

УДК 332.1; 504
JEL: Q 20; Q 30
DOI: 10.35774/rarrrpsu2023.28.059

Василь ФАЙФУРА

кандидат економічних наук,
доцент кафедри екології та охорони здоров'я,
Західноукраїнський національний університет,
E-mail: v.faufura@wunu.edu.ua
ORCID ID: 0000-0003-4040-0028

Володимир МАНЖУЛА

кандидат технічних наук,
доцент кафедри комп'ютерних наук,
Західноукраїнський національний університет,
E-mail: v.manzhula@wunu.edu.ua
ORCID ID: 0000-0001-5222-8443

Василь ФАЙФУРА

аспірант кафедри комп'ютерних наук,
Західноукраїнський національний університет,
E-mail: vasyf.faufura@gmail.com

ЕКОЛОГО-ПРОСТОРОВІ АСПЕКТИ ЗАБРУДНЕННЯ ТЕРИТОРІЇ ТЕРНОПІЛЬСЬКОЇ ОБЛАСТІ МІКРОПЛАСТИЧНИМИ МАСАМИ

АНОТАЦІЯ

Вступ. У статті розглянуті питання забруднення навколишнього середовища пластикними масами. Ця проблема перебуває постійно під прискіпливою увагою дослідників через великі фізичні обсяги утворення пластикових забруднень, специфічність поведінки їх у довкіллі і вплив на здоров'я людей. Значну увагу приділяють утилізації пластикових забруднень. Руйнівні впливи зовнішніх факторів довкілля спричиняють деструкцію полімерів до мікрочасток, а забруднення мікропластикою зараз вважають досить серйозною екологічною проблемою через її невизначеність. Значна частина пластикових мас залишається в середовищі і стає невидимою, а девізуалізація забруднення середовища пластиком часто відволікає увагу від цієї проблеми. Нині проблему забруднення мікропластичними масами переважно розглядають на глобальному рівні. Тому важливо змінити фокус досліджень і вміти враховувати небезпеки поширень забруднення мікропластиком на локальному і мезорегіональному рівнях. У роботі саме й розглянуто екологічні та просторові аспекти забруднення території Тернопільської області мікропластичними масами, досліджено особливості їх формування і поширення по території регіону.

Метою статті є дослідження просторових аспектів формування, поширення та акумуляції мікропластичних мас на регіональному рівні.

Методи дослідження. При підготовці наукової публікації використані методи аналізу та синтезу, системного узагальнення, створення географічних карт.

Результати. Виділено точкові, ареальні, дисперсні та лінійні джерела забруднення мікропластиком, наведено особливості процесів утворення і міграції в межах регіону. Розглянуто галузеві особливості забруднення навколишнього середовища Тернопільської області мікропластиком. Розкрито особливості формування цього типу забруднення в результаті високого рівня аграрного освоєння території регіону, розвитку транспортного комплексу, впливу процесів урбанізації і розвитку системи управління та поводження з відходами. Розглянуті

питання ролі мікропластику у транспортуванні на регіональному і міжрегіональному рівнях небезпечних для довкілля хімічних речовин і нагромадженню їх у екосистемах. В Тернопільській області особливо істотним є забруднення ґрунтів з подальшою деградацією мікробіомів ґрунтових екосистем, а також руйнування водних екосистем. Все це є прямим швидкого розвитку агротехнологій вирощування сільськогосподарських культур. Істотну роль в просторових оцінках забруднення територій відіграє транспортний фактор, у першу чергу розвиток автомобільного транспорту.

Ключові слова: мікропластик; забруднення; навколишнє середовище; регіон.

Формули: 0, **рис.:** 2, **табл.:** 1, **бібл.:** 21.

Vasyl FAIFURA, Volodymyr MANZHULA, Vasyl FAIFURA
**ENVIRONMENTAL AND SPATIAL ASPECTS OF POLLUTION OF THE
 TERRITORY OF TERNOPIL REGION WITH MICROPLASTIC MASSES**

ABSTRACT

Introduction. The article addresses the critical issue of environmental pollution caused by the plastic waste. This problem has drawn the attention of researchers due to the vast physical volumes of plastic waste, their unique behavior in the environment, and their adverse impact on human health. The disposal of plastic waste has become a matter of great concern, and the destructive effects of external environmental factors cause the breakdown of polymers into microparticles, leading to microplastic pollution. This form of pollution is a significant environmental issue due to its uncertain nature, and a substantial portion of plastic waste remains in the environment, becoming invisible. This lack of microplastic pollution visual comprehension often diverts attention from this issue. Currently, the problem of pollution by microplastic masses is mainly considered globally. Therefore, it is crucial to shift our attention toward the dangers of microplastic contamination at the local and mesoregional levels. In this paper, the environmental and spatial aspects of microplastic pollution in the Ternopil region were examined, focusing on the peculiarities of their formation and distribution in the area.

The purpose of the article is to study the spatial aspects of the formation, distribution and accumulation of microplastic masses at the regional level.

Research methods. The methods of analysis and synthesis, systematic generalization, creation of geographical maps were used in the preparation of the scientific publication.

The results. Identified and analyzed various sources of microplastic pollution in the Ternopil region, including point, areal, dispersed, and linear sources, and the processes of formation and migration of microplastics within the region along with sectoral features of environmental pollution in the region caused by microplastics. Revealed peculiarities of the formation of this type of pollution as a consequence of the high level of agricultural development of the region, development of the logistics, influence of urbanization processes, and the development of the management and waste management system. Considered the role of microplastics in transportation at the regional and interregional levels of environmentally hazardous chemicals and their accumulation in ecosystems. In the Ternopil region, soil pollution with subsequent degradation of microbiomes of soil ecosystems, as well as destruction of water ecosystems, is particularly significant. All this is a direct result of the rapid development of agricultural technologies for growing agricultural crops. A significant role in spatial assessments of territory pollution is played by the transport factor, primarily the development of road transport.

