

3. SUS-CON Project. «Greening concrete with secondary raw materials». CORDIS, Європейська Комісія. Доступно за посиланням: [https://cordis.europa.eu/article/id/173491-greening-concrete-with-secondary-raw-materialsEarth Overshoot Day+4cordis.europa.eu+4hoganas.com+4](https://cordis.europa.eu/article/id/173491-greening-concrete-with-secondary-raw-materialsEarth%20Overshoot%20Day+4cordis.europa.eu+4hoganas.com+4)

4. ReCreate Project. «Reusing Precast Concrete for a Sustainable Future: Evaluating service life, carbonation and carbon footprint». ReCreate, 2025. Доступно за посиланням: <https://recreate-project.eu/2025/01/15/reusing-precast-concrete-for-a-sustainable-future-evaluating-service-life-carbonation-and-carbon-footprint/>

УДК: 504.7

Медвідь М.М. – студентка 1 курсу магістратури
Науковий керівник: Яцишин Т. М. д.т.н., професор, кафедри
технології захисту навколишнього середовища та безпеки праці
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

МІКРО – ТА НАНОПЛАСТИК ЯК ГЛОБАЛЬНА ЗАГРОЗА: НОРМАТИВНО-ЕКОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ І ПЕРСПЕКТИВИ БІОРОЗКЛАДУ

Пластикове забруднення вже давно вийшло за межі локальної проблеми і на сьогодні визнано глобальним екологічним викликом. За даними міжнародних досліджень, щорічно у світовий океан потрапляє від 8 до 10 мільйонів тонн пластикових відходів, і ця кількість щороку зростає. Основна проблема полягає в тому, що пластик, як синтетичний матеріал, не розкладається природним шляхом протягом сотень років, накопичуючись у воді, донних відкладах та організмах живих істот. За оцінками, загальні накопичення пластику в океанах досягають від 75 до 199 мільйонів тонн. Мікропластик виявлено у 92% морепродуктів, питній воді та солі. Нанопластик, завдяки мікроскопічним розмірам, здатен проникати в клітини, поширюватися кровотоком і викликати потенційно серйозні наслідки для здоров'я. Дослідження показали, що нанопластики можуть проникати через біологічні бар'єри, включаючи кишковий, легеневий, мозковий та плацентарний бар'єри, і накопичуватися в тканинах, що може призводити до запалень, окисного стресу та інших негативних ефектів [1, 2].

У межах Регламенту ЄС № 1907/2006 (REACH) Європейська Комісія у 2023 році запровадила обмеження на навмисно доданий мікропластик, що має зменшити його потрапляння у довкілля на 500 000 тон за 20 років та сприяти впровадженню безпечних альтернатив у хімічній промисловості. Директива 2008/56/ЄС визначає морське сміття, включаючи мікропластик, як показник екологічного стану моря, вимагає моніторингу його рівнів та інтеграції відповідних заходів у національні морські стратегії. Єврокомісія розробила індикатори для оцінки мікропластику, а країни зобов'язані

звітувати про результати. Документ пов'язаний із REACH, Директивою 2019/904/ЄС та політикою циркулярної економіки. Директива 2019/904/ЄС спрямована на зменшення впливу одноразового пластику, заборону окремих його видів, впровадження екомаркування та розширеної відповідальності виробника, що також знижує утворення мікропластику [3, 4, 5].

Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року, затверджена розпорядженням КМУ № 820-р, визначає полімерні та пластикові відходи як один із пріоритетних напрямів управління. Хоча мікропластик безпосередньо не згадується, документ створює передумови для впровадження європейських екологічних стандартів, зокрема у сфері зменшення утворення пластикового забруднення та запровадження циркулярної економіки. У відсотковому співвідношенні в структурі світового виробництва полімерів за регіонами найбільшу частку займає Китай — 32%, другу позицію посідає Європа — 14%.

