

Але за значного порушення земель є необхідним лишити ушкоджені території для відновлення їх природним шляхом. Хоча слід ураховувати, що відсутність рослинності підвищує ризики розвитку ерозійних процесів. Це потребує застосування додаткових протиерозійних заходів.

У результаті проведеного дослідження встановлено, що військова деградація ґрунтів є критичним чинником, який спричиняє незворотні зміни в структурі та родючості земельних ресурсів і є довгостроковою загрозою продовольчій безпеці. Відновлення вимагає комплексного підходу: від розмінування до біотехнологічної очистки і спільних зусиль для їх подолання.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Балюк С.А., Кучер А.В. Стан та перспективи відновлення родючості ґрунтів України в післявоєнний період. Вісник аграрної науки. 2024. №3. С. 15-28.
2. Медведєв В.В. Механічна деградація чорноземів під впливом військової техніки: діагностика та шляхи подолання. 2024. Видавництво "Стиль-Іздат", Харків. 210 с.
3. Трускавецький Р.С., Цапко Ю.Я. Хімічне забруднення ґрунтів важкими металами внаслідок детонації боєприпасів: моніторинг та рекультивация. 2025. Журнал с/г наук. Т.12, №1. С.44-56.

**УДК 504.06:536.7**

## **ФІЗИКО-ЕНЕРГЕТИЧНІ АСПЕКТИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ: ТЕРМОДИНАМІЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ МІСЬКИХ ЕКОСИСТЕМ ДЛЯ ЗАХИСТУ ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ**

*Олена ГОРІНА, канд. пед. наук, доц.,  
доц. кафедри фізики та хімії горіння  
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності*

У роботі досліджено взаємозв'язок між фундаментальними законами фізики та проблемами екологічної безпеки урбанізованих територій. Проаналізовано термодинамічні аспекти формування міських «островів тепла» та їх вплив на здоров'я людини. Розглянуто фізичні механізми розсіювання забруднюючих речовин, зокрема дрібнодисперсних частинок (PM<sub>10</sub> та PM<sub>2,5</sub>), у приземному шарі атмосфери. Визначено вплив акустичного забруднення (шуму) на психофізіологічний стан населення. Окреслено шляхи захисту довкілля через оптимізацію процесів горіння та зниження емісії оксидів азоту (NO<sub>x</sub>).

Екологічна безпека сучасної цивілізації безпосередньо залежить від розуміння складних фізичних процесів, що відбуваються в біосфері під

впливом антропогенного чинника [1]. Стан довкілля та здоров'я людини визначаються не лише хімічним складом середовища, а й глобальними енергетичними потоками, що формують мікроклімат мегаполісів [2]. Із точки зору фізики, будь-яка промислова чи транспортна система є джерелом дисипації енергії, що неминуче призводить до зростання ентропії. Захист довкілля сьогодні вимагає не просто обмеження викидів, а глибокої термодинамічної оптимізації всіх техногенних процесів, починаючи з макрорівня міського середовища.

1. Термодинаміка міського середовища та ефект «острова тепла». Міські екосистеми з точки зору класичної термодинаміки є відкритими нерівноважними системами. Одним із найбільш критичних явищ для здоров'я людини є формування «островів тепла». Це явище зумовлене високою теплоємністю будівельних матеріалів (бетону, цегли) та низьким коефіцієнтом альbedo (відбивної здатності) асфальтованих поверхонь. Згідно з першим законом термодинаміки, надлишкова теплова енергія, що виникає внаслідок роботи двигунів внутрішнього згоряння та промислових установок, дисипує у приземний шар атмосфери [3]. Це спричиняє порушення природної конвекції, створюючи умови для температурної інверсії. У такому стані токсичні продукти горіння не розсіюються, а накопичуються на рівні дихання людини, що призводить до загострення респіраторних захворювань. Температурні аномалії – це лише частина проблеми, адже порушення повітряних потоків безпосередньо впливає на механіку руху твердих часток у просторі.

2. Фізика аерозолів та гідродинаміка забруднень. Процеси захисту довкілля нерозривно пов'язані з фізикою поширення дрібнодисперсних частинок серії РМ (Particulate Matter – тверді мікросферичні частки). Зокрема, частки РМ10 (діаметром менше 10 мікрометрів) та найбільш небезпечні для здоров'я людини РМ2.5 (діаметром менше 2,5 мікрометрів) мають у 30-40 разів менший розмір, ніж товщина людської волосини. Рух цих часток у повітрі підпорядковується законам гідродинаміки та дифузії. Через свою мізерну масу вони не осаджуються миттєво під дією сили тяжіння, а тривалий час перебувають у підвішеному стані, утворюючи стійкі аерозолі [4]. Швидкість їхнього гравітаційного осідання в ідеальних умовах описується законом Стокса, проте в реальних умовах міста на них діють турбулентні вихори, створювані забудовою. Фізичне моделювання повітряних потоків навколо будівель дозволяє створювати «вентиляційні коридори», які примусово виводять забруднене повітря за межі житлових масивів. Розуміння броунівського руху та електростатичного осадження частинок дозволяє розробляти ефективні фільтраційні системи для захисту органів дихання людини. Разом із матеріальними частинками, міське середовище насичується енергетичними хвилями іншої природи, які також суттєво деформують екологічний баланс.

