

ВІДНОВЛЕННЯ ДЕГРАДОВАНИХ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ ВНАСЛІДОК БОЙОВИХ ДІЙ В УМОВАХ ЗМІН КЛІМАТУ

Пацева І.Г., Кагукіна А.М.

Державний університет «Житомирська політехніка»

вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир

rig@ztu.edu.ua

Стаття присвячена комплексному дослідженню впливу кліматичних змін та воєнних дій на лісові екосистеми, з особливим акцентом на методи їх відновлення. Проаналізовано синергетичний ефект двох потужних антропогенних факторів: глобальних кліматичних змін та збройних конфліктів, по причині яких суттєво деградує лісові масиви. Дослідження розкриває масштабні екологічні виклики сучасності. Зокрема, показано, що зміни клімату призводять до зростання середньорічних температур, трансформації режимів опадів, посилення екстремальних погодних явищ. Військові дії спричиняють безпосередні руйнування лісових екосистем. Відбуваються масштабні пошкодження ландшафтів, забруднення ґрунтів і водойм, порушення біорізноманіття. Запропоновано комплексні стратегії відновлення лісових екосистем, які включають природне та штучне лісорозведення, ремедіацію ґрунтів, використання мікробних грибів, фіторемердіацію, агролісомеліоративні заходи та постійний моніторинг. Особливу увагу приділено методам адаптивного управління лісовими ресурсами, здатним забезпечити стійкість екосистем в умовах кліматичних змін та поствоєнної деградації. Підкреслено важливість міждисциплінарного підходу, інтеграції наукових знань та інноваційних рішень. Відновлення лісів розглядається як стратегічне завдання, що виходить за межі локальних екологічних проблем. Це crucial внесок у збереження біорізноманіття, пом'якшення кліматичних змін, забезпечення екологічної безпеки та виконання міжнародних природоохоронних зобов'язань. Дослідження демонструє, що ефективна реабілітація лісових екосистем потребує комплексних, адаптивних стратегій, які поєднують наукові інновації, технологічні рішення та широку суспільну підтримку. *Ключові слова:* лісові екосистеми, кліматичні зміни, зміна клімату, воєнні дії, екологічна деградація, лісовідновлення, біорізноманіття, ремедіація ґрунтів, адаптивне управління, фіторемердіація, екологічна безпека, постконфліктна реабілітація, моніторинг довкілля.

Restoration of degraded forest ecosystems as a result of hostilities in the context of climate change. Patseva I., Kahukina A.

The article is devoted to a comprehensive study of the impact of climate change and military operations on forest ecosystems, with a special emphasis on methods of their restoration. The author analyses the synergistic effect of two powerful anthropogenic factors: global climate change and armed conflicts, which are causing significant degradation of forests. The study reveals the large-scale environmental challenges of our time. In particular, it shows that climate change is leading to an increase in average annual temperatures, transformation of precipitation patterns, and intensification of extreme weather events. Military operations cause direct destruction of forest ecosystems. Large-scale landscape damage, soil and water pollution, and biodiversity disruption are occurring. Comprehensive strategies for the restoration of forest ecosystems are proposed, including natural and artificial reforestation, soil remediation, the use of microbial fungi, phytoremediation, agroforestry measures and continuous monitoring. Particular attention is paid to the methods of adaptive forest management that can ensure the sustainability of ecosystems in the face of climate change and post-war degradation. The importance of an interdisciplinary approach, integration of scientific knowledge and innovative solutions is emphasised. Forest restoration is seen as a strategic task that goes beyond local environmental issues. It is a crucial contribution to biodiversity conservation, climate change mitigation, environmental safety and fulfilment of international environmental obligations. The study demonstrates that effective rehabilitation of forest ecosystems requires integrated, adaptive strategies that combine scientific innovation, technological solutions and broad public support. *Key words:* forest ecosystems, climate change, climate change, military operations, environmental degradation, reforestation, biodiversity, soil remediation, adaptive management, phytoremediation, environmental security, post-conflict rehabilitation, environmental monitoring.

