


ЕКОЛОГІЯ

УДК 502.1:504.064

Характеристика екологічних ризиків в екосистемах та оцінювання можливості їх проявуХижняк С.В. , Коверсун І.В. , Довбиш О.Б. , Войціцький В.М. 

Національний університет біоресурсів і природокористування України

 E-mail: khs2014@ukr.net

Хижняк С.В., Коверсун І.В., Довбиш О.Б., Войціцький В.М. Характеристика екологічних ризиків в екосистемах та оцінювання можливості їх прояву. «Агробіологія», 2023. № 1. С. 61–69.

Khyzhnyak S., Koversun I., Dovbysh O., Voytsitskiy V. Characteristics of ecological risks in ecosystems and assessment of the possibility of their manifestation. «Agrobiologia», 2023. no. 1, pp. 61–69.

Рукопис отримано: 02.03.2023 р.

Прийнято: 17.03.2023 р.

Затверджено до друку: 25.05.2023 р.

doi: 10.33245/2310-9270-2023-179-1-61-69

Забруднення довкілля екоотоксикантами природного та антропогенного походження створює ризики негативного впливу на стан довкілля, біоту екосистем, зокрема і людину. Наведено основні джерела екоотоксичних забрудників та проведено аналіз ризиків, що можуть виникнути. З огляду на неоднозначність визначення поняття ризик, обговорюється тлумачення цього терміна. Виділено підхід щодо визначення ризику як вірогідності певних несприятливих подій чи процесів з урахуванням можливих наслідків. Вказано на взаємозв'язок екологічних ризиків з надійністю екосистем. Оцінка екологічного ризику є складним процесом, який стосується виявлення ймовірності виникнення оборотних або незворотних змін у структурі та функціях екосистем у відповідь на антропогенний або природний вплив. Кількісною мірою ризику як загрози небезпеки є добуток вірогідності несприятливого наслідку події і очікуваного збитку внаслідок події. Значна увага приділена оцінюванню можливих екологічних ризиків для агроекосистем, що пов'язані з порушенням стану довкілля, впливом на здоров'я людей, імовірним потраплянням токсичних речовин у харчові продукти та корми для свійських тварин. Екологічні ризики в агроекосистемах виникають, зокрема, внаслідок застосування засобів захисту рослин (пестицидів) та надмірного використання агрохімікатів. Водночас процес управління ризиками в агроекосистемах передбачає вибір і використання методів для зменшення ризику, зокрема, застосування заходів регулювання впливу екоотоксикантів через обмеження використання та заборони найбільш токсичних. Вивчення екологічного ризику є необхідним для розуміння впливу шкідливих чинників на компоненти навколишнього природного середовища. Акцентується увага, що керування ризиками в сільському господарстві мають бути спрямовані на збереження оптимального стану агроекосистеми та захист здоров'я людини.

Ключові слова: екологічні ризики, навколишнє природне середовище, екоотоксиканти, оцінка, небезпека, агроекосистема, пестициди.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. На сучасному етапі найбільш нагальними є проблеми забруднення навколишнього природного середовища та природних ресурсів. Все більше уваги приділяють вирішенню екологічних проблем, які спричинені як природними явищами, так і діяльністю людини, що пов'язано з можливістю виникнення екологічного ризику.

Стосовно терміна ризику (походить від грецького слова *ridsikon* – стрімчак, стрімка скеля), наявні численні його визначення. Одне із тлумачень терміна ризик – «можливість або вірогідність факту чи події, що може трапитися як щось небажане» [1]. Цей термін нерідко визначають як такий, що ототожнює термін небезпека, а саме «ризик – небезпека виникнення несприятливих наслідків події, які розглядають-

ся». Визначення терміна ризик з погляду негативних наслідків у сучасній науковій літературі розглядають як: «ризик – це невизначена подія або умова, яка в разі виникнення має негативний вплив на об'єкт підвищеної небезпеки»; «ризик – це ступінь імовірності певної негативної події, яка може відбутися у деякий час за деяких обставин на території об'єкта підвищеної небезпеки та/або за його межами»; «ризик – це можливість небажаної втрати чого-небудь при негативному збігу обставин»; «ризик – це характеристика ситуацій, що має невизначеність результату за наявності несприятливих наслідків»; «ризик – це можливість виникнення негативного впливу на організми, зокрема здоров'я людини, та ступінь цього впливу, що ініціюється небезпечними чинниками»; «ризик – це можливість виникнення негативних подій, а також вірогідні масштаби їх наслідків протягом певного періоду часу»; «ризик – це визначення вірогідності негативної події» та багато інших визначень [2–6].

Останнім часом серед численних визначень поняття ризик все більшого поширення набуває підхід до визначення ризику як вірогідність певних несприятливих подій чи процесів з врахуванням можливих наслідків. Вірогідність події чи процесу у цьому випадку слугує однією із компонент ризику, а міра наслідків – іншою, що можна використовувати для кількісної його оцінки [1]. Водночас наявний багатомірний підхід до визначення ризику, який заснований на численних фактах, що відповідають за сприйняття ризику та впливають на прийняття пов'язаних з ним рішень. Цей підхід має якісний прояв, він корисний для оцінювання сукупності небезпечних подій або процесів [7].