3. Акустичне забруднення як фізичний деструктор здоров'я. Фізика звукових хвиль відіграє ключову роль у формуванні екологічного комфорту. Шум великого міста – це хаотична суперпозиція хвиль різної частоти та інтенсивності. Постійний звуковий тиск понад 65 дБ викликає в організмі людини стресові реакції, що мають фізичну природу (зміна кров'яного тиску, порушення ритмів мозку). Екологічна безпека в цьому аспекті полягає у створенні акустичних екранів, робота яких базується на явищах інтерференції та поглинання звуку. Використання пористих матеріалів дозволяє перетворювати кінетичну енергію звукової хвилі в теплову енергію всередині структури матеріалу, захищаючи нервову систему людини від перевантажень. Зниження шумового та теплового навантаження неможливе без перегляду самих джерел енергії, де фундаментальним процесом залишається фізика окиснення.

4. Внесок кафедри фізики та хімії горіння у вирішення проблем екологічної безпеки. Діяльність нашої кафедри зосереджена на дослідженні фундаментальних механізмів перетворення енергії, які є першопричиною більшості екологічних викликів. Як фахівці з фізики та хімії горіння, ми розглядаємо процес окиснення палива як джерело енергії, але водночас і як джерело екологічної небезпеки. Оптимізація кінетики горіння дозволяє досягти стехіометричного співвідношення палива та окислювача, що мінімізує утворення чадного газу та сажі. Наші дослідження спрямовані на вивчення термодинамічних параметрів полум'я, що дозволяє контролювати емісію оксидів азоту ( $\text{NO}_x$ ) – одного з найнебезпечніших забруднювачів міського повітря. Впровадження фізичних моделей управління процесами горіння в енергетичних установках сприяє не лише підвищенню їхнього ККД, а й радикальному зниженню ентропійного навантаження на довкілля. Перехід на відновлювальні джерела енергії, що базуються на фотоелектричному ефекті або електромагнітній індукції, стає логічним продовженням наших досліджень у напрямку фізично чистих циклів перетворення енергії для захисту здоров'я майбутніх поколінь [5].

Висновок. Екологічна безпека та захист здоров'я людини є комплексною науковою задачею, розв'язання якої потребує глибокого розуміння фізичних процесів у техносфері. Проведене дослідження підтверджує, що стан довкілля у мегаполісах критично залежить від механізмів дисипації енергії та мікрофізики поширення забруднюючих частинок. Тільки через врахування законів термодинаміки, аеродинаміки та хвильової фізики можливо створити ефективну стратегію сталого розвитку міських територій. Захист довкілля вимагає переходу до фізично обґрунтованого проектування інженерних систем із мінімальним тепловим та акустичним навантаженням на біосферу.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Білявський Г. О. Основи екологічної безпеки. Київ: Лібра, 2023. 256 с.
2. М'ягченко О. П. Екологія людини: Навчальний посібник. Київ: Центр учбової літератури, 2024. 320 с.
3. Kittel C., Kroemer H. Thermal Physics. W. H. Freeman, 2022. 473 p.
4. World Health Organization. Ambient Air Quality and Health Report 2025. Geneva: WHO Press, 2025. 110 p.
5. Twidell J., Weir T. Renewable Energy Resources. Routledge, 2024. 816 p.

УДК [502.173:502.51]:[628.16.087.1:549.75]

### ПЕРСПЕКТИВИ МІНІМІЗАЦІЇ АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ВОДОЙМИ ШЛЯХОМ СОРБЦІЙНОГО ВИДАЛЕННЯ ФОСФАТІВ

*Людмила ЯЩУК, канд. хім. наук, доц.,  
Крістіна ФЛОРЯ, студентка факультету технологій, будівництва  
та раціонального природокористування  
Черкаський державний технологічний університет*

Погіршення якісних показників води в джерелах поверхневого типу зумовлене перманентним забрудненням речовинами антропогенного походження, зокрема нафтопродуктами, поверхнево-активними речовинами, органічними сполуками та біогенними елементами, що є прямим наслідком недостатньої глибини очищення стічних вод]. Сучасний стан водних об'єктів підтверджує технологічну невідповідність споруд, спроектованих у 60-70-х роках минулого століття, актуальному рівню техногенного навантаження [1]. Інтенсивний розвиток хімічної промисловості, розширення асортименту синтетичних мийних засобів та масове впровадження автоматичних пральних машин у побутову сферу спричинили радикальну трансформацію складу господарсько-побутових стоків. Спостерігається прогресуюче зростання концентрації біогенних елементів (азоту та фосфору), оскільки новітні рецептури засобів для прання містять значну кількість добавок, призначених для інгібування процесів накипоутворення на нагрівальних елементах та підвищення ефективності видалення забруднень. Вміст поліфосфатів у складі сучасних детергентів може сягати 30-50% [2]. Необхідність інтенсифікації процесів видалення біогенів зі стічних вод обумовлена тим, що надлишкове надходження сполук азоту та фосфору в гідросферу ініціює процеси евтрофікації, які призводять до деградації водних екосистем. Це небезпечне явище може призводити до накопичення у водному середовищі токсичних продуктів метаболізму та розпаду білків (аміаку, поліпептидів,