Постановка проблеми. Лісові екосистеми підтримують біорізноманіття, сприяють збереженню водних ресурсів, захищають ґрунти від ерозії та опустелювання, а також мають надзвичайно високу соціально-економічну цінність. Однак в останні десятиліття лісові екосистеми зазнають безпрецедентного тиску внаслідок дії двох потужних антропогенних факторів – глобальних кліматичних змін та збройних конфліктів. Масштабні зміни кліматичних умов проявляються у вигляді зростання середньорічних температур, зміни режиму опадів, посилення частоти та інтенсивності екстремальних погодних явищ, що суттєво впливає на структуру, продуктивність

та стійкість лісових екосистем. Паралельно з цим, збройні конфлікти завдають миттєвої та довготривалої шкоди лісовим масивам через безпосередні механічні пошкодження від вибухів, пожеж, використання важкої техніки, а також через забруднення ґрунтів та водойм хімічними речовинами та важкими металами. Війна завдає шкоди не лише людським життям, а й екосистемам, які страждають від обстрілів, ракетних ударів та мінування. Деякі райони залишаються зоною бойових дій, тоді як інші перебувають під окупацією або потребують розмінування [1].

Синергетичний вплив цих факторів призводить до прискореної деградації лісових екосистем, зни-

ження їхньої здатності до саморегуляції та самовідновлення, що вимагає розробки специфічних підходів до реабілітації таких територій. Особливо гострою ця проблема є для України, оскільки її території зазнають активних бойових дій, традиційні методи лісовідновлення можуть бути недостатньо ефективними в умовах комплексного порушення екологічних функцій лісів.

Актуальність дослідження впливу кліматичних змін на лісові екосистеми та розробки методів відновлення деградованих внаслідок бойових дій лісів обумовлена низкою взаємопов'язаних глобальних та локальних факторів.

Посилення кліматичних змін та їх вплив на ліси є єдиним з найсерйозніших екологічних проблем сучасності. Ці зміни спричиняють міграцію видів, порушення фенологічних циклів рослин і тварин, а також сприяють збільшенню спалахів шкідників і хвороб, які загрожують здоров'ю лісів. Втрата лісових екосистем є ще одним наслідком цих змін, з 1990 року через зміну землекористування зникло близько 420 мільйонів гектарів лісів, і кліматичні фактори лише сприяють цьому процесу.

Різні кліматичні загрози, де більший вплив на природні екосистеми, зокрема ліси, мають збройні конфлікти. протягом останніх десятиліть кількість внутрішньодержавних та міждержавних збройних протистояння суттєво зростає. Наслідки цих подій для природного середовища часто залишаються поза увагою, хоча вони мають катастрофічний вплив на ліси. таким чином, за перший рік повномасштабного вторгнення Росії в Україну, за оцінками українських екологів, було пошкоджено або знищено понад 450 тисяч гектарів лісових масивів різного ступеня. Військові дії супроводжуються пожежами, забрудненням ґрунтів і води, знищенням біорізноманіття, а також створюють значні перешкоди для природного відновлення лісів.

З огляду на ці виклики, традиційні методи відновлення лісів виявляються недостатньо ефективними, після чого не враховують комплексний вплив як зміни клімату, так і наслідків військових дій. Це вимагає розробки нових наукових підходів та практичних рекомендацій, які дозволяють ефективно відновлювати деградовані лісові екосистеми з урахуванням прогнозованих змінних кліматичних умов та специфіки пошкоджень, заподіяних бойовими діями. Одним із ключових напрямів є інтеграція адаптаційних стратегій до зміни клімату та механізмів постконфліктного відновлення, що дозволить забезпечити довготривалу стабільність лісових ландшафтів.

Важлива роль у цьому процесі відбувається та відновлення лісів як одного із збереження головних природних механізмів стабілізації клімату. Ліси щорічно поглинають близько 2,6 млрд тонн CO₂, що становить приблизно 30% загальних антропогенних викидів. Таким чином, відновлення деградованих лісових екосистем є одним із найефективніших

природних рішень для пом'якшення наслідків зміни клімату. Незалежного екологічного значення, реабілітація пошкоджених лісових екосистем має суттєвий соціально-економічний ефект, особливо для регіонів, що постраждали від збройних конфліктів. Відновлені ліси забезпечують місцеве населення недревними лісовими продуктами, сприяють розвитку рекреаційного туризму та створюють нові робочі місця у сфері лісового господарства та суміжних галузей. Це є елементом постконфліктної відбудови економіки покращуючи добробут населення.

