

## АЛГОРИТМ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ ЩОДО КОНТРЗАХОДІВ У РАЗІ ЗАБРУДНЕННЯ ЕКОТОКСИКАНТАМИ ДОВКІЛЛЯ

Войціцький В.М.<sup>1</sup>, Хижняк С.В.<sup>1</sup>, Мідик С.В.<sup>1</sup>,  
Лапоша О.А.<sup>1</sup>, Полтавченко Т.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний університет біоресурсів і природокористування України  
вул. Героїв Оборони, 15, 03041, м. Київ

<sup>2</sup>Національний університет водного господарства та природокористування  
вул. Соборна, 11, 33000, м. Рівне  
svit.mid@gmail.com, babjuk@i.ua

Під час аварійних ситуацій на екологічно небезпечних підприємствах можливі наднормативні викиди і скиди екоотоксикантів у довкілля, що, залежно від їх природи, біологічної дії, дози й часу впливу, створює загрозу як для біоти довкілля, так і для здоров'я людини. Це насамперед найрізноманітніші токсичні речовини хімічної, металургійної, електротехнічної, фармакологічної та інших промисловостей, підприємств ядерно-енергетичного комплексу, добування корисних копалин, отримання енергії у процесі спалювання органічного палива; запаси паливно-мастильних матеріалів; отрутохімікати й заскладовані добрива, стоки тваринницьких ферм і відгодівельних комплексів у сільському господарстві; порушення герметичності нафто- й газогонів; каналізаційні стоки міст, підприємств харчової промисловості, лікарень та ветеринарних об'єктів тощо; наслідки можливих забруднень довкілля під час транспортування екоотоксикантів, знищенні боєприпасів і вибухових речовин та ще багато іншого. Із метою мінімізації наслідків можливих аварійних ситуацій розробляються, плануються й реалізуються локальні чи загальні, ранні, проміжні та відновні етапи контрзаходів. Вони враховують специфіку застосування, яка зумовлена різними шляхами впливу екоотоксикантів на довкілля і здоров'я людини.

Критерієм оцінки ефективності контрзаходів є розрахунок співвідношення користь–школа. Оцінка користі контрзаходів ґрунтується на розрахунку вартості отримання очікуваного позитивного ефекту, а шкоди – суми вартості на певний контрзахід. На їх підставі визначають оперативні рівні контрзаходів на різних етапах аварії з урахуванням як наявних, так і можливих ситуацій розвитку подій, межі застосування. Основна увага під час розробки контрзаходів приділяється їх своєчасності, ефективності, соціальній необхідності та технічним можливостям реалізації.

На основі аналізу науково-обґрунтованих підходів проведено узагальнення наявних і перспективних методів добору стратегії контрзаходів під час екологічних аварій і катастроф. Подано роз'яснення критерію вибору контрзаходів «користь–школа» з наголосом на першочерговість соціального чинника. *Ключові слова:* екоотоксиканти, довкілля, здоров'я людини, викиди і скиди, контрзаходи, критерій «користь–школа».

### **Algorithm for decision-making regarding countermeasures in case of pollution by ecotoxicants of the environment. Voitsitskiy V., Khyzhnyak S., Midyk S., Laposha O., Poltavchenko T.**

In emergencies at environmentally hazardous enterprises it is possible excessive emissions and discharges of ecotoxicants into environment, which, depending on the nature of their biological action, dose, and time of influence, poses a threat to both the biota of environment and human health. In order to minimize the consequences of such situations, countermeasures are developed, planned and implemented. They take into account the specifics of their potential use, aimed at different ways of impact of specific ecotoxicants on environment and human health.

The criterion for evaluating the effectiveness of countermeasures is the calculation of the ratio of benefit-harm. Assessment of the benefit of countermeasures is based on the calculation of the costs of obtaining the expected positive effect, and the harm – the sum of the costs of their specific countermeasures. On their basis, the operational levels of counter measures are determined at the early, intermediate and recovery stages of the accident, taking into account both significant and possible situations and limits of use. A large number of countermeasures have been developed based on the specifics of their possible use, each of which is aimed at different ways of the impact of specific ecotoxicants on environment and human health.

Comparison of the cost of benefits and harms (that is, the cost of a countermeasure and its positive consequences) allows us to estimate the difference between them. If the value of the benefit exceeds the harm due to certain countermeasures, then it is advisable to carry them out. If this difference in value is small, or even negative (the value of the benefit is greater than the harm), then the use of such countermeasures in specific conditions is impractical, the exception can only be social benefit. The focus of the development of countermeasures is on their social need and technical feasibility.