Keywords: microplastic; pollution; environment; region.

Formulas: 0; **fig.:** 2; **table:** 1; **bibl.:** 21.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями. Проблема забруднення навколишнього середовища пластикними масами останнім часом привертає щораз більшу увагу дослідників. Здебільшого при обговоренні цієї теми йдеться про фізичні обсяги виробництва й утворення пластикових забруднень, їхнього

накопичення, збору, а також приділяється увага питанням їхньої утилізації. Широке застосування пластиків визначене їхніми унікальними споживчими характеристиками. Це робить пластик часто незамінним у виробництві та побуті. Невелика маса і легкоплавкість робить його простим при виготовленні різних форм і конструкцій. Деякі види пластику характеризуються, з одного боку, високою міцністю, а з іншого – пластичністю, через що вони стійкі до руйнування й зношування. А багато видів пластику дуже стійкі до впливу різних хімічних і фізичних агентів, що дає змогу успішно їх застосовувати в умовах агресивного середовища. Крім того, пластики мають відповідні ізоляційні властивості. А великою перевагою пластичних мас є їхня низька собівартість виробництва.

Переваги застосування пластиків доволі часто нівелюються проблемою масштабного забруднення навколишнього середовища цими матеріалами. Однак зараз про збереження балансу між використанням пластику та його впливом на довкілля не йдеться. Пластики супроводжують людство тепер усюди і є невіддільною частиною сміття. В океанах спостерігають нині острови з пластику, які стають основою формування новітніх і унікальних плавучих екосистем.

Дія зовнішніх факторів середовища спричиняє деструкцію полімерів до мікрочасток, а забруднення мікропластикою є значущою екологічною проблемою. Крім того, виробники пластичних мас змушені застосовувати різні технологічні прийоми, які спричиняють деструкцію полімерних мас за впливу внутрішніх агентів, які входять до складу продукції. З одного боку, біорозкладні полімери вважаються панацеєю для вирішення проблеми забруднення пластикомі відходами. З іншого – не всі полімери піддаються розкладанню. До складу пластиків додають речовини, які спричиняють втрату зв'язків між нитками полімерів та їхній розпад до молекулярного стану. Однак від цього пластику в довкіллі стає не менше: для навколишнього середовища краще, коли пластик перебуває у вигляді конкретної фізичної одиниці, ніж у вигляді дрібних розсіяних частинок або на молекулярному рівні. Першу можна зібрати і відправити на перероблення, другі мають незрозумілі та непрогнозовані наслідки перебування в довкіллі й впливу на здоров'я населення і біорозмаїття. У багатьох випадках застосування добавок-руйнівників у пластичних масах дає змогу девізуалізувати пластичні маси, але не вирішує проблеми. Такі підходи більш небезпечні, ніж масове нагромадження пластику.

Мета статті – дослідження просторових аспектів формування, поширення та акумуляції мікропластичних мас на регіональному рівні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Хоча вперше термін «мікропластик» сформулював британський біолог, професор Міжнародного відділу дослідження морського сміття Плімутського університету Р. Томпсон у 2004 р., дотепер нема чіткого його визначення. Загалом ця категорія забруднень охоплює широкий спектр мікроматеріалів, які різні за розміром, формами, хімічним складом, фізичними властивостями, щільністю та іншими параметрами. Загалом усі частинки пластику, менш як 5 мм, вважають мікропластиком. Нинішнє обґрунтування механізмів утворення, поширення та нагромадження мікропластичних мас у природних й антропогенних системах, причин функціональної деградації екологічних систем, уявлення про впливи на здоров'я людини і біорозмаїття базуються на дослідженнях вітчизняних і зарубіжних учених [3; 4; 5; 15].

Мікропластик дієво впливає на мікробіоми, порушуючи цілісність екосистеми мікроорганізмів, які населяють різні середовища [18; 21]. На необхідності впровадження цілісної глобальної екологічної політики та стратегії управління мікропластичними відходами наголошують науковці [19], а також розробки новітніх методів усунення забруднення мікропластиком шляхом технологічних проривів щодо використання пластичних мас у виробництві біопалива [17].

У дослідженнях домінують глобальний та екосистемні підходи, натомість питанню ролі мікропластику у мікрорегіональному забрудненні приділяють недостатньо уваги. З одного боку, «невидимість» такого виду забруднення не спонукає вважати цю проблему актуальною, щоб її вирішувати. З іншого боку, на місцях є «важливіші» видимі проблеми. Проте дослідження окремих аспектів забруднення територій мікропластиком та їхньої ролі у формуванні рівня

екологічної безпеки регіонального розвитку нині з'являються [2; 11; 14]. У статті висвітлено певні просторові аспекти утворення, поширення і концентрації забруднення мікропластикою Тернопільського регіону й окреслено основні джерела, механізми формування такого виду забруднення довкілля, визначено шляхи його запобігання з метою забезпечення високого рівня екологічної безпеки розвитку регіону.

Виклад основного матеріалу. Розуміння механізмів утворення і нагромадження мікропластику в навколишньому середовищі базується на уявленнях про його первинне чи вторинне походження. У первинній формі він є складовою цілісного продукту і надає останньому необхідних споживчих характеристик, як наприклад, абразив у косметичних скрабах, мийних засобах, пральних порошках, гелях для душу або як прикраси-блискітки в косметичних помадах, кремах, спреях для волосся і т. ін. Вторинні мікропластичні маси – результат деградації макропластику і фрагментації останнього під впливом різних факторів зовнішнього середовища та внутрішнього складу. Відповідно асортимент мікропластику – це похідна від асортименту пластичних мас, які випускає промисловість. Мініатюрність форм дає змогу таким частинкам активно нагромаджуватися в екосистемах, ставати частиною харчового ланцюга, субстратом для формування мікробіомів, у тому числі патогенних.