Ризик може проявлятися у різних сферах – юридичній, політичній, соціологічній, психологічній, спортивній, економічній, виробничій, техніко-експлуатаційній, екологічній. Екологічний ризик, який пов'язаний із забрудненням довкілля, – це ймовірність виникнення негативних змін у навколишньому природному середовищі або віддалені несприятливі наслідки змін, які виникають в результаті негативного впливу на довкілля надзвичайних ситуацій природного чи антропогенного походження [4, 8].

Наявні різні класифікації екологічних ризиків. Це, зокрема, ризики за величиною свого прояву: низький, середній, високий, дуже високий; за ступенем поширення: глобальні, локальні; за впливом на довкілля і здоров'я людини: індивідуальні, колективні, популяційні, екологічні, професійні тощо.

Окремо необхідно виділити можливість екологічних ризиків для агроєкосистеми, що особливо важливо за оцінювання та прогнозу еко-

логічної безпеки з метою отримання безпечних продуктів харчування для людей і кормів для свійських тварин. Цій проблемі приділено значну увагу в сучасних наукових дослідженнях, а саме: оцінювання екологічних ризиків з погляду екологічної безпеки агроєкосистем [9, 10], екологічні та економічні аспекти оцінювання екологічних ризиків різних видів діяльності [7], оцінювання екологічного стану техногенно забруднених агроєкосистем [8, 11].

Водночас, методологія аналізу та оцінювання екологічних ризиків чи механізм управління ними в агроєкосистемах за вирощування сільськогосподарських культур вивчено недостатньо.

Мета дослідження. Узагальнення результатів щодо сутності екологічного ризику, а також аналіз підходів з оцінювання можливих проявів екологічного ризику для агроєкосистем в умовах забруднення екоотоксикантами.

Матеріал і методи дослідження. Дослідження проводилися впродовж 2019–2022 рр. Концепція прийнятного (допустимого) ризику ALARA. На сьогодні у більшості країн світу ухвалена концепція прийнятного ризику ALARA (англ. *As Low As Risk Acceptable*), основна вимога якої – це запровадження безпеки людини через реалізацію таких рішень, які не наражають ризику здоров'я людей та їх нащадків. Принципи концепції полягають в наступних твердженнях [1]:

- ризик – це прийнята міра небезпеки;
- будь-якому рівню впливу небезпечних речовин чи процесів відповідає певний рівень ризику;
- передбачається наявність деякого прийнятного ризику;
- постулюється, що прийнятним ризиком можна керувати впливом на умови його формування;
- практична діяльність, яка супроводжується ризиком, не може виправдовувати користь, яку отримують від неї;
- ризик вважається прийнятним, якщо затрати на зменшення наслідків ризику оптимізовані та збалансовані з користю від господарської діяльності, яка спричинює цей ризик;
- необхідно враховувати весь спектр наявних небезпек;
- недопущено перевищення гранично допустимих екологічних навантажень на екосистеми.

Використання концепції ALARA передбачає застосування принципу «передбачати і попередити».

Оцінка прийнятного (допустимого) ризику. З позиції управління станом безпеки ризику поділяють на: індивідуальний ризик, якому підда-

ються індивідууми в результаті впливу загрозливих чинників; колективні ризики – очікувана кількість як травмованих, так і загиблих індивідуумів за певний період внаслідок, наприклад, можливої аварії на промисловому підприємстві; соціальний ризик – це залежність частоти подій, у яких постраждала кількість людей більша передбаченого раніше рівня.

Для оцінки прийнятності ризику, який пов'язаний із загрозливими видами діяльності людини, використовують, зазвичай, підхід Ешбі – вірогідність одного фатального випадку (однієї смерті) у рік. Зокрема застосовують наступні критерії допустимості ризику (табл. 1).

Таблиця 1 – Категорії ступеня допустимості ризику (за Ешбі згідно з [1])

Ранг ризику	Вірогідність смерті людини протягом року	Ступінь допустимості
1	не менше 10^{-3}	Ризик неприйнятний
2	10^{-4}	Ризик допустимий в особистих обставинах
3	10^{-5}	Потребує допустимість детального обґрунтування
4	10^{-6}	Ризик прийнятний (допустимий) без обмежень

В Україні для об'єктів підвищеної небезпеки застосовують наступні критерії неприпустимості ризиків (за Ешбі [1]):

1) для індивідуального ризику (R_i) стосовно людей, які знаходяться в конкретному регіоні за межами санітарно-захисної зони підприємства (село, селище, місто тощо) – $R_i > 10^{-6}$;

2) для територіального ризику (R_T) стосовно людей, які знаходяться за межами санітарно-захисної зони підприємства, яке має у своєму складі хоча б один об'єкт підвищеної небезпеки – $R_T > 10^{-5}$;

3) для соціального ризику (R_c) у випадку загибелі більше 10 людей протягом одного року у конкретному регіоні за межами санітарно-захисної зони підприємства, яке має у складі хоча б один об'єкт підвищеної небезпеки – $R_c > 10^{-5}$.