On the basis of the analysis of scientifically grounded approaches, the generalization of existing and prospective methods for selecting a strategy of countermeasures in the case of ecological accident and catastrophes was summarized. The criterion for the choice of countermeasures benefit-harm with emphasis on the priority of social factor was provided. *Key words:* ecotoxicants, environment, human health, emissions and discharges, countermeasures, criterion benefit – harm.

**Постановка проблеми.** Імовірність природних катастроф (вивержень вулканів, землетрусів, повеней, селевих потоків тощо), а також аварій на різноманітних екологічно небезпечних підприємствах (хімічної, металургійної, електротехнічної, фармакологічної та інших галузей, добування корисних копалин тощо), різноманітних очисних спорудах забруднених стоків, складах отрутохімікатів

та добрив, гноєсховищах в агропромисловому комплексі, заскладованих запасах паливно-мастильних матеріалів, складах боєприпасів та вибухових речовин, під час транспортування екологічно небезпечних речовин тощо становить надзвичайно важливу проблему – розробка, планування й реалізація контрзаходів із метою захисту довкілля, зокрема здоров'я людини, від викинутих екотоксикантів. Для цього необхідна уніфікація цих заходів з огляду на специфіку їх застосування.

На основі аналізу науково обґрунтованих підходів проведено узагальнення наявних і перспективних методів добору стратегії контрзаходів у разі екологічних аварій і катастроф. Подано роз'яснення критерію вибору контрзаходів «користь–шкода» з наголосом на першочерговість соціального чинника.

**Актуальність дослідження.** За постійного зростання (інтенсифікації) виробництва на екологічно небезпечних підприємствах (хімічної, металургійної, електротехнічної, фармакологічної та інших галузей), а також в агропромислових комплексах, збільшення об'єму каналізаційних стоків тощо є можливість наднормативних викидів і скидів (особливо за аварій) у довкілля екотоксикантів. Потрапляння до екосистеми техногенних забруднювачів – екотоксикантів (поллютантів) здатне спричинювати загибель живих організмів, уповільнювати, пригнічувати або зовсім припиняти біотичний кругообіг речовин чи потік енергії в екосистемах, що призводить до їх деградації чи навіть зникнення [4; 8].

Екотоксиканти різняться за хімічною будовою та фізико-хімічними властивостями, які визначають їх поведінку в довкіллі, вплив на біоту, зокрема й на здоров'я людини [5].

**Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями.** У зв'язку з можливим викидом у довкілля екотоксикантів розроблені спеціальні контрзаходи, які повинні повністю переглядатись й оновлюватись на основі новітніх наукових досліджень. Контрзаходи (лат. *contra* – проти) – це заходи, які протидіють тому, що може спричинити негативний вплив. Стосовно екотоксикології – це, зокрема, вплив екотоксикантів на біоту і здоров'я людини [8].

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Актуальною проблемою екотоксикології є розробка стратегії контрзаходів щодо можливих аварійних викидів і скидів екотоксикантів (як в атмосферу, а потім надходження до ґрунту та водоймищ, так і з каскадів водойм-деактиваторів й очисних споруд), планування контрзаходів та її реалізація [2].

**Новизна.** На основі проведеного аналізу запропонувати уніфіковані стратегічні підходи щодо розробки, планування й реалізації контрзаходів у разі аварійних викидів і скидів екотоксикантів у довкілля.

### Методологічне або загальнонаукове значення.

Екотоксиканти поділяються на природні, котрі виникають без участі людини (результати виверження вулканів, селєвих потоків, повеней тощо) й антропогенні, які спричинені діяльністю людини.

Антропогенна діяльність досягла таких масштабів, що забруднення довкілля стало глобальною проблемою: воно впливає на атмосферу, літосферу й гідросферу. Людина, яка є головним винуватцем виниклої екологічної ситуації, стає, поряд з іншою біотою, й основною її жертвою.