Зокрема Є. Михайлова [7] наголошує на тому, що мікропластик при руйнуванні виділяє у довкілля велику кількість токсичних речовин, які використовуються при його виробництві. До складу пластичних мас належать різні еластифікуючі й процесингові добавки, барвники, наповнювачі, затверджувачі, відбілювачі, спінювачі, інгібітори горіння та сотні інших речовин. Як зазначає Б. Коріненко, мікропластик у глобальному вимірі виконує функцію транспортного переносу небезпечних для довкілля хімічних речовин [5, с. 7–8].

І слід зазначити, що через інертність і стійкість до руйнування пластиків такі небезпечні речовини вивільнятимуться ще багато років після того, як їхнє виробництво буде припинено чи то з причин заборони, чи винайдення екологічно чистіших замінників.

Відповідно до місць утворення, нагромадження й руйнування можна простежити переважаючі механізми утворення мікропластиків у нашому регіоні. Серед місць генерації й акумуляції таких забруднень визначено такі основні:

- урбоекосистеми, де утворення мікропластичних мас є полігенним (механічне руйнування різних типів, фізичне, хімічне, термічне зі стічних вод, де ці маси утворюються під час побутово-господарської чи промислової діяльності, а також як наслідок матеріального зносу й ерозії інфраструктури з очищення стічних вод і трубопроводу);

- сільські населені пункти (беруть участь переважно у формуванні значної маси пластикових відходів, часто не мають налагодженої системи поводження з ними, а поведінка домашніх господарств визначається нерідко схильністю до активного незаконного і неконтрольованого розпорошення пластикових відходів у малих кількостях при великій частоті локалізації та систематичності, через що формуються тисячі дрібних місць згромадження таких відходів);

- автомобільні шляхи (переважно стирання з утворенням великої кількості еластопластичних мікромас);

- полігони для тимчасового чи постійного складування твердих побутових відходів (фізичне вивітрювання, механічне руйнування);

- сільськогосподарські угіддя (нагромадження мікропластиків як результат застосування капсульованих добрив та засобів захисту рослин від шкідників);

- водні екосистеми (переважно механічне руйнування, потрапляння з поверхневого стоку в результаті стоку з прилеглих до водойм об'єктів і територій, у т. ч. із сільськогосподарських угідь);

- з атмосферних опадів (мікропластик, який може бути в повітрі чи на поверхні ґрунту, поглинають краплини дощу або розносить вітер);

– дисперсне походження мікропластику (фізичне вивітрювання, механічне руйнування через неправильне поводження з відходами і неконтрольоване викидання пластику в довкілля по всій території регіону).

Здійснено оцінювання джерел походження і поширення мікропластичних мас у регіоні. Урбанізовані та прилеглі до них території характеризуються найінтенсивнішими процесами утворення мікропластику і його нагромадження. На цих територіях концентрація мікропластику більша приблизно в 10 разів. І це стосується усіх країн та регіонів [20].

Різні пластики деградують під впливом ультрафіолету, температури та механічних впливів до мікроскопічних розмірів, синтетичні мікрОВОлокна з одягу й інших текстильних виробів забруднюють водойми і ґрунтовий покрив. Зношуються шини й верхній шар дорожнього покриття. І хоча швидкості в населених пунктах незначні й ці процеси не дуже інтенсивні порівняно з автомобільними магістралями, це надолужується за значно більшої концентрації автотранспортних засобів на урбанізованих територіях. Міста – основні споживачі косметичних і пральних засобів, через що мікропластичні маси потрапляють у раковину і далі у водойми. Слід зазначити, що в структурі забруднення довкілля міста мають винятково точкові вияви забруднення без агломерації впливів – вони в регіоні невеликі – тільки Бережани (17,4), Збараж (13,6), Терехів (12,3), Тернопіль (216,4), Кременець (20,8), Чортків (28,7), Бучач (12,2) мають населення більше 10000 мешканців.

Згідно з реєстром Головного управління екології та природних ресурсів Тернопільської ОДА, в регіоні функціонує 111 сміттєзвалищ твердих побутових відходів. За інформацією Головного управління статистики, в 2022 р. було утворено 315,6 тис. т відходів, а утилізовано тільки 81,03 тис. т. На спеціально відведені місця та об'єкти було спрямовано 47,6 тис. т [10, с. 168]. У структурі ТПВ на пластики припадає приблизно 9–13%. У сільській місцевості у структурі ТПВ частка пластику значно вища – у домашніх господарствах сортування відходів налагоджено досить добре: всі органічні відходи використовуються для відгодівлі домашніх тварин, папір, залишки текстилю й деревини спалюються, метали збираються окремо для здачі на металобрухт. Практичного застосування немає лише для пластикових і скляних відходів, що становить основу відходів таких господарств.

На сміттєзвалищах проходять процеси переважно механічного та фізичного вивітрювання пластичних мас. Особливе місце займає деградація полімерів під дією ультрафіолетового випромінювання. Пластики здатні поглинати середні (~ 295–315 нм) та довгі (~ 315–400 нм) ультрафіолетові хвилі. Видима частина сонячного світла (400–760 нм) суттєво посилює процеси деградації полімерних зв'язків. Інфрачервоне випромінювання (760–2500 нм) сприяє термічному окисленню матеріалів [6, с. 66; 8, с. 96]. Ці процеси малоінтенсивні, дуже повільні, але через величезну кількість полімерних відходів таке джерело мікропластику потрібно враховувати.

