

Ермакова Елизавета Владимировна, студентка,
Белорусская государственная академия музыки, Минск

Киеня Елена Александровна, к.э.н., доцент,
Белорусский государственный экономический университет, Минск

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ: КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ И СОВРЕМЕННЫЕ СТРАТЕГИИ МИНИМИЗАЦИИ УЩЕРБА

Аннотация: Загрязнение окружающей среды является критическим вызовом для устойчивого развития цивилизации, оказывающим деструктивное воздействие на экосистемные функции, общественное здравоохранение и мировую экономику. В данной статье систематизированы основные типы антропогенного загрязнения, проанализированы их ключевые источники и предложен обзор современных стратегий борьбы, включая нормативно-правовое регулирование, технологические инновации и принципы циркулярной экономики.

Ключевые слова: загрязнение окружающей среды, антропогенное воздействие, экологическая политика, технологии очистки, циркулярная экономика, микропластик, биоремедиация, мембранные биореакторы, экосистемные услуги.

Современный этап развития человечества характеризуется беспрецедентной интенсификацией антропогенного давления на биосферу. По данным Всемирного фонда природы (WWF), более 90 % глобального загрязнения атмосферного воздуха напрямую связано с человеческой деятельностью [2;3]. Особую остроту приобретает проблема пластикового загрязнения: ежегодно в мировой океан попадает около 8 млн тонн пластика, что не только разрушает морские экосистемы, но и усугубляет социальное неравенство в доступе к чистым ресурсам. Целью работы является систематизация масштабов загрязнения и оценка эффективности существующих мер по его снижению [4].

Загрязнение среды носит многоаспектный характер, охватывая атмосферу, гидросферу и литосферу. В городских агломерациях до 40 % выбросов оксидов азота (NO_x) и мелкодисперсных частиц ($\text{PM}_{2.5}$) приходится на автотранспорт [2;5]. Энергетический сектор, опирающийся на угольные и газовые мощности, остается основным источником диоксида серы (SO_2) и углекислого газа (CO_2), в то время как сельское хозяйство через аммиачные выбросы (NH_3) способствует вторичному образованию твердых частиц [4;5].

Гидросфера подвергается воздействию тяжелых металлов (свинец, кадмий, ртуть), нефтепродуктов и фармацевтических остатков. В развитых странах более 60 % загрязняющих веществ попадает в реки через муниципальные и промышленные сточные воды [4;5]. Критическую угрозу представляет микропластик: в 2022 году его концентрация в океане оценивалась в 5 трлн частиц, из которых 2 млн непосредственно входят в пищевые цепи. Почвенный покров деградирует из-за накопления более 1000 видов химических пестицидов и долгоживущих тяжелых металлов (Pb, Cd, As), что снижает урожайность и нарушает биоразнообразие. Дополнительным фактором стресса для биоты в урбанизированных средах выступает шумовое и вибрационное загрязнение от транспортной инфраструктуры [6;7].

Масштабы негативного влияния загрязнения подтверждаются данными ведущих международных организаций. По оценкам ВОЗ, загрязнение воздуха ежегодно становится причиной 7 млн преждевременных смертей. Экологические последствия выражаются в разрушении механизмов естественной очистки воды и климатического регулирования. Экономический аспект проблемы оценивается Всемирным банком в 5 % глобального ВВП, что эквивалентно потере примерно 4,6 трлн долларов ежегодно [5;8].

Эффективное противодействие загрязнению требует сочетания жесткого регулирования и инновационных решений. На международном уровне ключевую роль играют Парижское соглашение и конвенция MARPOL, а на региональном — директивы, подобные европейской «2008/50/ЕС», устанавливающей предельно допустимые концентрации (ПДК) для атмосферных загрязнителей [7;9].



Технологический прогресс предлагает высокоэффективные методы очистки:

- Фильтрация и абсорбция:** современные промышленные установки способны удалять до 99 % мелкодисперсных частиц PM_{2.5}.
- Биоремедиация:** использование микроорганизмов позволяет снизить содержание полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в почве на 70 % в течение года.
- Мембранные биореакторы:** обеспечивают удаление до 95 % микропластика из сточных вод.
- Энергоэффективность:** переход на газовые ТЭЦ и внедрение теплоизоляции позволяют сократить выбросы CO₂ на 30 %.