**Виклад основного матеріалу.** Серед антропогенних екотоксикантів є такі, виробництво яких або утворення, як побічних продуктів, зберігання у великих кількостях становить загрозу (ймовірність) виникнення проектних і позапроектних аварій. Насамперед, це різноманітні хімічні сполуки, особливо так звана «брудна дюжина», – за рішенням Стокгольмської конвенції про стійкі органічні забрудники (СОЗ) від 22.05.2001 р., яка набула чинності в Україні 24.12.2007 р. (Стокгольмська конвенція, 2001): алдрін, гексахлорбензол (ГХБ), гептахлор, діелдрин, дихлордифенілтрихлоретан (ДДТ), ендрин, мірекс, поліхлоровані біфеніли (ПХБ), поліхлоровані-*n*-діоксини (ПХДД), поліхлоровані дибензофурані (ПХДФ), токсафен і хлордан. Загальна кількість СОЗ становить мінімум 36 сполук (8 пестицидів, 7 ізомерів (конгенерів) ПХДД, 10 ПХДФ і 11 ПХБ), які можуть бути доповнені іншими сполуками [1].

Серйозну загрозу довкіллю становлять важкі метали, викиди і скиди яких, зокрема аварійні, можуть відбуватись на підприємствах металургійної, електротехнічної та інших галузей промисловості, під час добування та збагачення руди тощо.

Одними з небезпечних для довкілля і здоров'я людини є радіоактивні матеріали, зокрема радіоактивні відходи (РАВ). Глобальною радіоекологічною катастрофою є аварія на Чорнобильській АЕС (ЧАЕС) 26.04.1986 р., за якої аварійний викид радіоізотопів становив за активністю близько 50 МКі (за деякими оцінками – до 90 МКі). Тільки загальна площа радіоактивного забруднення на території колишнього СРСР становила близько 100 тис км<sup>2</sup> із населенням майже 4,5 млн. осіб [3].

Агропромисловий комплекс у сучасних умовах продовжує бути одним з основних забрудників довкілля [6]. Сільськогосподарські забрудники – це, насамперед, різноманітні хімічні засоби захисту рослин (пестициди), які широко використовуються у процесі вирощування сільськогосподарської продукції [10], а також заскладовані, заборонені, але не утилізовані пестициди, чи зберігаються з порушенням правил, та склади добрив. Крім того, значної шкоди довкіллю завдають стоки із гнійосховищ і птишиного посліду, ветеринарних об'єктів, які містять стійкі антибіотики, що здатні спричинити набуття резистентності патогенними мікроорганізмами тощо. Джерелами екотоксикантів є теплоелектростан-

ції та мережі подачі теплоносіїв, нафто- і газогони, колектори каналізаційних мереж та станції очистки побутових і промислових відходів та ще багато інших.

Загрозу довкіллю і здоров'ю людини становлять також мікробіологічні забрудники, які пов'язані з масовим розмноженням мікроорганізмів на антропогенних субстратах або середовищах, що змінені у процесі господарської діяльності людини. Внесок у мікробіологічне забруднення довкілля надають підприємства промислового біосинтезу, у викидах і стоках яких присутні живі мікроорганізми [3]. Біотичні забруднення (не знезаражені продукти життєдіяльності живих організмів, зокрема, відходи ферм і птахофабрик, про що вже йшлося, харчові відходи, мертві організми тощо), котрі не встигли утилізуватись, можуть потрапляти, наприклад, із талими водами, у водосховища і спричинювати їх забруднення.

Кожне екологічнобезпечне підприємство повинне мати експертний висновок, який містить, зокрема:

1) оцінку реального, у процесі поточної експлуатації, можливого забруднення атмосфери, наземних та водних екосистем, а також агроекосистем регіону;

2) відомості про ймовірність проєктних і позапроєктних аварій, оцінку можливого рівня забруднення довкілля (атмосфери, наземних і водних екосистем, а також агроекосистем регіону) як за сприятливих, так й особливо несприятливих погодних умов.

Безумовним контрзаходом щодо потрапляння антропогенних екотоксикантів у довкілля є беззаперечна заборона їх викидів і скидів, що неможливо, особливо на цю мить, яка характеризується інтенсифікацією виробничої та сільськогосподарської діяльності, застосуванням різноманітних побутових засобів, котрі містять екотоксиканти [11; 12].

Тому в реальних умовах необхідно розробляти й використовувати спеціальні, залежно від масштабу та об'єктів забруднення, а також природи, дози й терміну перебування в довкіллі екотоксикантів, контрзаходи для захисту населення й довкілля. Вони можуть бути локальні (в місці забруднення) й загальні (на всій забрудненій і прилеглої території).