Визначення індивідуального та колективного ризику. Для визначення індивідуального RI та колективного ризику RN використовують наступні формули [1]:

$$RI = n / N,$$

де n – число постраждалих внаслідок прояву ризику із загального числа N людей, які підпадали потенційному негативному впливу.

$$RN = RI \cdot N,$$

де N – загальне число людей, які підлягають потенційному негативному впливу.

Критерії RI та RN можна використовувати для оцінки ризику будь-яких організмів.

Результати дослідження та обговорення.

Екологічні ризики впливу на довкілля можуть бути зумовлені різними чинниками природного та антропогенного походження [2–4]. Основні природні чинники – вулканічні викиди; тектонічні рухи земної кори, які спричинюють деформації або розриви її шарів; дегазація земної кори; вивітрювання і вимивання гірських порід; природні пожежі; лавини; зсуви; селеві потоки; повені; урагани; глобальні зміни клімату тощо.

Антропогенні чинники є промислово-технологічного походження (підприємства технічної, хімічної та інших галузей, видобування корисних копалин, спалювання палива та отримання енергії; промислові та побутові відходи; викиди транспортного комплексу тощо), військового походження (випробування та знищення військової зброї), сільськогосподарського походження (використання засобів захисту рослин (пестицидів), внесення добрив, скиди відходів тваринницьких ферм тощо), наслідком використання радіоактивних речовин (видобуток і переробка руди, функціонування ядерних реакторів, використання радіоактивних речовин в промисловості, медицині та наукових дослідженнях, наслідки радіаційних аварій тощо) та інші.

Екологічний ризик, зумовлений забрудненням довкілля, може бути пов'язаний із надходженням екотоксикантів, які виводять екосистеми зі стану рівноваги [12]. Екотоксиканти – речовини переважно антропогенного походження, які зумовлюють значні порушення у структурах екосистем та живих організмах. Джерелами їх надходження у довкілля є промислові виробництва, полігони захоронення небезпечних відходів, сільськогосподарське виробництво, різноманітні енергетичні установки тощо. Перенесення і розсіювання екотоксикантів у біосфері відбувається не лише внаслідок циркуляції атмосфери чи потрапляння до ґрунтів та водних джерел. Вони також можуть поглинатися живими організмами і переміщуватися по трофічних ланцюгах. Міграція екотоксикантів призводить до поширення шкідливого впливу на природні системи, живі організми, людину.

Згідно з даними Товариства екологічної токсикології і хімії довкілля (*Society of Environment Toxicology and Chemistry, SETAC*) останнім часом основну загрозу довкіллю серед екотоксикантів становлять важкі метали, поліхлоровані та поліциклічні вуглеводні, неорганічні та органічні відходи, а також пестициди (табл. 2).

Таблиця 2 – Відносна частка небезпечних еко-токсикантів у створенні екологічних ризиків (за даними SETAC згідно з [1, 3])

№ з/п	Токсиканти	Відносна частка, %
1	Важкі метали (Hg, Pb, Cd, As та ін.)	28
2	Органічні стійкі токсиканти (поліхлоровані і поліциклічні вуглеводні та ін.)	27
3	Змішані неорганічні та органічні відходи	20
4	Пестициди	15
5	Радіоізотопи (^{90}Sr , ^{137}Cs та ін.)	6
6	Гази (CO , SO_2 , NO та ін.)	3

Безумовно, регламентація еко-токсикантів як за відносною здатністю до створення екологічної загрози і відповідних ризиків, так і розподіленням по об'єктах довкілля є умовною, оскільки це залежить від конкретних умов розповсюдження у довкіллі токсичних речовин та прояву небезпеки. Стокгольмська конвенція щодо стійких органічних забруднювачів [13], до якої Україна приєдналася в 2007 р., рекомендує суттєво зменшити виробництво, за якого утворюються або використовуються небезпечні високотоксичні хімічні речовини, зокрема ті, що входять у так звану «брудну дюжину»: поліхлоровані біфеніли, дибензо-*n*-діоксини і дибензофурані, альдрин, дильдрин, дихлор-дифеніл-трихлоретан, ендрин, хлордан, гексахлорбензол, мірекс, токсафен, гептахлор. У більшості країн світу нині обмежено використання хлороорганічних пестицидів, а найбільш токсичних – заборонено [12].

Необхідно зазначити, що територія України не належить до небезпечних з високою імовірністю реалізації природних катаклізмів (землетруси, виверження вулканів та ін.). Водночас в Україні є значний промисловий потенціал, ТЕС, АЕС, які є джерелами екологічних ризиків (зокрема на Чорнобильській АЕС 26.04.1986 р. відбулася аварія, яка класифікується як глобальна екологічна катастрофа). Для України, наразі, характерним є нераціональне природокористування [14]. Крім того, на сьогодні основним чинником є забруднення довкілля внаслідок військових дій, зокрема,

повномасштабна війна, яку розв'язала Російська Федерація проти України спричинила екоцид – знищення рослинного та тваринного світу, отруєння атмосфери та водних ресурсів, а також інші дії, які можуть призвести до екологічної катастрофи.

