

Таврель М.І., старший викладач кафедри безпеки праці та охорони довкілля
(ТОВ «ТУ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», м. Запоріжжя, Україна)

БІОЛОГІЧНА ДЕГРАДАЦІЯ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ҐРУНТІВ ПІД ВПЛИВОМ ДЕТОНАЦІЇ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН

Сучасні воєнні дії створюють потужний багаторівневий антропогенний вплив на природні екосистеми, серед яких ґрунтовий покрив є одним із найбільш вразливих компонентів. Детонація вибухових речовин спричиняє не лише механічне руйнування поверхні, а й глибокі фізико-хімічні та біологічні порушення, що змінюють функціонування ґрунту як живої біоосної системи. У цьому контексті особливої актуальності набуває дослідження біологічних аспектів деградації ґрунтів та розроблення екологічно обґрунтованих методів їх відновлення.

Ґрунт є складною біогеоценотичною структурою, у якій мікроорганізми, безхребетні тварини, гриби, водорості та рослинні корені утворюють єдину функціональну систему. Саме біологічна складова забезпечує кругообіг поживних речовин, формування гумусу, підтримання структурності та родючості. У разі вибухового впливу відбувається різке порушення цієї рівноваги: високі температури, ударна хвиля та потрапляння токсичних сполук призводять до часткової або повної загибелі ґрунтової мікробіоти, руйнування органічної речовини та зміни окисно-відновних умов. У зоні вибуху спостерігається «вигорання» гумусового горизонту, зменшення чисельності сапротрофних бактерій та грибів, що безпосередньо впливає на інтенсивність мінералізації органічних решток і доступність елементів живлення для рослин.

Біологічна деградація ґрунтів проявляється через зниження рівня активної мікробної біомаси, зміну видового складу мікроорганізмів та зростання частки умовно-патогенних форм. Порушення мікробного балансу супроводжується зниженням ферментативної активності ґрунту, що відображається на процесах нітрифікації, амоніфікації та фосфатмобілізації. У таких умовах рослини втрачають здатність ефективно засвоювати поживні елементи, навіть за їх формальної наявності у ґрунті. Особливо небезпечним є підвищення генотоксичності ґрунтового середовища, що може проявлятися у пошкодженні ДНК клітин мікроорганізмів і рослин, пригніченні їх росту та зниженні репродуктивної здатності. Тривалий вплив токсичних залишків вибухових речовин та важких металів створює ризик накопичення мутаційних змін, що в перспективі може призвести до зменшення біорізноманіття та порушення стійкості екосистем.

Окрему проблему становить накопичення у ґрунтах важких металів та продуктів детонації, які включають нітросполуки та інші ксенобіотики. Ці речовини здатні зв'язуватися з органічною частиною ґрунту або переходити у рухомі форми, доступні для рослин. Включення токсичних елементів у трофічні ланцюги створює потенційну небезпеку для фауни та людини. Біологічні реакції на таке забруднення проявляються у пригніченні проростання насіння, зниженні біомаси рослин, деформаціях кореневої системи та зміні морфології надземних органів. Таким чином, деградація ґрунту після вибухів має комплексний характер і охоплює всі рівні організації живої матерії від клітинного до екосистемного.

Оцінка стану деградованих ґрунтів потребує використання біологічних індикаторів, які відображають інтегральну реакцію живих організмів на сукупність впливів.

Рослинність може виступати чутливим маркером змін кислотності, щільності та

токсичності субстрату. Зміни у видовому складі рослинних угруповань, поява стресостійких або рудеральних видів свідчать про порушення екологічної рівноваги. Не менш інформативними є мікробіологічні показники, зокрема співвідношення основних фізіологічних груп бактерій, рівень мікробної біомаси та інтенсивність дихання ґрунту. Використання біоіндикаторів дозволяє виявляти навіть початкові стадії деградації, коли фізичні зміни ще малопомітні.

Відновлення ґрунтів після детонації вибухових речовин має ґрунтуватися на принципах екологічної доцільності та біологічної реабілітації. Одним із перспективних напрямів є застосування фіторемедіації використання рослин для вилучення, стабілізації або трансформації токсичних речовин. Деякі види здатні акумулювати у своїх тканинах значні концентрації важких металів, що дозволяє поступово зменшувати рівень забруднення ґрунту. Важливо, що фіторемедіація не лише очищує субстрат, а й сприяє формуванню нової органічної маси, покращує структуру ґрунту та стимулює розвиток мікробіоти у ризосфері. Коренева система рослин виділяє органічні кислоти та інші сполуки, які активізують мікробні процеси та підвищують доступність поживних елементів.

Не менш важливою складовою біологічної рекультивації є відновлення мікробної активності шляхом внесення біопрепаратів і стимулювання природних мікробних процесів. Мікроорганізми здатні розкласти органічні токсиканти або переводити їх у менш доступні форми. Заселення деградованого ґрунту корисною мікрофлорою сприяє відновленню біохімічних циклів і формуванню стабільної ґрунтової екосистеми. Успішність таких заходів значною мірою залежить від підтримання оптимального рівня кислотності, вологості та аерації, що забезпечує сприятливі умови для розвитку мікробіоти.

Комплексний підхід до відновлення передбачає поєднання агрохімічних, біологічних і моніторингових методів. Агрохімічний аналіз дозволяє визначити дефіцит макро- і мікроелементів, оцінити рівень гумусу та окисно-відновний потенціал, тоді як біологічні дослідження відображають функціональний стан екосистеми. Застосування геоінформаційних технологій і дистанційного моніторингу дає змогу просторово оцінити масштаби деградації та прогнозувати динаміку відновлення рослинного покриву. Такий підхід дозволяє не лише локально реабілітувати окремі ділянки, а й планувати довгострокові стратегії екологічного відновлення територій.

Отже, деградація ґрунтів унаслідок детонації вибухових речовин є складним біоекологічним процесом, що охоплює фізичні, хімічні та біологічні зміни, однак саме біологічна складова визначає здатність екосистеми до самовідновлення. Втрата мікробної активності, порушення генетичної стабільності організмів та зниження біорізноманіття створюють довготривалі екологічні ризики. Тому відновлення родючості повинно базуватися на стимулюванні природних біологічних механізмів, підтриманні функціонування ґрунтової біоти та використанні екологічно безпечних технологій, що забезпечують поступове повернення деградованих земель до стану екологічної рівноваги.

Список використаних джерел:

1. Rusu, T., Bogdan, I. & Pop, A. (2021). Land degradation and recovery in war-affected areas. Sustainability. 13(3), Article 1019.
2. Баліцький, Ю.О. & Коваль, О.С. (2023). Відновлення ґрунтів після військових дій. Землеробство. 2, С. 45–51.
3. Гайдук, С.С. & Ільченко, А.А. (2022). Екологічна безпека в умовах бойових дій : монографія. Дніпро : НГУ. 164 с.