Розроблено багато контрзаходів, з огляду на специфіку їх можливого застосування, кожний із яких спрямований на різні шляхи впливу конкретних екотоксикантів на довкілля і здоров'я людини. У разі важких аварій на екологічно небезпечних підприємствах унаслідок розвитку небезпечного сценарію можлива навіть евакуація населення із забруднених територій та переселення людей, подібно до того, що було під час аварії на ЧАЕС. Але це повинно бути за можливості серйозного впливу екотоксикантів на населення, а не так, як сталося у період аварії на ЧАЕС, коли населення м. Прип'ять було евакуйовано вже після перших найінтенсивніших викидів радіоактивних матеріалів в атмосферу та їх осадження. Несвоечасність евакуації призвела до перепромінення людей, які потім усе ж таки були евакуйовані та переселені.

У разі подібних аварій необхідно проводити безпосередньо захист населення – здійснювати санітарну обробку людей, контролювати продукти харчування й питну воду, за потреби надати необхідну медичну допомогу тощо.

Наступний етап контрзаходів – дезактивація забруднених територій, а для невідселеного населення, якщо в цьому не було потреби, – також реальний контроль здоров'я людей і продуктів харчування та питної води тощо.

Застосування таких дезактиваційних заходів, як, наприклад, глибока оранка забруднених ґрунтів, їх меліорація і зв'язування екотоксикантів сорбентами, знижує індивідуальне навантаження в момент їх застосування, але з часом (може й через десятки років) та ж сама кількість стійких екотоксикантів може потрапити в харчовий раціон, а менш стійкі – розпадуться (причому можливо навіть на більш токсичні речовини).

Є багато методів дезактивації ґрунту, очищення води й повітря. Серед них широко використовується метод біодеградації – технологія, яка базується на застосуванні живих організмів (найчастіше мікроорганізмів, рідше рослин) для очищення об'єктів довкілля від токсикантів [6].

Завжди під час розроблення, планування й реалізації контрзаходів оцінюють їх ефективність, критерієм чого є розрахунок співвідношення користь–школа. Оцінка користі контрзаходу ґрунтується на розрахунку вартості отримання очікуваного позитивного ефекту. Школа складається з оцінок суми витрат на певний контрзахід (наприклад, вапнування ґрунту наземних агроекосистем для зменшення потрапляння до сільськогосподарських рослин радіоізотопу  $^{90}\text{Sr}$ , який був викинутий в атмосферу за радіаційної аварії на реакторі АЕС; контроль продуктів харчування й питної води тощо).

Порівняння вартості користі та шкоди (тобто вартості контрзаходу та його позитивних наслідків) дає змогу оцінити різницю між ними. Якщо вартість користі перевищує вартість шкоди внаслідок певних контрзаходів, то їх доцільно проводити. У разі, коли це розходження вартості невелике, чи навіть негативне (вартість користі більша, ніж шкоди), то використання таких контрзаходів у конкретних умовах недоцільно, виключення може становити тільки соціальна вигода.

Застосований термін «вартість» складається як з економічних оцінок, так й із соціальних. Соціальні також можна оцінити в економічних одиницях, але переважаюче значення має здоров'я людини, яке з погляду моралі неможливо оцінити грошима. Усе це, безумовно, не тільки береться до уваги, а й покладено в основу визначення доцільності проведення контрзаходів. Крім того, в порівняльній оцінці ефективності й оптимізації вибору контрзаходів потрібно враховувати їх вплив на параметри екосистем, основними серед яких є різноманітність, сума біомаси й чисельність видів.

Таким чином, необхідність застосування того чи іншого контрзаходу залежить від співвідношення користь–школа як для довкілля, так і для людини. Принциповим є те, що соціальний збиток і ризик, які пов'язані із заходами захисту населення, мають бути менші, ніж ризик від відверненої завдяки цього контрзаходу шкоди. На підставі розрахунків визначають оперативні рівні втручання (застосування контрзаходів) залежно від можливих навантажень екотоксикантами екосистем. Установлюють можливий верхній рівень забруднень екосистеми, вище за яким застосування певного контрзаходу вважається обов'язковим. Нижній рівень відповідає тому, коли встановлений збиток буде трохи нижчий (або відповідатиме з урахуванням соціальної компоненти) позитивному ефекту від застосування контрзаходу. Верхній і нижній рівні, за якими визначається необхідність певних контрзаходів, встановлюється національними нормативами. Якщо забруднення певними екотоксикантами перебуває в межах цих рівнів, доцільність вибору контрзаходу ґрунтується на конкретних розрахунках, соціальній необхідності, а також на економічних і технічних можливостях країни, де відбулась екотоксикологічна аварія (катастрофа).

