

11. Hegg C., Badoux F., Witzig J., Luscher P. Forest influence on runoff generation. Natural Forests in the Temperate Zone of Europe-Values and Utilization. *Swiss Federal Research Institute WSL and Carpathian Biosphere Reserve*. Birmensdorf-Rakhiv. 2005. V. 14. P. 48–56.

12. Погребняк П.С. Основы лесной типологии: монографія. Киев: Из-во АН УССР, 1955. 648 с.

13. Почвы Украины и повышение их плодородия /Под редакцией Н.И. Полулана. Киев: Урожай. Т. 2. 1988. 298 с.

14. Танцюра Б.Ф., Юхновський В.Ю., Урлюк Ю.С. Проблема цілісності екосистем у взаємодії людини і природи. *Наук. доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2013. Режим доступу: [http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nd/2013_3_10\(2\).pdf](http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nd/2013_3_10(2).pdf).

УДК 502.21:631.95

DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.118.41>

НАДІЙНІСТЬ АГРОЕКОСИСТЕМ: ПІДХОДИ ЩОДО ЇЇ ОЦІНКИ ТА ПІДВИЩЕННЯ

Войціцький В.М. – д.біол.н., професор,

провідний науковий співробітник,

Українська лабораторія якості та безпеки продукції агропромислового комплексу

Національного університету біоресурсів і природокористування України

Хижняк С.В. – д.біол.н., професор,

провідний науковий співробітник,

Українська лабораторія якості та безпеки продукції агропромислового комплексу

Національного університету біоресурсів і природокористування України

Данчук В.В. – д.с.-г.н., професор,

заступник директора з наукової та навчальної роботи,

Українська лабораторія якості та безпеки продукції агропромислового комплексу

Національного університету біоресурсів і природокористування України

Ушкалов В.О. – д.вет.н., професор, академік

Національної академії аграрних наук,

директор,

Українська лабораторія якості та безпеки продукції агропромислового комплексу

Національного університету біоресурсів і природокористування України

Акцентується, що однією з основних характеристик екосистем, у тому числі агро-екосистем, є їх надійність – властивість підтримувати свою структуру та безвідмовно виконувати функції. Проведено аналіз забезпечення існування і функціональної ефективності агроекосистем за показником надійності, мірою якої є ймовірність безвідмовного їх існування. Показана можливість оцінки надійності агроекосистем, виходячи з даних щодо надійності окремих її елементів. Оцінено значення для підтримання надійності агроекосистем ризику втрати ними стійкості, стабільності, продуктивності та кондиційності. Розглянуті основні джерела забруднення агроекосистем екоотоксикантами: природні та антропогенні (викиди і скиди токсичних речовин хімічної, металургійної, електротехнічної та інших галузей промисловості; стоки тваринницьких ферм; надлишкові кількості пестицидів і агрохімікатів та багато інших). Показано, що важливим під час оцінки надійності агроекосистем є встановлення її місткості для екоотоксикантів.

Це зумовлює врахування не тільки властивостей екоотоксикантів, в тому числі їх токсичної дії на біоту екосистеми, міграційної здатності між елементами (компонентами) екосистеми, але і всієї сукупності властивостей самої агроєкосистеми, таких як вид і сорт сільськогосподарської культури, агрохімічні властивості ґрунту, місткість екосистеми щодо цього екоотоксиканта, погодно-кліматичні умови та багато іншого. Підвищення надійності агроєкосистеми забезпечується використанням надійних елементів систем, а також спеціальних систем забезпечення відновлення та, за необхідності, резервування. Наголошується, що застосування теорії надійності екосистем створює можливість не тільки для дослідження агроєкосистем, але і для керування їх функціональною ефективністю для отримання екологічно безпечної продукції.

Ключові слова: екосистема, надійність, стійкість, стабільність, продуктивність, екоотоксикант.

Voitsitskiy V.M., Khyzhnyak S.V., Danchuk V.V., Ushkalov V.O. Reliability of agroecosystem: approaches to evaluate and improve

It was highlighted that one of the main properties of ecosystems, including agroecosystems, is their reliability – the ability to maintain its structure and perform functions. There was carried out analysis of agroecosystems' livelihoods and performance in terms of reliability, the measure of which is the probability of their trouble-proof existence. It was shown that the robustness of agroecosystems can be assessed on the basis of the reliability of its individual elements. The role for reliability of agroecosystems risk of loss of endurance is assessed, stability, performance and condition. The major sources of pollution of agroecosystems by ecotoxicants were considered: natural and anthropogenic (emission and discharges of toxic substances from chemical, metallurgical, electrotechnical and other industries; waste from livestock farms; excess quantities of pesticides and agrochemicals and many others. It has been shown that it is important in assessing the reliability of agroecosystems to determine their capacity for ecotoxicants. In addition, it is necessary to take into account not only the properties of ecotoxicants, including their toxic effects on ecosystem biota, the migratory potential between the elements (components) of the ecosystem, but also the full range of properties of the agroecosystem itself, in particular, the type and variety of the crop, the agrochemical properties of the soil, the capacity of the ecosystem relative to this ecotoxicant, weather and climatic conditions and much more. The reliability of the agroecosystem is enhanced by the use of reliable elements of the systems, as well as special systems for recovery and, where necessary, redundancy. It is noted that the application of the ecosystem reliability theory not only enables research on agro-ecosystems, but also the management of their performance to produce ecologically sound products.