Екологічні ризики для довкілля внаслідок його забруднення виявляються у загрозі здоров'ю людини та життєздатності біоти; скороченні чисельності і видової різноманітності біоти (прокаріотів, грибів, рослин і тварин); зниженні продуктивності сільськогосподарських угідь, лісів, луків тощо; руйнуванні трофічних ланцюгів; неконтрольованому розмноженні організмів, що адаптувалися і утворили стійкі форми (деякі комахи, мікроорганізми та ін.); у включенні в біохімічні цикли токсичних речовин, що надзвичайно негативно впливає на життєздатність біоти та здоров'я людини.

У випадках, коли екологічні ризики пов'язані із загрозою здоров'ю та життю людей, пропонують їх розглядати окремо від ризиків, зумовлених загрозою стану довкілля [9, 15]. Однак, розділення ризиків на екологічні та ризики загрози здоров'ю є умовним і неоднозначним. Зокрема, наприклад, забруднення об'єктів довкілля призводить до потрапляння токсичних речовин у продукти харчування і питну воду, що зумовлює загрозу здоров'ю людей [16].

Прийнятний (допустимий) ризик – це компроміс між рівнем безпеки та можливостями для її досягнення. Він дозволяє розподілити витрати на досягнення заданого рівня безпеки між природною, техногенною та соціальною сферами, оскільки порушення балансу на користь однієї з них може спричинити різке збільшення ризику і його рівень вийде за межі прийнятних значень. Зокрема, зменшення витрат на охорону навколишнього природного середовища призведе до забруднення атмосфери, води, ґрунтів, що неминуче вплине на ріст захворювань, погіршення умов проживання та якості харчів.

На сьогодні прийнятним ризиком вважають рівень індивідуального ризику смерті (ймовірність смерті людини), див. матеріали та методи, який можна вважати допустимим з економічної, соціальної та екологічної позиції [17].

Деякі з ризиків можна передбачити і врахувати за планування виробництва (наприклад, погодні умови, застосування техніки і обладнання тощо), а інші навіть контролювати (зокрема, складові технологій). Коли ризик можна завчасно передбачити, він підлягає

контролю і управління, тобто йдеться про засоби прогнозування ризиків та їх регулювання. У випадку природних та техногенних катастроф необхідно забезпечити негайну реакцію на загрозу, завчасно відпрацювавши відповідні підходи, які спрямовані на зменшення можливих втрат [7].

Ризик R як кількісна міра можливої небезпеки пов'язаної зі збитком (шкодою) визначають як добуток вірогідності несприятливого наслідку події (процесу) P і очікуваного збитку (шкоди) Z внаслідок події (процесу) [3]:

$$R = P \cdot Z.$$

Вірогідність прояву ризику реалізується за певних обставин під час здійснення сукупності деяких подій S_1, S_2, \dots, S_n . У цьому випадку така вірогідність може бути виражена за допомогою формули повної вірогідності:

$$P = \sum_{i=1}^n P(Z/S_i)P(S_i),$$

де $P(Z/S_i)$ – вірогідність загрози збитку (шкоди) Z , яка проявляється за умов здійснення події S_i ;
 $P(S_i)$ – вірогідність здійснення події S_i ;
 i – номер конкретної події S_i , $i = 1, 2, 3, \dots, n$.

Для запобігання можливим екологічним ризикам, керування ризиками та зниження ризиків від застосування токсичних речовин Міжнародні організації, а саме: Програма ООН з навколишнього природного середовища (ЮНЕП),

Організація з економічної співпраці і розвитку (ОЕСР) і Європейський Союз (ЄС) здійснюють програми для раціонального використання токсичних речовин, зокрема пестицидів. Питання екологічних ризиків розглядають у Директивах Комісії ЄС та технічних регламентах, а керуванню ризиками присвячено низку міжнародних стандартів ISO [18]. Основні ознаки екологічних ризиків наведено в таблиці 3.

Оцінка екологічного ризику – це складний процес, що стосується виявлення ймовірності виникнення оборотних або необоротних змін в структурі та функціях екосистем у відповідь на антропогенний або природний вплив.

Зокрема, для з'ясування ступеня забруднення екосистем проводять екологічний моніторинг – спостереження та контроль стану довкілля, визначення складу та кількісного вмісту забрудників довкілля (повітря, ґрунту, води, біоти, харчових продуктів), шляхів їхньої міграції [19]. Отримані дані дозволяють оцінити вплив екотоксикантів на біоту, зокрема здоров'я людини, та природу загалом, а також бути основою за розробки заходів попередження або мінімізації потрапляння екотоксикантів у довкілля.

Розглянемо оцінку можливих екологічних ризиків для агроекосистеми. Це штучно створена просторово обмежена екосистема з метою отримання рослинної продукції харчування людей і кормів для сільськогосподарських тварин, що постійно підтримується людиною (поле, пасовище, город, сад тощо) [2].