Водночас на сміттєзвалища потрапляє велика кількість пластиків, які не є дуже стійкими до температурних коливань і впливу сонячного світла (наприклад, поліпропіленові мішки чи інші подібні вироби). Вони легко руйнуються на відкритому повітрі лише за один рік, утворюючи величезну кількість мікропластику.

Інший спосіб утворення мікропластичних забруднень на полігонах – це механічне руйнування. Воно виникає при механічній обробці пластичних мас (подрібнення) за наявності потужностей з переробки відходів на полігонах або як результат стирання і розламування за переміщення, пресування відходів тощо. Місця концентрації відходів й утворення мікропластичних мас на полігонах Тернопільської області показано на рис. 1.

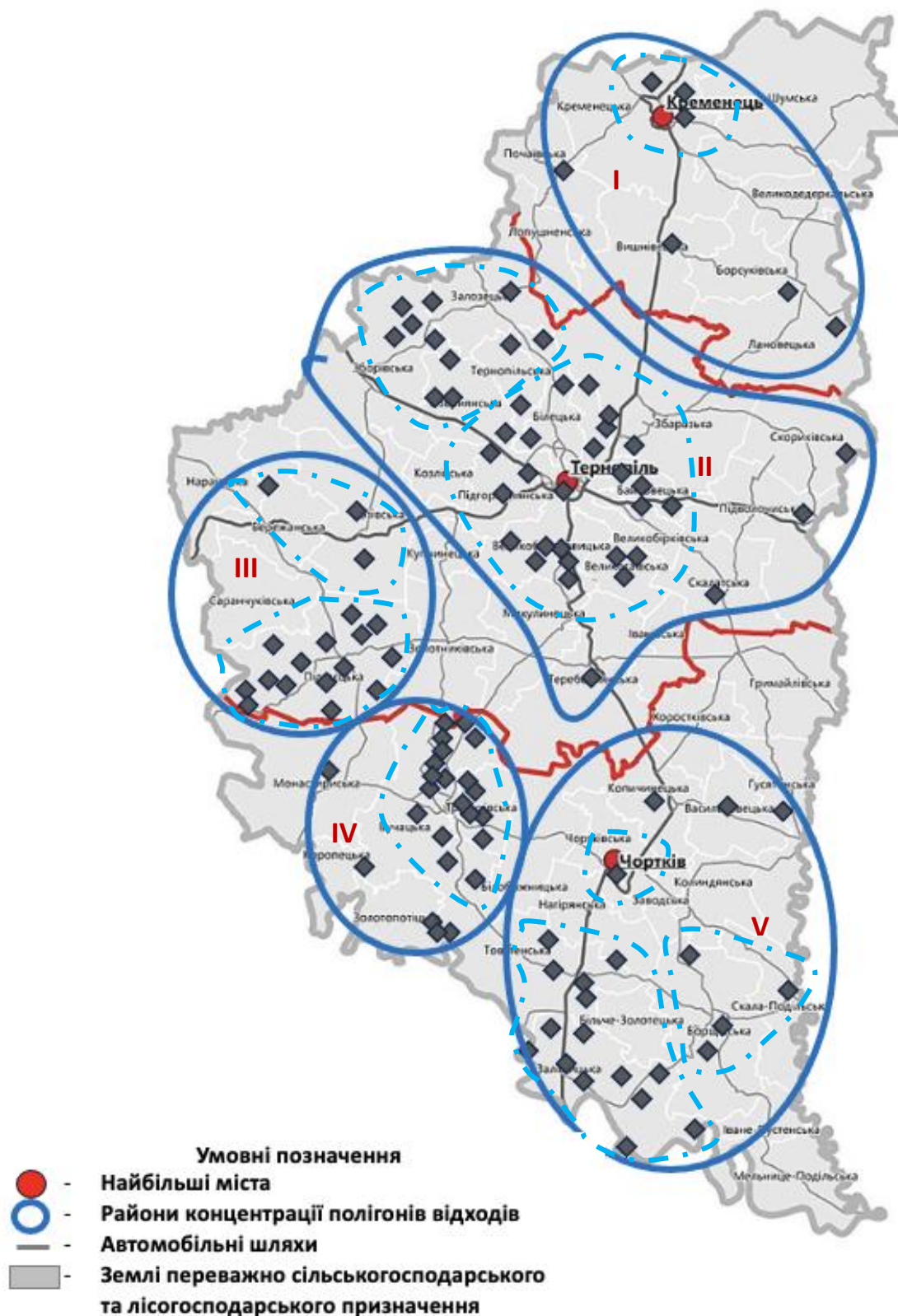


Рис. 1. Джерела поширення забруднення мікропластичними масами Тернопільської області

У територіальному вимірі концентрація відходів приурочена до п'яти ареалів:

I – Північний (охоплює громади Кременецького району; в околицях районного центру розміщення сміттєзвалищ концентроване, на інших ділянках – дисперсне);

II – Центральний (можна виділити дві ділянки з високим рівнем концентрації відходів і власне полігонів: Тернопільська і Зборівсько-Залозецька у поєднанні з дисперсною локалізацією окремих сміттєзвалищ);

III – Західний (з Підгаєцькою ділянкою з високою концентрацією місць видалення відходів та Бережанською дисперсною);

IV – Південно-західний (у басейні р. Стрипа вздовж її течії в кожному населеному пункті є сміттєзвалища, що в поєднанні з рельєфом і звивистістю русла концентрує на невеликій території значну кількість об'єктів складування ТПВ; інші локалізуються біля адміністративних центрів громад);

V – Південний (виділяються Чортківська, Заліщицько-Товстенська і Борщівська ділянки у поєднанні з дисперсним розміщенням полігонів біля адміністративних центрів громад).