При значній кількості досліджень щодо впливу кліматичних змін на ліси та екологічних наслідків збройних конфліктів, комплексний науковий підхід до проблеми відновлення лісових екосистем, які зазнали одночасного впливу обох факторів, залишається недостатньо розробленим. Виникає гостра необхідність у створенні методологічних основ та практичних рекомендацій, що інтегрують знання з лісової екології, кліматології, ґрунтознавства та соціально-економічних наук. Лише завдяки такому підходу можна розробити ефективні стратегії відновлення, які забезпечать довготривалу екологічну стабільність та соціально-економічний розвиток постраждалих територій.

Відновлення лісів у сучасних умовах є складним, багатофакторним процесом, що потребує злагодженої співпраці міжнародних організацій, науковців, урядів та місцевих громад. Лише завдяки комплексному підходу, який з можливістю компенсації екологічних, соціальних та економічних аспектів, ефективно реагувати на сучасні виклики та забезпечити сталий розвиток лісових екосистем у майбутньому.

Таким чином, дослідження впливу змін клімату на ліси та методів відновлення деградованих лісових екосистем внаслідок бойових дій має високу наукову, екологічну та соціально-економічну значущість. Розробка та впровадження інноваційних підходів до відновлення таких лісів сприятиме не лише збереженню біорізноманіття та пом'якшенню кліматичних змін, але й забезпеченню сталого розвитку постконфліктних територій, підвищенню якості життя місцевого населення та виконанню міжнародних зобов'язань України у сфері охорони навколишнього середовища та кліматичної політики.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблема впливу кліматичних змін на лісові екосистеми та їх відновлення після воєнних дій є предметом широкого наукового вивчення в останні десятиліття. Різні аспекти цієї комплексної проблеми досліджували як вітчизняні, так і зарубіжні науковці. Фундаментальні дослідження впливу глобальних кліматичних змін на ліси представлені працями міжнародної групи кліматологів та екологів. Колектив науковців [2] провели масштабне дослідження впливу збройних конфліктів на різні екосистеми, включаючи лісові масиви. Війни завдають значної шкоди довкіллю, впливаючи на ландшафти, якість

грунту, повітря та воду. Необхідне впровадження передових практик для збереження довкілля та сталого розвитку. Темпи антропогенної зміни клімату значно перевищують ті, до яких лісові екосистеми, в яких переважають нерухомі довгоживучі організми, здатні адаптуватися. Деадаптація лісів, що виникає в результаті, має потенційно згубний вплив на функціонування екосистем [3]. В дослідженні науковців [4] йдеться про те, як зміна клімату впливає на лісову екосистему. Зміни клімату впливають на всі прямі та непрямі зміни та зрушення в екосистемах. Лісові пожежі також порушують нашу лісову екосистему, порушуючи дику природу, середовище існування, збільшуючи та зменшуючи кругообіг поживних речовин і смертність особин. Частота дерев, розмір, сезонність, інтенсивність через пожежу швидше розмножуються шкідники та збудники. Вони розширюють свій ареал і вторгаються в нові регіони в тепліших, вологіших або збагачених вуглекислим газом умовах. Через застосування боєприпасів і ракет, знищення техніки в лісах та зведення фортифікаційних споруд виникають пожежі, пошкоджуються рослини, порушується ґрунтовий шар, а лісові екосистеми забруднюються залишками техніки, боєприпасів, вибухонебезпечними предметами, хімічними речовинами та побутовими відходами [5]. Дослідження [6] наголошує на важливості комплексного підходу до протипожежного захисту лісових екосистем, особливо в умовах зміни клімату та зростання антропогенного впливу. Основними аспектами є профілактика, моніторинг, оперативне реагування та післяпожежне відновлення. Запобігання пожежам передбачає розчищення територій, створення проти-

пожежних смуг, інформаційні кампанії, обмеження в'їзду транспорту та заборону розведення вогню у пожежонебезпечні періоди.