Важным вектором является переход к циркулярной экономике, основанной на принципах "Design for Environment" (проектирование с учетом последующей переработки). Примеры Нидерландов (кампания «Zero Plastic») показывают потенциал перехода на биоразлагаемые полимеры и формирования навыков устойчивого потребления через образование.

Очистка сточных вод от микропластика является критически важной задачей, так как в развитых странах более 60 % загрязняющих веществ попадает в реки именно через муниципальные и промышленные очистные сооружения.

Для решения этой проблемы предлагаются следующие методы и подходы:

1) **Усовершенствованные системы сточных вод (мембранные биореакторы):** в источниках это указывается как основное технологическое решение для фильтрации микропластика и фармацевтических остатков. Применение таких систем на муниципальных очистных сооружениях позволяет достичь высокого уровня очистки — до 95 % удаления микропластика.

2) **Мембранные технологии:** источники выделяют их как приоритетное направление для инвестиций и научно-исследовательских разработок (R&D). Эти технологии позволяют задерживать частицы, которые проходят через стандартные системы фильтрации.

3) **Законодательное регулирование:** для того, чтобы методы очистки внедрялись повсеместно, рекомендуется введение обязательных стандартов по уровню содержания микропластика в водных системах и применение санкций за их несоблюдение.

4) **Государственно-частное партнерство:** предлагается модель, при которой государство финансирует разработку, а бизнес предоставляет технологическую экспертизу для создания и обслуживания систем очистки.

Необходимость внедрения этих методов обусловлена тем, что микропластик (количество которого в океане в 2022 году оценивалось в 5 трлн частиц) активно накапливается в пищевых цепях, создавая угрозу как для водных экосистем, так и для здоровья человека [6;7].

Конкретные успешные случаи демонстрируют возможность радикального снижения экологического следа. Копенгаген за 5 лет сократил выбросы CO₂ на 35 % за счет электрификации транспорта, а Хельсинки на 20 % уменьшил количество выездов мусороуборочной техники благодаря системе «Smart Waste Management». В Испании программа «Clean Sea» позволила извлечь 1,2 млн тонн пластика и повысить возврат тары на 45 % через систему депозитов [3].

Для масштабирования данных успехов рекомендуется:

1) **Ужесточение нормативов:** введение обязательных стандартов по микропластику и PM_{2.5}.

2) **Стимулирование R&D:** инвестиции в коммерциализацию технологий биоремедиации и мембранной очистки.

3) **Развитие инфраструктуры:** создание систем отдельного сбора и компостирования на муниципальном уровне.

4) **Государственно-частное партнерство:** объединение финансового ресурса государства с технологической экспертизой бизнеса.

Таким образом, борьба с загрязнением требует не только технологического перевооружения, но и сильной политической воли. Совместные усилия всех слоев общества, направленные на внедрение принципов циркулярной экономики и инновационных систем очистки, являются единственным путем к сохранению природного капитала и обеспечению устойчивого развития для будущих поколений.



Список литературы:

1. World Health Organization (WHO). Air Pollution and Health. — 2022.
2. European Environment Agency (EEA). Air Quality in Europe. — 2022.
3. United Nations Environment Programme (UNEP). State of the Ocean. — 2021.
4. Food and Agriculture Organization (FAO). Pesticides in Soil. — 2020.
5. World Bank. The Economic Cost of Pollution. — 2023.
6. International Maritime Organization (IMO). MARPOL Convention. — 2020.
7. Jensen A., Müller P. Bioremediation of Heavy Metal Contaminated Soils // Journal of Environmental Science. — 2021. — Vol. 45, № 3. — P. 215-229.
8. Smith L. [et al.]. Effectiveness of Membrane Technologies in Municipal Wastewater Treatment // Water Research. — 2022. — Vol. 215. — Art. 118345.
9. World Wide Fund for Nature (WWF). [Report on Environmental Pollution]. — 2023.