У навколишнє середовище мікропластичні маси з місць видалення відходів потрапляють через змивання їх з талими, дощовими водами, які надходять у ґрунти, водне середовище, в результаті транспортування до місць переробки чи переміщення в межах полігонів, шляхом еолового переносу нанопластичних часток.

Сільськогосподарські угіддя в Тернопільській області становлять 1046,2 тис. га, що дорівнює 76% від загальної площі регіону. З них рілля становить 856,4 тис. га, або 62% від загальної площі області [10, с. 150]. Сприятливі агрокліматичні умови сприяють розвитку багатогалузевого й високоінтенсивного сільського господарства, перерусім рільництва. Натомість сучасні агротехнології вирощування сільськогосподарських культур спричиняють суттєве забруднення довкілля мікропластиком.

Одна з причин – застосування капсульованих мінеральних добрив. З метою накопичення в ґрунтовому шарі запасу поживних речовин намагаються сповільнити дифузію водорозчинних речовин у складі добрив до ґрунтового розчину. Для цього гранули добрив покривають плівками з високомолекулярних сполук, у т. ч. використовують поліакриламід або інші речовини, які полімеризуються. Такі проникні для води і ґрунтових розчинів полімерні плівки мають різну товщину, чим регулюється швидкість вивільнення поживних речовин. Вміст капсульованої речовини здебільшого становить 50–90%, але може досягати 95–98% від загальної маси мікрокапсули [12, с. 133–134].

Згідно з оприлюдненими даними Центру міжнародного екологічного права (CIEL) [5, с. 8], мікроплівки, які вкривають гранули добрив, нагромаджуються в ґрунтовому шарі, змінюють структуру ґрунтів і ведуть до деградації ґрунтово-екологічних систем через руйнування ґрунтових мікробіомів. До того ж посилюється токсичність пестицидів. Через застосування капсульованих добрив у ґрунтах накопичується щорічно близько 50 кг мікропластику на 1 га.

Аналогічно виявляють себе новітні засоби захисту рослин. Інтенсивно застосовуються мікрокапсульовані суспензії, які є більш технологічними та екологічними формами порівняно з водонамокними і водорозчинними порошками та водорозчинними гранулами, які диспергуються у воді. Завдяки успішному створенню препаратів у формі мікрокапсульованих суспензій оновлено багато інсектицидів [9]. У країнах ЄС з використанням капсульованих засобів захисту рослин щорічно потрапляє в ґрунт 36 тис. т мікропластичних мас. Це становить понад 65% мікропластику, який забруднює довкілля цього регіону. При цьому концентрація мікропластику в ґрунтах перевищує в 4–23 рази забруднення водного морського середовища [5, с. 8]. Мікропластик потрапляє також в ґрунти разом зі шламовими відходами через стічні води та із плівками для мульчування [20].

Сільськогосподарські угіддя взаємопов'язані з водними екосистемами. Механізм утворення, міграції та нагромадження мікропластиків у системі «суходіл-акваторія» доволі складний, але це питання ґрунтовно висвітлено науковцями [16]. Переосмислимо дещо це

розуміння, доповнивши його додатковими джерелами походження мікропластичних забруднюючих речовин (опади, транспортні коридори, використання новітніх агротехнічних препаратів) (рис. 2).



Рис. 2. Утворення, міграція та акумуляція мікропластичних мас у системі «суходіл-акваторія»

Транспортна складова забруднення мікропластичними масами – одна з найсуттєвіших. Основу транспортного комплексу становить автомобільний транспорт. Територія Тернопільської області покрита густою мережею автомобільних доріг (див. рис. 1). Із 5000,1 їх кілометрів на дороги з твердим покриттям припадає 99,5% (4976,2 км). Довжина автомобільних доріг міжнародного значення в межах регіону становить 307,1 км, з них: М-12 «Стрий – Тернопіль – Кіровоград – Знам'янка» (106,4 км) та М-19 «Доманове – Ковель – Чернівці – Тереблече» (200,7 км). А статус регіональних автомобільних, за даними Державного агентства відновлення та розвитку інфраструктури України, мають дороги протяжністю 263,7 км (табл. 1).

Основою виготовлення автомобільних шин є еластomers, тобто полімерні пластичні маси з дуже високою зворотною деформацією. Через те, що еластomers мають неперервну структуру, вони змінюють форму при розтягненні, зсуві, стисканні, при чому такі механічні впливи можуть бути різноспрямовані. За припинення впливів на еластомер виріб з нього повертається до своїх попередніх розмірів і форми. Сучасні автомобільні шини приблизно на чверть (близько 25%) складаються із синтетичного каучуку. Незважаючи на те, що цей матеріал має відповідні властивості до стирання, швидкість обертання, сили тертя, характер і тип дорожнього покриття значно руйнують автомобільну покришку в процесі її експлуатації. Загалом на пил від зношування

шин припадає 78% мікропластику в океані [1]. А враховуючи те, у світі щороку виготовляють приблизно 2 млрд шин, ця проблема буде дедалі актуальнішою.

Таблиця 1

Регіональні автомобільні дороги в межах Тернопільської області*

Регіональні автомобільні дороги		км
P-24	Татарів – Косів – Коломия – Борщів – Кам’янець-Подільський	51,1
P-26	Острог – Кременець – Почаїв – Радивилів	70,3
P-32	Кременець – Біла Церква – Ржищів	30,9
P-39	Броди – Тернопіль	40,7
P-41	Обхід м. Тернополя	14,5
P-43	/М-19/ – Ланівці – /Р-32/	56,2
	Разом	263,7

* За даними Державного агентства відновлення та розвитку інфраструктури України

Комплект шин звичайного автомобіля утворює близько трильйона мікрочастинок на кожен кілометр експлуатації, а забруднення шинним пилом в окремих випадках конкурує з викидами з вихлопних труб. Проведено дослідження, які підтверджують, що викиди мікрочастинок PM_{2,5} та PM₁₀ від стирання шин та гальмівних колодок й дисків перевищують обсяги викидів із вихлопних труб цих самих автомобілів [13]. До того ж автомобільна покришка містить значну кількість хімічних сполук (понад чотири сотні), а при експлуатації здимає у повітря великі пилові маси.