Викладення основного матеріалу. Зміни клімату мають значний вплив на ліси. Збільшення температури повітря прискорює випаровування вологи, змінює сезонність росту дерев та підвищує ризик лісових пожеж. Нерівномірний розподіл опадів може спричинити посухи або надмірне зволоження ґрунту, що негативно позначається на здоров'ї лісів. Теплі зими сприяють розмноженню комах-шкідників та патогенних мікроорганізмів, що знижує стійкість дерев. Зміни клімату можуть посилювати ерозійні процеси, особливо в деградованих лісах. Особливо вразливими до змін клімату є монокультурні лісові насадження, які домінують у багатьох регіонах України.

Бойові дії завдають значних руйнувань лісовим екосистемам через пряме знищення дерев внаслідок вибухів, пожеж та технічних пошкоджень. Відбувається забруднення ґрунтів та води важкими металами, нафтопродуктами та іншими токсичними речовинами. Відбувається порушення ґрунтового покриву та деградація біорізноманіття. Через зміни в середовищі існування є ризик втрати лісової фауни.

Обсяги лісовідновлення в Житомирській області за період з 2019 по 2023 рр. демонструють нестабільну динаміку (Рис. 1). Найбільші обсяги робіт з відновлення лісів припадають на 2021 рік. Відновлення деградованих лісових екосистем є ключовим завданням для збереження біорізноманітності, підтримки екологічної рівноваги та забезпечення сталого використання природних ресурсів. Одним із

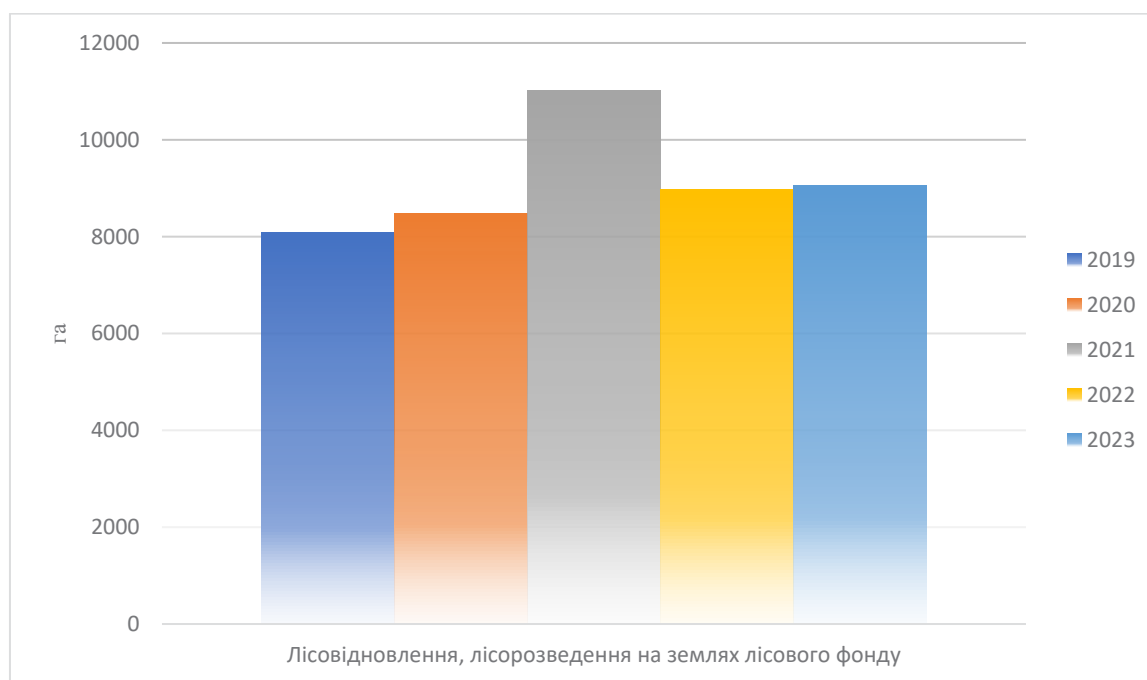


Рис. 1. Динаміка лісовідновлення та створення захисних лісонасаджень [7]

найефективніших методів є природне лісовідновлення, яке передбачає сприяння самовідновленню лісів. Це можливо завдяки збереженню існуючих здорових дерев, які обслуговують джерела середовища та сприяють відтворенню природного рослинного покриву. Також важливим аспектом є контроль за розповсюдженням інвазійних видів, які можуть пригнічувати природну регенерацію та витіснити місцеві породи дерев.