Таблиця 3 – Основні ознаки екологічних ризиків, що пов'язані із загрозою здоров'ю людей та навколишньому природному середовищу (згідно з [1, 3])

Категорія	Для людей	Для навколишнього природного середовища
Характеристика впливу чинника ризику	Неперервний Разовий (за аварії)	Неперервний Разовий (за аварії)
Групи ризику (контингент)	Населення певної місцевості Персонал підприємства	Біота
Тривалість дії	Короткочасна Середньої дії Тривала	Короткочасна Середньої дії Тривала
Наслідки	За ступенем важкості: – фатальні (ризик смерті); – не фатальні (ризик травм, хвороб та ін.); За тривалістю дії: – негайні; – віддалені.	За розподіленням: – локальні; – регіональні; – глобальні. За тривалістю дії: – короткочасні; – середньої тривалості; – тривалі.

Прояви екологічних ризиків у довкіллі (екосистемах) безпосередньо пов'язані з екологічною надійністю (англ. *ecological reliability*) систем, а саме: здатністю безвідмовно виконувати свої функції, самовідновлюватися і саморегулюватися (у межах неминучих природних флуктуацій) в певних для системи добових, сезонних, річних та вікових коливаннях протягом її існування чи потенційної можливості існування за природних та антропогенних впливів. Зокрема надійність екосистем визначається їх ємністю (англ. *capacity*) – здатністю сприймати різні природні та антропогенні впливи (зокрема екотоксикантів) у певній кількості без зміни своїх основних властивостей за невизначено тривалий час; показник максимальної динамічної кількості екотоксикантів, яка може бути накопичена за одиницю часу, трансформована, знищена і виведена за межі небезпечного об'єму екосистеми [3, 6]. Для агроєкосистеми, яка має високу врожайність одного (декількох) видів або сортів культурних рослин, характерна низька надійність і нездатність до тривалого існування без підтримки людиною [19].

Екологічні ризики в агроєкосистемі виникають внаслідок застосування пестицидів для захисту сільськогосподарських культур від бур'янів, шкідників і хвороб, надмірного використання агрохімікатів, що містять у своєму складі токсичні речовини, а також пов'язані із системою обробітку ґрунту [20].

Негативний вплив пестициди справляють, насамперед, на агробіоценози та їх основні компоненти: ґрунти сільськогосподарських угідь, рослини, наземну та ґрунтову біоту. На інтенсивність шкідливого впливу пестицидів впливають фізико-хімічна форма токсикантів (наприклад, аерозолі чи пара), їх стійкість у довкіллі, погодно-кліматичні умови (вітер, температура, атмосферні опади) тощо. Основна небезпека пестицидів, значна кількість яких є стійкими і лабільними, обумовлена їх потраплянням у біологічний колообіг, у процесі чого вони надходять до організму тварин і людини. Станом на 2021–2022 рр. у Державному реєстрі пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні є понад 1200 найменувань препаратів, що дозволені для вирощування сільськогосподарських культур, і які можуть спричиняти екологічний ризик [21].

Пестициди впливають не лише на агроєкосистему. Крім цільового призначення, вони чинять негативний вплив на довкілля та більш глобально на біосферу, призводячи до скорочення біорізноманіття. Крім того, пестициди негативно впливають на здоров'я людини, як у результаті прямої дії, так і опосередковано

внаслідок накопичення залишкових кількостей у сільськогосподарських культурах (з подальшим потраплянням до продуктів харчування і кормів) і питній воді. Тому проблема поширення пестицидів чи інших екотоксикантів на значних територіях спричинює різні види ризиків.

За розгляду процесів в екосистемах, зокрема агроєкосистемах, які забруднені екотоксикантами, для оцінки потенційного ризику екосистеми *RI* можна застосувати формулу згідно з [1]:

$$RI = \sum_{ij} P(A) \cdot P_{ij} \cdot P(L)_j,$$

де $P(A)$ – вірогідність територіального забруднення за проявом забруднення i ;

P_{ij} – вірогідність реалізації механізму впливу за проявом забруднення i ;

$P(L)_j$ – вірогідність негативного наслідку за реалізації механізму впливу i .

Оскільки агроєкосистеми є джерелом харчової продукції, у разі їх забруднення токсичними речовинами забруднюється і ця продукція. В кінцевому результаті трофічними ланцюгами речовини потрапляють до організму людини. У разі споживання такої забрудненої харчової продукції в організмі людини накопичується токсикант, кількість якого (Π , мг/кг·термін потрапляння) можна розрахувати у наступний спосіб:

$$\Pi = (c \cdot m) / M \cdot T,$$

де c – маса токсичної речовини в продукті харчування, який аналізується (мг);

m – маса харчового продукту, який споживається за час потрапляння цього продукту до організму (кг);

M – маса тіла людини (для дорослої людини приймається 70 кг);

T – термін потрапляння токсичної речовини до організму (наприклад, доба).