Висновки. Загалом оцінено просторові аспекти формування джерел забруднення регіону мікропластичними масами, визначено райони концентрації, формування і накопичення такої групи поллютантів довкілля. В регіоні можна виділити точкові, ареальні, дисперсні та лінійні джерела генерації, забруднення мікропластиком і його акумуляції, а саме урбоекосистеми, сільські населені пункти, автомобільні шляхи, полігони для тимчасового чи постійного складування твердих побутових відходів, місця їхнього стихійного самовільного нагромадження, сільськогосподарські угіддя, водні екосистеми, атмосферні опади.

Найсуттєвіший вплив на екосистеми мають міські населені пункти та ареали концентрації полігонів побутових відходів. Останніх визначено п’ять: Північний, Центральний, Західний, Південно-західний, Південний. Забруднення довкілля мікропластикою проходить шляхом змивання їх з талими і дощовими водами, потрапляння цих речовин у ґрунти, водне середовище, транспортування до місць переробки чи в межах полігонів.

У Тернопільській області, яка характеризується досить високим рівнем сільськогосподарського освоєння території, забруднення середовища мікропластиком, передусім, ґрунтів, водних екосистем та деградація мікробіомів ґрунтових екосистем, є наслідком інтенсифікації процесів й агротехнологій вирощування сільськогосподарських культур. Велике значення в просторових оцінках забруднення територій, у т. ч. сільськогосподарських угідь, має транспортний фактор, зокрема розвиток автомобільного транспорту.

Література

1. Автомобільні шини виявилися найбільш небезпечним джерелом забруднення навколишнього середовища мікропластиком : веб-сайт. URL: <https://racurs.ua/ua/n187944-zsunulysya-bilya-robotynogo-na-600-metriv-syly-oborony.html>

2. Груздова В. О., Колошко Ю. В., Лобойченко В. М. Дослідження особливостей забруднення територій мікропластиком як складова забезпечення їх екологічної безпеки. *Розвиток сільських територій на засадах екологічності, енергонезалежності й енергоефективності* : матеріали II Міжнародного науково-практичного конференції, 11 лист. 2021 р. Полтава, 2021. С. 65-67.

3. Ємельянов В. О., Наседкін Є. І., Куковська Т. С., Митрофанова О. А., Довбиш С. М. Дослідження пластику та мікропластику в геоєкосистемі Чорного моря як складової оцінки її забруднення. *Український географічний журнал* (Ukrainian Geographical Journal), 2023 (4). С. 26–35.
4. Кірсанова В. В., Биковець Н. П., Чумаченко М. М. Пластикова упаковка на морських суднах у контексті глобальної екологічної проблеми мікропластику. *Екологічні науки. Науково-практичний журнал*. 2020. № 2 (29). Т. 1. С. 164-169.
5. Коріненко Б. В. Мікропластик як глобальне джерело забруднення навколишнього середовища. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2022. № 6. С. 6-12.
6. Крилова Г. В. Екобезпечна утилізація побутових пластикових відходів в технологіях із завершальним біорозкладом : Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. С. 63. <https://lpnu.ua/sites/default/files/2023/radaphd/22210/disertaciya-krilova-gv.pdf>
7. Михайлова Є. О. Пластикове забруднення – одна з головних екологічних проблем людства. URL: http://repository.hneu.edu.ua/bitstream/123456789/25028/1/%D0%9C%D0%B8%D1%85%D0%B0%D0%B9%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B0%20%D0%84.%D0%9E._%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B5%20%D0%B7%D0%B0%D0%B1%D1%80%D1%83%D0%B4%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20%E2%80%93.pdf
8. Нагурський О. А., Крилова Г. В., Васійчук В. О., Качан С. І., Вихівська К. М. Екологічна ефективність утилізації пластикових відходів у технологіях виробництва капсульованих добрив. *Сталий розвиток – стан та перспективи* : збірник матеріалів III Міжнар. наук. симпоз., 26–29 січня 2022 р. Львів-Славське, 2022. С. 95–96.
9. Препаративні форми: класифікація, значення, особливості : веб-сайт. URL: <https://superagronom.com/cards/preparativni-formi-klasifikaciya-znachennya-osoblivosti-id18964>
10. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Тернопільській області у 2022 році. Електронний варіант доповіді розміщений на сайті управління екології та природних ресурсів Тернопільської облдержадміністрації. URL: <https://ecology.te.gov.ua/stan-dovkillya/regionalna-dopovid-pro-stan-onps-vternopilskij-ob/>
11. Сафранов Т. А., Приходько В. Ю., Михайленко В. І. Відходи пластикових матеріалів: оцінка утворення та поводження в регіонах Північно-західного Причорномор'я. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2023. № 31. С. 122–130.
12. Тимчук І. С., Мальований М. С., Яцух К. І. Використання мінеральних капсульованих добрив для оптимізації живлення картоплі та збереження природних ресурсів. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2018. Вип. 64. С. 132–144.
13. Токсичний пил шин може бути найгіршим з усіх джерел забруднення мікропластиком : веб-сайт. URL: <https://greentransform.org.ua/toksychnyj-pyl-shyn-mozhe-buty-najgirshym-z-usih-dzherel-zabrudnennya-mikroplastykom/>
14. Юрченко В. О., Мельнікова О. Г., Пономарьов К. С., Самохвалова А. І. Мікропластик в донних відкладеннях річок на урбанізованих територіях. *Екологічно сталий розвиток урбосистем: виклики і рішення* : Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф., 2–3 лист. 2021 р. ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. С. 134–136.
15. Фортуна М. В., Борисовська О. О. Оцінка забруднення водного середовища мікропластиком. URL: <https://znp.nmu.org.ua/pdf/2021/65/PDF/18.pdf>
16. Alice A. Horton, Alexander Walton, David J. Spurgeon, Elma Lahive, Claus Svendsen. Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities. *Science of The Total Environment*. Vol. 586, 15 May 2017. P. 127–141. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969717302073>
17. Arjay A. Arpia, Wei-Hsin Chen, Aristotle T. Ubando, Salman Raza Naqvi, Alvin B. Culaba. Microplastic degradation as a sustainable concurrent approach for producing biofuel and obliterating