Також є ефективним штучне лісовідновлення. Цей метод включає висаджування місцевих видів дерев та чагарників, які найкраще адаптовані до змінених екологічних умов. Для територій, постраждалих від бойових дій, рекомендується створення мішаних лісових насаджень із переважанням стійких до кліматичних змін видів. Наприклад, у зоні мішаних лісів доцільно збільшувати частку дуба звичайного, клена гостролистого та липи серцелистої, які мають вищу посухостійкість порівняно з традиційними для цього регіону сосною звичайною та ялиною європейською [8].

Особливу роль у цьому процесі використовує використання мікробних грибів, які створюють симбіотичні зв'язки з корінням молодих дерев, сприяючи їх швидкому зростанню та підвищенню стійкості до стресових факторів довкілля. Ще одним напрямком є ремедіація та рекультивація ґрунтів, які зазнали деградації або забруднення. Для очищення таких територій використовують різні методи, зокрема видалення важких металів та інших токсичних речовин. Одним із найбільших екологічних способів є фіторемердіація – використання спеціальних рослин, які здатні поглинати та накопичувати забруднюючі речовини, тим самим сприяючи відновленню родючості ґрунтів. Наприклад, верба козяча (*Salix caprea*) та береза повисла (*Betula pendula*) ефективно акумулюють свинець, кадмій та цинк, а тополя тремтяча (*Populus tremula*) добре поглинає нафтопродукти. На територіях з високим рівнем забруднення важкими металами може застосовуватися хімічна іммобілізація забруднюючих речовин шляхом внесення спеціальних сорбентів на основі цеолітів, які зв'язують токсичні елементи та зменшують їх біодоступність. Цей метод дозволяє швидко знизити токсичність ґрунту та створити умови для початку біологічної рекультивації.

Для ділянок з механічними пошкодженнями ґрунтового покриву внаслідок вибухів, руху важкої техніки або створення окопів та інших фортифікаційних споруд необхідною є технічна рекультивація, яка включає вирівнювання поверхні, усунення воронки та інших пошкоджень ландшафту. Після цього проводиться біологічна рекультивація, що передбачає висівання травосумішей для швидкого закріплення ґрунтового покриву та попередження ерозії. Особливо ефективними є сумішки бобових трав (конюшина лучна, люцерна посівна) з злаковими (костриця лучна, тимофійка лучна), які не

лише закріплюють ґрунт, але й збагачують його азотом.

Запобігання ерозії та покращення водного режиму також є невід'ємною складовою комплексного відновлення лісових екосистем. Для цього впроваджуються агролісомеліоративні заходи, зокрема створення вітрозахисних смуг, що зменшують вітрову ерозію та підтримують сприятливий мікроклімат. Крім того, будівництво водорегулюючих споруд дозволяє контролювати рівень обґрунтованих вод, запобігаючи як підтопленню, так і пересиханню лісових масивів.

Ефективним методом захисту відновлюваних лісових насаджень від пожеж є створення системи протипожежних бар'єрів. Вони включають мінералізовані смуги шириною 2–4 м, які розділяють лісові масиви на блоки площею не більше 50 га. Для територій з високим ризиком пожеж рекомендується також створення протипожежних розривів шириною до 100 м, засаджених листяними породами дерев, які мають нижчу займистість порівняно з хвойними.

Нарешті, важливу роль у процесі відновлення лісів здійснює моніторинг та адаптація лісогосподарських практик до змін клімату та сучасних викликів, зокрема післявоєнного відновлення території. Використання супутникових та наземних методів моніторингу дозволяє оперативно оцінювати стан лісових територій і тимчасово здійснити деякі заходи.

Супутниковий моніторинг з використанням технологій дистанційного зондування Землі дозволяє виявити осередки всихання лісів, оцінити ступінь їх ураження шкідниками або хворобами та визначити території, що потребують термінового втручання.