Для прийняття рішень щодо вибору й реалізації контрзаходів в умовах аварійного забруднення довкілля екотоксикантами перебіг аварії поділяють, як правило, на три етапи: ранній, проміжний і відновний [7]. Ранній етап – це період від установаження загрози аварії, значного викиду чи скиду екотоксикантів у довкілля (початок аварії) та перші години (іноді

кілька діб) самої аварії. Найвні плани і сценарії можливої аварії передбачають проведення необхідних заходів, але основна складність цього етапу – неможливість реального передбачення розвитку подій.

Проміжний етап – це період від кількох годин (деколи кількох діб) від початку аварії до закінчення викиду чи скиду екотоксикантів у довкілля. Іноді в цей період можливе продовження неконтрольованих викидів чи скидів. Саме тоді уточнюється необхідність конкретних контрзаходів для довкілля й людини.

Відновний етап – це період прийняття рішень і вжиття необхідних заходів щодо повернення до нормального стану. Усі рішення щодо виконання контрзаходів та їх характеру приймають з урахуванням соціальних, економічних і технічних чинників.

Необхідно врахувати те, що деякі контрзаходи є доцільними тільки на окремих етапах аварії, коли вони ефективні та їх реалізація приносить користь.

**Головні висновки.** У разі наднормативних (аварійних) викидів і скидів екотоксикантів у довкілля для мінімізації їх впливу на біоту і здоров'я людини розробляються, плануються й реалізуються контрзаходи. У їхній основі лежить критерій розрахунку «користь–школа», визначення межі рівнів застосування з урахуванням масштабів аварії, природи, дози й часу можливої дії екотоксикантів.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Застосування конкретних контрзаходів ґрунтується також на соціальній необхідності й технічних можливостях їх реалізації.

### Література

1. Безвознюк И.И., Петрук Р.В., Мельник Т.В. Анализ свойств некоторых стойких органических загрязнителей. *Наукові праці ВНТУ*, 2014. №3. С.1–5.
2. Біологія: підручник для студентів вищих навчальних закладів / З.М. Шелест та ін. Київ : Кондор, 2007. 760 с.
3. Бобровський А.Л. Питання оцінки впливу на навколишнє середовище: монографія. Рівне : Принт Хауз, 2014. 543 с.
4. Гайченко В.А., Чайка В.М. Екологія. Короткий тлумачний словник. Київ : Компринт, 2017. 238 с.
5. Екологічна біохімія: навчальний посібник / В.М. Ісаєнко та ін. Київ : Книжкове видавництво НАУ, 2005. 440 с.
6. Жирнов В.В., Савченко Д.А. Біоконверсія відходів. Частина I. Київ : ДДП Експо-Друк, 2017. 302 с.
7. Кутлахмедов Ю. О., Войціцький В. М., Хижняк С. В. Радіобіологія : підручник. Київ : ВПЦ Київський університет, 2011. 543 с.
8. Мусієнко М.М., Серебряков В.В., Брайон О.В. Екологія. Охорона природи : словник-довідник. Київ : Знання, 2002. 550 с.
9. Стокгольмська конвенція про стійкі органічні забруднювачі від 22.05.2001 р. *Електронний ресурс*. URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995\\_a07](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_a07).
10. Хижняк С.В., Баранов Ю.С., Демченко В.Ф., Войціцький В.М. Пестициди та їх еколого-токсикологічна оцінка : монографія. Київ : ЦК «Компринт», 2019. 220 с.
11. Хижняк С.В., Войціцький В.М., Данчук В.В., Мідик С.В., Лапоша О.А., Ушкалов В.О. Шляхи міграції стійких пестицидів трофічними ланцюгами наземних і водних екосистем. *Біоресурси і природокористування*. 2018. Т. 10, № 1–2. С. 36–43. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/bio2018.01.005>.
12. Voitsitskiy V.M., Danchuk V.V., Ushkalov V.O., Midyk S.V., Kepple O.Yu., Danchuk O.V., Shevchenko L.V. Migration of antibiotics residual quantities in aquatic ecosystems. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2019. Vol. 9(3), 280–286. DOI: 10.15421/2019\_742.