Оцінка екологічних ризиків для агроєкосистеми дає можливість за надходження екотоксиканта визначити вірогідність появи наслідків для екосистеми, що необхідно для прийняття завчасних заходів щодо запобігання їх шкідливої дії. Водночас процес управління ризиками передбачає вибір і використання методів для зменшення ризику, зокрема, застосування заходів регулювання впливу екотоксикантів через обмеження, заборону найбільш токсичних та запобігання забруднення.

Висновки. Екологічний ризик кваліфікують як оцінку ймовірності появи негативних змін у навколишньому природному середовищі, зумовлених різними чинниками природного і антропогенного (техногенного) походжен-

ня. Аналіз даних наукової літератури свідчить, що все більшого поширення набуває підхід до визначення ризику як вірогідність певних несприятливих подій чи процесів у довкіллі з урахуванням можливих наслідків. Вивчення екологічного ризику є необхідним для розуміння впливу небезпечних чинників на компоненти навколишнього природного середовища.

Одна із причин екологічного ризику обумовлена надходженням екотоксикантів до екосистеми. Запропоновано математичний підхід для оцінки потенційного ризику екосистеми у разі забруднення екотоксикантами, зокрема для агроекосистеми враховують також забруднення продовольчої продукції.

Оцінка екологічних ризиків в агроекосистемі за надходження екотоксикантів дає можливість визначити вірогідність появи негативних наслідків для завчасного прийняття заходів щодо припинення їх дії. Для створення екологічної безпеки в аграрному секторі керування ризиками має бути спрямовано на збереження оптимального стану агроекосистеми та захисту здоров'я людини.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кутлахмедов Ю.А., Матвеева І.В., Гроза В.А. Надійність біологічних систем. Київ: Фітосоціоцентр, 2018. 352 с.
2. Агроекотоксикологія: тлумачний словник-довідник найбільш вживаних агроекотоксикологічних термінів / за ред. В. О. Ушкалова. Київ: ФОП Ямчинський О.В., 2021. 494 с.
3. Екологічні ризики: природа та критерії / В.М. Войціцький та ін. Екологічні науки. 2020. №4(31). С. 131–135. DOI: 10.32846/2306-9716/2020.есо.4-31.21
4. Ризик екологічний: словник-довідник з екології / уклад. О.Г. Лановенко, О.О. Осташина. Херсон: ПП Вишимирський В.С., 2013. 226 с.
5. Лисиченко Г.В., Забулов Ю.А., Хміль Г.А. Природний, техногенний та екологічний ризик. Київ: Наукова думка, 2008. 542 с.
6. Гайченко В.А., Чайка В.М. Екологія: короткий тлумачний словник. Київ: ЦП «Компринт», 2017. 238 с.
7. Назарук М.М., Бота О.В. Дослідження екологічних ризиків як ключовий елемент оцінки впливу на довкілля. Людина та довкілля. Проблеми неоекології. 2020. Вип. 34. С. 100–107. DOI: 10.26565/1992-4224-2020-34-10
8. Бойко Т.В., Абрамова А.О. Оцінювання екологічних ризиків від впливів на навколишнє середовище техногенних об'єктів. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2015. № 4. С. 31–35. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vvpi_2015_4_7
9. Желобецька Т.Ф., Федорін О.М., Стукальський О.О. Ризик як оцінка небезпеки внаслідок надзвичайних ситуацій. Безпека життєдіяльності. 2012. № 12. С. 35–38. URL: http://catalog.library.tnpu.edu.ua:8080/library/DocDescription?doc_id=514739
10. Іванюта С.П., Качинський А.Б. Екологічна та природно-техногенна безпека України: регіональний вимір загроз і ризиків: моногр. Київ: НІСД, 2012. 308 с.
11. Монарх В.В. Поняття і підходи до оцінки екологічних ризиків. Міжнародний науковий журнал «Інтернаука». 2017. № 7. С. 50–54. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/mnj_2017_7_10
12. Жирнов В.В., Савченко Д.А. Біоконверсія відходів: підручник. Київ: РПП Експрес-Друк. Частина І. 2017. 302 с.
13. Константинов В.Ю. Стокгольмська конвенція щодо стійких органічних забруднювачів. Українська дипломатична енциклопедія / заг. ред. Л.В. Губерський. Київ: Знання України, 2004. В 2-х томах. Т. 2. 812 с.
14. Гадецька З.М., Кузьмич Н.В. Оцінка екологічного ризику на території України. Ефективна економіка. 2015. №2. С. 132–138.
15. Козуля Т.В., Ємельянова Д.І. Екологічний ризик на різних дослідженнях природно-техногенних систем, інформаційне забезпечення його оцінки. Проблеми інформаційних технологій. 2015. № 17. С. 138–144. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pit_2015_1_24
16. Токсичні речовини в харчових продуктах та методи їх визначення / А.А. Дубініна та ін. Київ: Професіонал, 2007. 384 с.
17. Горбулін В.П., Качинський А.Б. Засади національної безпеки України: підручник. Київ: Інтертехнологія, 2009. 272 с.
18. ДСТУ ІЕС/ISO 31010:2013. Керування ризиком. Методи загального оцінювання ризику. [Чинний від 2013–12–11]. Вид. офіц. Київ: Мінекономрозвитку України, 2015. 80 с.
19. Моніторинг екосистем: цілі та необхідність, роль біоіндикації / В.М. Войціцький та ін. Біоресурси і природокористування. 2019. 11(3–4). С. 39–46. DOI: 10.31548/bio2019.03.005
20. Палапа Н.В., Гончар С.М. Екологічні ризики, пов'язані із сільськогосподарською діяльністю людини. Агроекотоксикологічний журнал. 2022. № 1. С. 68–80. DOI: 10.33730/2077-4893.1.2022.255189
21. Державний реєстр пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні. URL: <https://mepr.gov.ua/content>