Для посилення адаптаційного потенціалу лісових екосистем в умовах кліматичних змін рекомендується впровадження практики адаптивного лісового господарства. Цей підхід передбачає гнучке реагування на зміни кліматичних умов шляхом коригування видового складу насаджень, застосування нових технологій лісовирощування та використання прогностичних моделей для планування лісогосподарських заходів.

Гнучкість у підходах до ведення лісового господарства сприяє пристосуванню до нових екологічних умов, забезпечуючи ефективне та довготривале відновлення деградованих лісових екосистем.

Важливо підкреслити, що відновлення лісів має здійснюватися з урахуванням прогнозованих змін клімату [9], оскільки насадження, створені сьогодні, повинні бути життєздатними та стійкими в умовах майбутнього клімату.

Головні висновки. Відновлення лісових екосистем після бойових дій є складним і довготривалим процесом, який потребує комплексного підходу. Зміни клімату лише посилюють виклики, тому ефективна стратегія має включати як природні, так і штучні методи відновлення. Особливо важливо

забезпечити екологічну рівновагу та збереження біорізноманіття для стійкості майбутніх лісових насаджень. Відновлення лісів є не лише технічним завданням, а комплексним викликом, що потребує міждисциплінарного підходу, інтеграції наукових знань та впровадження інноваційних рішень. Зростання антропогенного впливу та глобальні кліматичні зміни пришвидшують деградацію лісових екосистем, значно перевищуючи їх природні адаптаційні можливості. Важливо усвідомлювати, що відновлення лісів є не лише локальним екологічним

завданням, а й внеском у збереження біорізноманіття, пом'якшення наслідків кліматичних змін та виконання міжнародних екологічних зобов'язань.

Процес відновлення лісових екосистем є надзвичайно складним і багатовимірним. Його успішність залежить від поєднання наукового підходу, технологічних інновацій та широкої суспільної підтримки. Лише через комплексні, адаптивні стратегії можливо забезпечити екологічну стабільність, сприяти соціально-економічному розвитку та сформувати стійкі лісові ландшафти майбутнього.

Література

1. Пацев І.С., Барабаш О.В., Пацева І.Г. Вплив воєнних дій на лісові екосистеми житомирщини. *Екологічні науки*. 2023. № 5(50). С. 114-118.
2. Hailemariam Meaza, Tesfaalem Asfaha, Jan Nyssen, Zbelo Tesfamariam, Biadigligh Demissie, J. Poesen, Misgina Abrha, Teklehaymanot Weldemichel, Seppe Deckers, Desta Gidey, Matthias Vanmaercke. Managing the environmental impacts of war: What can be learned from conflict-vulnerable communities? *Science of The Total Environment*. 2024. 927. 171974. DOI:10.1016/j.scitotenv.2024.171974.
3. Dominik Thom, Werner Rammer, Rupert Seidl. Disturbances catalyze the adaptation of forest ecosystems to changing climate conditions. *Global Change Biology*. 2016. Volume23, Issue1. Pages 269-282. <https://doi.org/10.1111/gcb.13506>
4. Asma Fayaz, Palak Chaudhary, Siya Mankotia. Impacts of Climate Change on Forest Ecosystem Dynamics and Management Strategies. *International Journal of Environment and Climate Change*. 2025. 15(1). P.273-286. DOI: 10.9734/ijec/2025/v15i14691
5. Кузик А. Д., Товарянський В. І. Вплив воєнних дій на лісові екосистеми України та їх післявоєнне відновлення. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2023. № 27. С. 16-22.
6. Лозінська Т.П., Ситник О.С., Велика К.І. Огляд і аналіз основних аспектів протипожежного захисту лісових екосистем в умовах сьогодення. *Агробіологія*. 2024. № 2. С. 144-153.
7. Регіональні доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні. URL: <http://surl.li/hfgsf> (дата звернення: 28.03.2025).
8. Melnyk-Shamrai, V., Shamrai, V., Patseva, I., Patsev, I. The influence of the accident at Chernobyl nuclear power plant on the condition of pine plantations of Ukrainian forests. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2024. Vol. 1415. P. 012104. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1415/1/012104>
9. Пацева І.Г., Кагукіна А.М., Луньова О.В. Тенденції зміни клімату Житомирщини. *Екологічні науки*. 2023. Вип. 6(51). С. 156-159.