hazardous environmental effects: A state-of-the-art review. *Journal of Hazardous Materials*. Vol. 418, 15 September 2021. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389421013455>

18. Attila Bodor, Gábor Feigl, Bálint Kolossa, Enikő Mészáros, Krisztián Laczi, Etelka Kovács, Katalin Perei, Gábor Rákhely. Soils in distress: The impacts and ecological risks of (micro)plastic pollution in the terrestrial environment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Plants 2023, 12, 3282. URL: <https://www.mdpi.com/2223-7747/12/18/3282>

19. Kassian T. T. Amesho, Chingakham Chinglenthoba, Mohd S. A. B. Samsudin, Mohd Nizam Lani, Ashutosh Pandey, Mohd Nasir Mohd Desa, Valiyaveetil Suresh. Microplastics in the environment: An urgent need for coordinated waste management policies and strategies. *Journal of Environmental Management*. Volume 344, 15 October 2023. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479723015013>

20. Landwirtschaftlich genutzte Böden stark mit Mikroplastik belastet. URL: https://www.topagrar.com/acker/news/landwirtschaftlich-genutzte-boeden-stark-mit-mikroplastik-belastet-12450295.html?utm_campaign=start&utm_source=topagrar&utm_medium=referral

21. Rajul Jain, Ashish Gaur, Renuka Suravajhala, Uttra Chauhan, Manu Pant, Vishal Tripathi, Gaurav Pant. Microplastic pollution: Understanding microbial degradation and strategies for pollutant reduction. *Science of The Total Environment*. Volume 905, 20 December 2023. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004896972305725X>

References

1. Avtomobilni shyny vyiavlyisia naibilsh nebezpechnym dzherelom zabrudnennia navkolyshnoho seredovyscha mikroplastykom [Car tires turned out to be the most dangerous source of environmental pollution with microplastics]. Retrieved from <https://racurs.ua/ua/n187944-zsu-prosunulysya-bilya-robotynogo-na-600-metriv-syly-oborony.html> [in Ukrainian].

2. Hruzdova, V. O., Koloshko, Yu. V., Loboichenko, V. M. (2021) Doslidzhennia osoblyvostei zabrudnennia terytorii mikroplastykom yak skladova zabezpechennia yikh ekolohichnoi bezpeky [Study of the peculiarities of the contamination of territories with microplastics as a component of ensuring their environmental safety]. *Rozvytok silskykh terytorii na zasadakh ekolohichnosti, enerhonezalezhnosti y enerhoefektyvnosti* : materialy II Mizhnariu nauk.-prakt. konf., 11.11.2021. Poltava, 2021, 65–67 [in Ukrainian].

3. Iemelianov, V. O., Nasiedkin, Ye. I., Kukovska, T. S., Mytrofanova, O. A., Dovbysh, S. M. (2023) Doslidzhennia plastyku ta mikroplastyku v heoekosystemi Chornoho moria yak skladovoi otsinky yii zabrudnennia [Research of plastic and microplastics in the geoecosystem of the Black Sea as a component of its pollution assessment]. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal (Ukrainian Geographical Journal)*, Iss. 4, 26–35 [in Ukrainian].

4. Kirsanova, V. V., Bykovets, N. P., Chumachenko, M. M. (2020) Plastykova upakovka na morskyykh sudnakh u konteksti hlobalnoi ekolohichnoi problemy mikroplastyku [Plastic packaging on sea vessels in the context of the global environmental problem of microplastics]. *Ekolohichni nauky. Naukovo-praktychnyi zhurnal*. № 2 (29). T. 1, 164–169 [in Ukrainian].

5. Korinenko, B. V. (2022) Mikroplastyk yak hlobalne dzherelo zabrudnennia navkolyshnoho seredovyscha [Microplastic as a global source of environmental pollution.]. *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu. Bulletin of the Vinnytsia Polytechnic Institute*, № 6, 6–12 [in Ukrainian].

6. Krylova, H. V. (2023) Ekobezpechna utylizatsiia pobutovykh plastykovykh vidkhodiv v tekhnolohiiakh iz zavershalnym biorozkladom [Environmentally safe utilization of household plastic waste in technologies with final biodegradation]: Kvalifikatsiina naukova pratsia na pravakh rukopysu. 63. Retrieved from <https://lpnu.ua/sites/default/files/2023/radaphd/22210/disertaciya-krilova-gv.pdf> [in Ukrainian].

7. Mykhailova, Ye. O. Plastykove zabrudnennia – odna z holovnykh ekolohichnykh problem liudstva [Plastic pollution is one of the main ecological problems of mankind]. Retrieved from <http://repository.hneu.edu.ua/bitstream/123456789/25028/1/%D0%9C%D0%B8%D1%85%D0%B0%D0>

%B9%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B0%20%D0%84.%D0%9E._%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B5%20%D0%B7%D0%B0%D0%B1%D1%80%D1%83%D0%B4%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20%E2%80%93.pdf [in Ukrainian].