REFERENCES

1. Kutlakhmedov, Ju.O., Matveeva, I.V., Groza, V.A. (2018). Nadezhnost' biologicheskikh sistem [Reliability of biological systems]. Kyiv, Phytosociocenter, 352 p.
2. Ushkalov, V.O. (2021). Ahroekotoksykologhiya: tлумachnyy slovnyk-dovidnyk naybil'sh vzhivanykh ahroekolohichnykh terminiv [Agroecotoxicology: explanatory dictionary-handbook of the most used agroecological terms]. Kyiv, FOP Yamchinsky O.V., no. 4(31), pp. 131–135.
3. Voitsitskiy, V.M., Khyzhnyak, S.V., Danchuk, V.V., Midyk, S.V., Hryshchuk, I.O., Ushkalov, V.O. (2020). Ekolohichni ryzyky: pryroda ta kryteriyi [Ecological risks: nature and criteria]. Ekolohichni nauki

[Environmental sciences], no. 4(31), pp. 131–135. DOI 10.32846/2306-9716/2020.eco.4-31.21

4. Lanovenko, O.H., Ostashina, O.O. (2013). *Ryzhik ekolohichnyy: slovnyk-dovidnyk z ekolohiyi* [Environmental risk: dictionary-handbook on ecology]. Kherson, PP Vyshymyrskiy V.S., 226 p.

5. Lysychenko, G.V., Zabulov, Yu.A., Khmil, G.A. (2008). *Pryrodnyy, tekhnohennyy ta ekolohichnyy ryzhik* [Natural, man-made and environmental risk]. Kyiv, Scientific opinion, 542 p.

6. Haychenko, V.A., Chaika, V.M. (2017). *Ekolohiya: korotkyy tлумachnyy slovnyk* [Ecology: a short explanatory dictionary]. Kyiv, CPU "Comprint", 238 p.

7. Nazaruk, M.M., Bota, O.V. (2020). *Doslidzhennya ekolohichnykh ryzhikiv yak klyuchovyy element otsinky vplyvu na dovkillya* [Environmental risk researches as a key element of the environmental impact assessment]. *Lyudyna ta dovkillya. Problemy neoekolohiyi* [Man and Environment. Issues of Neoecology]. Issue 34, pp. 100–107. DOI: 10.26565/1992-4224-2020-34-10

8. Boyko, T.V., Abramova, A.O. (2015). *Otsynuyvannya ekolohichnykh ryzhikiv vid vplyviv na navkolishnyye seredovyshe tekhnohennykh obyektiv* [Assessment of environmental risks from environmental impacts of man-made objects]. *Visnyk Vinnyts'koho politekhnichnoho instytutu* [Bulletin of Vinnytsia Polytechnic Institute]. no. 4, pp. 31–35. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vvpi_2015_4_7

9. Zhelobetska, T.F., Fedorin, O.M., Stukalskiy, O.O. (2012). *Ryzhik yak otsinka nebezpeky vnaslidok nadzvychnykh sytuatsiy* [Risk as an assessment of danger due to emergency situations]. *Bezpeka zhyttyediyal'nosti* [Life Safety], no. 12, pp. 35–38. Available at: http://catalog.library.tnpu.edu.ua:8080/library/DocDescription?doc_id=514739

10. Ivanyuta, S.P., Kachynsky, A.B. (2012). *Ekolohichna ta pryrodno-tekhnohenna bezpeka Ukrainy: rehionalnyi vymir zahroz i ryzhikiv* [Ecological and natural-technogenic security of Ukraine: regional dimension of threats and risks]. Kyiv, NISD, 308 p.

11. Monarch, V.V. (2017). *Ponjattja i pidkhody do ocinky ekolohichnykh ryzhikiv* [Concepts and approaches to environmental risk assessment]. *International scientific journal "Internauka"*, no. 7, pp. 50–54. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/mnj_2017_7_10

12. Zhirnov, V.V., Savchenko, D.A. (2017). *Biokonversiya vidkhodiv: pidruchnyk*. [Bioconversion of waste]. Kyiv, DDP Ekspo-Druk, Part I, 302 p.