Нашу увагу звернуто на біологічні методи розкладання мікропластику. Ці методи ґрунтуються на здатності мікроорганізмів, дрібних тварин та водоростей руйнувати полімерні структури за допомогою ферментів або інших біологічних процесів. Вони є перспективними з огляду на екологічну безпечність, проте наразі поступаються за швидкістю фізико-хімічним способом. Мікроорганізми (бактерії, гриби, актиноміцети) здатні розкласти пластики (зокрема ПЕ, ПЕТ, ПС) завдяки виробленню внутрішньо- та позаклітинних ферментів, що призводять до часткової мінералізації. Найефективніше діють бактеріальні консорціуми, які використовують метаболіти одне одного. Відомо понад 90 штамів мікроорганізмів, здатних до біодеградації біопластиків. Однак процес є повільним та залежить від умов навколишнього середовища. Деякі види комах (воскові черв'яки, борошняні хрущаки) можуть споживати пластик (ПЕ, ПС), що частково розщеплюється в їхній травній системі. Цей процес значною мірою обумовлений активністю кишкових мікробів, таких як *Enterobacter* та *Exiguobacterium*. Дослідження показують втрату ваги пластику до 13–31% за кілька тижнів. Метод перспективний, але наразі застосовується лише до обмеженої кількості пластиків. Мікрководорості (зелені, синьо-зелені, діатомові) колонізують пластикові поверхні та сприяють деградації через фотосинтетичні, ферментативні й адсорбційні механізми. Деякі штами, як-от *Anabaena spiroide* або *Scenedesmus dimorphus*, можуть знижувати вагу LDPE-плівок на 3–8% протягом місяця. Крім того, водорості можуть бути генетично модифіковані для виробництва гідролітичних ферментів, що розкладають ПЕТ. Метод характеризується низькими енергозатратами, однак має низьку ефективність і потребує стабільного середовища для росту [6].

Біологічні методи є важливою частиною стратегії боротьби з пластиковим забрудненням. Їхня ефективність залежить від типу полімеру, умов середовища та типу організмів. Найбільш перспективними напрямками, на даний час вважаються, використання мікробних консорціумів, травних ферментів дрібних тварин та біоінженерія водоростей.

Перелік використаних джерел

1. Geyer R., Jambeck J.R., Law K.L. Production, use, and fate of all plastics ever made // *Science Advances*. – 2017. – Vol. 3(7). – Режим доступу: <https://www.nature.com/articles/s43247-025-02169-5> – Дата звернення: 30.04.2025.
2. Yong C., Valiyaveetil S., Tang B. Toxicity of microplastics and nanoplastics in mammalian systems // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2022. – Vol. 19(9). – Режим доступу: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9026096/> – Дата звернення: 30.04.2025.
3. Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH), establishing a European Chemicals Agency [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32006R1907> – Дата доступу: 30.04.2025.
4. Directive 2008/56/EC of the European Parliament and of the Council of 17 June 2008 establishing a framework for community action in the field of marine environmental policy (Marine Strategy Framework Directive) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32008L0056> – Дата доступу: 30.04.2025.
5. Directive (EU) 2019/904 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on the reduction of the impact of certain plastic products on the environment [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32019L0904> – Дата доступу: 30.04.2025.
6. Qiao R., Lu K., Deng Y., Ren H., Zhang Y. Microbial degradation of plastic in aquatic environments: Microorganisms, pathways, and key factors // *Microorganisms*. – 2022. – Vol. 10(11). – Article № 2285. – Режим доступу: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9488055/> – Дата звернення: 30.04.2025.

УДК 347

Менджул М. В., д. юрид. н., професор
кафедри цивільного права та процесу
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

ПРАВОВИЙ МЕХАНІЗМ ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА В УКРАЇНІ: ВІДПОВІДНІСТЬ МІЖНАРОДНИМ СТАНДАРТАМ

Право на безпечне довкілля в умовах глобалізованого світу передбачає необхідність максимальної відповідності національного законодавства міжнародним стандартам. Війна в Україні, злочини екоциду вкотре показали,