которая позволяет определять частицы размером до 2 мкм в массе планктона. Кроме способности различать мельчайший пластик, этот метод также визуализирует пространственные химические картины образцов. Рамановская спектроскопия в дополнение к FTIR относится к самым продвинутым техникам анализа.

Как уже было сказано, необходимо искать биологические способы деградации пластика непосредственно в сооружениях. По мере загрязнения окружающей среды полимерными отходами микроорганизмы учатся выживать в условиях постоянно прогрессирующего количества пластика в их среде обитания. В ходе исследования микроорганизмов, живущих в океане, японские ученые нашли колонию бактерий, получившую название *Ideonella sakaiensis* 201-F6, которая использует в углеродном и энергетическом обменах полиэтилентерефталат (ПЭТФ), также известный как лавсан или полиэстер. При выращивании на ПЭТФ эта культура продуцирует два фермента, способных гидролизовать ПЭТФ, и промежуточный продукт реакции – моно(2-гидроксиэтил)терефталевую кислоту (МГЭТ ТФК). Оба фермента необходимы для эффективного ферментативного превращения ПЭТФ в два экологически безопасных мономера: терефталевую кислоту и этиленгликоль. Этот консорциум разлагал поверхность пленки ПЭТ со скоростью 0,13 мг/см²·день при 30 °С. Бактерия *Ideonella sakaiensis* способна обитать в любых средах, поддерживающих жизнь, а также может относиться к виду патогенных бактерий. Также она аэробна, т. е. живет и развивается в окисленной среде [2].

Произведенные нами расчеты показали, что для разложения данной бактерией полиэтиленовой пленки площадью 1 м³ требуется свыше трех лет. Данный метод разрушения поливинилтерефталата может быть применен на очистных сооружениях в силу возможности адаптации к условиям водной среды, но скорость деградации пластика абсолютно неприемлема. Требуется выявить условия, при которых эффективность

работы бактерии повысится до скорости, удовлетворяющей полному удалению содержащихся в сточных водах частиц.

Также в Пакистане был обнаружен грибок, разлагающий полиэфируретан: *Aspergillus Tubinhensis*. Деградирующую способность гриба исследовали в трех средах: в почве, на поверхности агар-агара и в жидкой среде. Мицелий гриба колонизирует на поверхности ПУ-пленки и повреждает ее [3]. По эффективности разрушения жидкая среда находится на втором месте, в которой, кстати, пленка полностью расщепилась на мелкие частицы за два месяца. В сравнение с бактерией у грибов явное преимущество по скорости разложения пластика. Однако сами микроорганизмы не справляются с достаточной скоростью.

Данная работа призвана показать необходимость глубокого изучения проблемы удаления из сточных вод наиболее опасных ксенобиотиков – неразлагающихся соединений. Эта экологическая проблема на данный момент практически не изведена, особенно в нашей стране, необходимо выявить истинную угрозу, чтобы установить нормативы по допустимому содержанию ксенобиотических частиц и разработать новый метод фильтрации сточных вод, новые способы изъятия микропластика с минимальными затратами.

Так как данный вопрос еще только начинает изучаться в нашей стране, целью данной работы было изучить проблемы, с которыми столкнулись мировые ученые, их рассуждения и идеи решения вопроса, и, основываясь на полученной информации, поставить конкретную задачу для дальнейших исследований.

Литература

1. Accumulations of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks / M. A. Browne [et al.] // *Sci. Technol.*, Just Accepted Manuscript. Publication Date (Web): 06 September 2011. – DOI: 10.1021/es201811s.
2. A bacterium that degrades and assimilates poly(ethylene terephthalate) / S. Voshida [et al.] // *Science*. – 11 mart 2016. – P. 1196–1199.
3. Biodegradation of polyester polyurethane by *Aspergillus tubingensis* [Электронный ресурс] / S. Khan [et al.] // *Environmental Pollution*. – Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2017.03.012>.