8. Nahurskyi, O. A., Krylova, H. V., Vasiichuk, V. O., Kachan, S. I., Vykhivska, K. M. (2022). Ekolohichna efektyvnict utylizatsii plastykovykh vidkhodiv u tekhnolohiiakh vyrobnytstva kapsulovanykh dobryv [Environmental efficiency of plastic waste utilization in technologies for the production of encapsulated fertilizers]. *Stalyi rozvytok – stan ta perspektyvy : zbirnyk materialiv III Mizhnar. nauk. sympoz.*, 26–29.01.2022, Lviv-Slavske, 95–96 [in Ukrainian].

9. Preparatyvni formy: klasyfikatsiia, znachennia, osoblyvosti [Preparative forms: classification, meaning, features]: website. Retrieved from <https://superagronom.com/cards/preparativni-formi-klasifikaciya-znachennya-osoblyvosti-id18964> [in Ukrainian].

10. Rehionalna dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha v Ternopilskii oblasti u 2022 rotsi [Regional report on the state of the natural environment in the Ternopil region in 2022]. Elektronnyi variant dopovidi rozmishchenyi na сайti upravlinnia ekolohii ta pryrodnykh resursiv Ternopilskoi oblderzhadministratsii. Retrieved from <https://ecology.te.gov.ua/stan-dovkillya/regionalna-dopovid-pro-stan-onps-vternopilskij-ob/> [in Ukrainian].

11. Safranov, T. A., Prykhodko, V. Yu., Mykhailenko, V. I. (2023) Vidkhody plastykovykh materialiv: otsinka utvorennia ta povodzhennia v rehionakh Pivnichno-zakhidnoho Prychornomia [Waste plastic materials: assessment of formation and management in the regions of the North-Western Black Sea Region]. *Ukrainskyi hidrometeorolohichnyi zhurnal*, № 31, 122–130 [in Ukrainian].

12. Tymchuk, I. S., Malovanyi, M. S., Yatsukh, K. I. (2018) Vykorystannia mineralnykh kapsulovanykh dobryv dlia optymizatsii zhyvlennia kartopli ta zberezhenia pryrodnykh resursiv [The use of mineral encapsulated fertilizers to optimize potato nutrition and preserve natural resources]. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynnytstvo*, Iss. 64, 132–144 [in Ukrainian].

13. Toksychnyi pyl shyn mozhe buty naihirshym z usikh dzherel zabrudnennia mikroplastykom [Toxic tire dust may be the worst source of microplastic pollution]: website. Retrieved from <https://greentransform.org.ua/toksychnyj-pyl-shyn-mozhe-butynajgirshym-z-usih-dzherel-zabrudnennya-mikroplastykom/> [in Ukrainian].

14. Iurchenko, V. O., Melnikova, O. H., Ponomarov, K. S., Samokhvalova, A. I. (2021) Mikroplastyk v donnykh vidkladenniakh richok na urbanizovanykh terytoriiakh [Microplastics in bottom sediments of rivers in urbanized areas]. *Ekolohichno stalyi rozvytok urbosystem: vyklyky i rishennia : Mizhnar. nauk.-prakt. internet-konf.*, 2–3.11.2021. KhNUMH im. O. M. Beketova, 134–136 [in Ukrainian].

15. Fortuna, M. V., Borysovska, O. O. (2021) Otsinka zabrudnennia vodnoho seredovyscha mikroplastykom [Assessment of contamination of the aquatic environment with microplastics]. Retrieved from <https://znp.nmu.org.ua/pdf/2021/65/PDF/18.pdf> [in Ukrainian].

16. Alice A. Horton, Alexander Walton, David J. Spurgeon, Elma Lahive, Claus Svendsen (2017) Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities. *Science of The Total Environment*, Vol. 586, 15 May, 127–141. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969717302073>

17. Arjay A. Arpia, Wei-Hsin Chen, Aristotle T. Ubando, Salman Raza Naqvi, Alvin B. Culaba (2021) Microplastic degradation as a sustainable concurrent approach for producing biofuel and obliterating hazardous environmental effects: A state-of-the-art review. *Journal of Hazardous Materials*. Vol. 418, 15 September Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389421013455>

18. Attila Bodor, Gábor Feigl, Bálint Kolossa, Enikő Mészáros, Krisztián Laczi, Etelka Kovács, Katalin Perei, Gábor Rákhely. Soils in distress: The impacts and ecological risks of (micro)plastic pollution in the terrestrial environment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Plants 2023, 12, 3282. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2223-7747/12/18/3282>

19. Kassian T. T. Amesho, Chingakham Chinglenthoinba, Mohd S. A. B. Samsudin, Mohd Nizam Lani, Ashutosh Pandey, Mohd Nasir Mohd Desa, Valiyaveetil Suresh (2023) Microplastics in the environment: An urgent need for coordinated waste management policies and strategies. *Journal of Environmental Management*, Vol. 344, 15 October. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479723015013>

20. Landwirtschaftlich genutzte Böden stark mit Mikroplastik belastet. Retrieved from https://www.topagrar.com/acker/news/landwirtschaftlich-genutzte-boeden-stark-mit-mikroplastik-belastet-12450295.html?utm_campaign=start&utm_source=topagrar&utm_medium=referral

21. Rajul Jain, Ashish Gaur, Renuka Suravajhala, Utra Chauhan, Manu Pant, Vishal Tripathi, Gaurav Pant (2023) Microplastic pollution: Understanding microbial degradation and strategies for pollutant reduction. *Science of The Total Environment*. Vol. 905, 20 Dec. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004896972305725X>

Статтю отримано 10 листопада 2023 року