13. Konstantinov, V.Yu. (2004). *Stok-hol'm's'ka konventsia shchodo stiykykh orhanichnykh zabrudnyuvachiv* [Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants]. *Ukrayins'ka dyplomatychna entsyklopediya* [Ukrainian Diplomatic Encyclopedia]. Kyiv, Knowledge of Ukraine, Vol. 2, 812 p.

14. Hadetska, Z.M., Kuzmych, N.V. (2015). *Otsinka ekolohichnoho ryzhiku na terytoriyi Ukrainy* [Environmental risk assessment on the territory of Ukraine]. *Efektivna ekonomika* [Efficient economy]. no. 2, pp. 132–138.

15. Kozulia, T.V., Yemelyanova, D.I. (2015). *Ekolohichnyy ryzhik na riznykh doslidzhennya pryrodno-tekhnohennykh system, informatsiynye zabezpechennya yoho otsinky* [Environmental risk at the different levels of research of natural and man-made systems, information support of its assessment]. *Problemy informatsiynykh tekhnolohiy* [Problems of information technologies]. no. 17, pp. 138–144. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pit_2015_1_24

16. Dubinina, A.A., Malyuk, L.P., Selyutina, G.A. (2007). *Toksychni rechovyny v kharchovykh produktakh ta metody yikh vyznachennya: pidruchnyk* [Toxic substances in food products and methods of their determination]. Kyiv, Professional, 384 p.

17. Horbulin, V.P., Kachynskiy, A.B. (2009). *Zasady natsional'noyi bezpeky Ukrainy: pidruchnyk* [Principles of national security of Ukraine]. Kyiv, Intertechnology, 272 p.

18. Keruvannya rizikom. *Metodi zagalnoho otsynuyvannya riziku. Vidannya oflitsiynе* [Risk management. Methods of general risk assessment. The official edition]. DSTU IEC/ISO 31010:2013 from 11th January 2013. Kyiv, 80 p.

19. Voitsitskiy, V.M., Midyk, S.V., Poltavchenko, T.V., Berezovskiy, O.V., Kepple, O.Yu., Velynska, A.O. (2019). *Monitorynh ekosystem: tsili ta neobkhdnist', rol' bioindykatsiyi* [Ecosystem monitoring: goals and necessity, role of bioindication]. *Bioresursy i pryrodokorystuvannya* [Biological Resources and Nature Management]. no. 11(3–4), pp. 39–46. DOI: 10.31548/bio2019.03.005

20. Palapa, N.V., Gonchar, S.M. (2022). *Ekolohichni ryzhiky, pov'yazani iz sil's'kohospodars'koyu diyal'nistyu lyudyny* [Environmental risks associated with human agricultural activity]. *Ahroekolohichnyy zhurnal* [Agroecological journal]. no. 1, pp. 68–80. DOI: 10.33730/2077-4893.1.2022.255189

21. *Derzhavnyy reyestr pestytsydiv i ahrokhimikativ, dozvolenykh do vykorystannya v Ukraini* [State Register of Pesticides and Agrochemicals Permitted for Use in Ukraine]. Available at: <https://mepr.gov.ua/content>

Characteristics of ecological risks in ecosystems and their manifestation possibility assessment

Khyzhnyak S., Koversun I., Dovbysh O., Voytsitskiy V.

Environment pollution with ecotoxicants of natural and anthropogenic origin creates risks of negative impact on the state of the environment, the biota of ecosystems, including humans. The study defines the main sources of ecotoxic pollutants and analyzes the risks that may arise. Based on the ambiguity of the "risk" term definition, the interpretation of the term is discussed. The approach to defining risk as the probability of certain adverse events or processes taking into account possible consequences is noted. The relationship between environmental risks and the reliability of ecosystems is indicated. Environmental risk assessment is a complex process that involves identifying the likelihood of reversible or irreversible changes in the structure and functions of ecosystems in response

to anthropogenic or natural impacts. The quantitative measure of risk as a threat of danger is the product of the probability of an adverse outcome of the event and the expected loss as a result of the event. Considerable attention is paid to the assessment of possible ecological risks for agroecosystems, which are associated with environmental degradation, the impact on human health, and the possible ingress of toxic substances into food products and pet fodder. Ecological risks in agroecosystems arise, in particular, as a result of the use of plant protection products (pesticides), excessive use of agrochemicals. However, the process

of risk management in agroecosystems involves the selection and use of risk reduction methods, in particular, the use of measures to regulate the impact of ecotoxicants by limiting, banning the most toxic and preventing pollution. The study of environmental risk is necessary to understand the impact of harmful factors on environmental components. It is emphasized that risk management in agriculture should be aimed at preserving the agroecosystem optimal state and protecting human health.

Key words: environmental risk, environment, ecotoxicants, rating, danger, agroecosystem, pesticides.



Copyright: Хижняк С.В. та ін. © This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.



ORCID iD:

Хижняк С.В.

<https://orcid.org/0000-0001-6745-2894>

Коверсун І.В.

<https://orcid.org/0000-0002-5484-4204>

Довбиш О.Б.

<https://orcid.org/0000-0002-2430-3490>

Войціцький В.М.

<https://orcid.org/0000-0002-5641-0071>