Key words: ecosystem, reliability, stability, endurance, productivity, ecotoxicant.

Постановка проблеми. Важливе значення в екології приділяється агроєкосистемам, що являють собою штучно створені біотичні угруповання організмів (посіви або насадження культурних рослин), які підтримуються людиною для отримання сільськогосподарської продукції. Однією з основних властивостей екосистем є їх надійність – здатність підтримувати структуру, виконувати функції, самовідновлюватися і саморегулюватися за природних та антропогенно спричинених впливів [1]. Характерна особливість агроєкосистеми, яка має високу урожайність одного (декількох) видів або сортів культивуємих рослин, – низька надійність та нездатність до тривалого існування без підтримки людиною. Під час дослідження надійності екосистем доведено, що розвиток екосистем, який спрямований до рівноважного стану, потребує додаткової енергії [1–4]. Ще більшою мірою це стосується агроєкосистем. Причому під час аналізу надійності агроєкосистем слід враховувати, що структура та засоби забезпечення її надійності мало досліджені.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нині екосистеми розглядаються як системи, які здатні зберігати свою структуру і характер функціонування у просторі та часі за зміни умов довкілля, а це тісно пов'язано з їх надійністю. Надійність екосистем безпосередньо зумовлена стійкістю, стабільністю та живучістю [1; 5]. Стійкість для агроєкосистем – це, зокрема, здатність протистояти комплексу зовнішніх і внутрішніх несприятливих умов розвитку для забезпечення отримання сталого врожаю рослинницької продукції. Стійкість можна оцінити

за стабільними якостями головних складників, зокрема угрупованням культурних рослин, які об'єднані між собою та представниками різних видів організмів довкілля, територією мешкання і впливом умов існування. Відповідно до законів загальної екології акроекосистеми нестабільні. Стабільність для агроекосистем зумовлює їхню здатність знаходитися у стані рівноваги чи повертатися до нього після тимчасового виведення з цього стану за негативної дії зовнішніх чинників, зокрема екотоксикантів, які становлять небезпеку як для біоти, так і для людини [6; 7]. У цьому разі досягнення стабільності, що так необхідна для господарської стійкості агроекосистем, можливе за використання додаткової енергії для поліпшення стану агробіоценозу тощо.

Нині на основі теорії та моделей надійності екосистем здійснено моделювання радіоекологічних процесів та науково обґрунтовано застосування контрзаходів із ліквідації наслідків забруднень радіонуклідами екосистем [3; 4]. Теорія надійності агроекосистем знаходиться на етапі динамічного становлення.

Постановка завдання. Пропонується, опираючись на теорію надійності біологічних систем та враховуючи характерні особливості структури агроекосистем, надати узагальнюючий аналіз щодо розроблення підходів з оцінки надійності агроекосистем.

Виклад основного матеріалу аналітичних досліджень. Мірою надійності екосистем (P) є ймовірність її безвідмовного існування, яка може змінюватися від 0 до 1 ($0 < P < 1$) [4; 5]. За $P \approx 0$ час існування екосистеми незначний і недостатній для проявлення її функцій, оскільки вона не може стійко сформуватися. Умова $P \approx 1$ (надвисока надійність) означає, що ця екосистема здатна майже безмежно довго існувати і фактично не змінюється за довгий (поки $P = 1$) час існування.

У теорії надійності систем виділяють два основні типи [8]: послідовне і паралельне розміщення елементів систем. Перший тип – це такий, у якому складові елементи системи розміщені послідовно, і вона не буде функціонувати у разі відмови хоча б одного елемента. Якщо надійність окремого елемента такої системи позначити через P_i (i – номер елемента, $i=1, 2 \dots n$), то надійність послідовної системи ($P_{\text{посл.}}$) визначається як добуток надійності кожного елемента [5]:

$$P_{\text{посл.}} = \prod_{i=1}^n (P_i).$$

У послідовній системі навіть значна надійність елементів P не може забезпечити високу надійність такої системи, оскільки відмова хоча б одного елемента призводить до відмови всієї системи.

Другий тип – це система, складові елементи якої розміщені паралельно. За такого типу розміщення елементів система відмовиться функціонувати тільки тоді, коли перестануть працювати всі, а не один чи кілька елементів. Якщо ймовірність відмови одного елемента становить P_i , то ймовірність відмови всіх n елементів, тобто всієї системи, буде:

$$P_{\text{відмов.парал.}} = \prod_{i=1}^n (1 - P_i),$$

де P_i – ймовірність відмови одного елемента; 1 – значення міри максимальної ймовірності безвідмовного існування системи.

У цьому разі вірогідність безвідмовного існування паралельної системи ($P_{\text{парал.}}$) визначається формулою:

$$P_{\text{парал.}} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i).$$

Система, яка побудована за паралельною схемою її елементів, є високонадійною, навіть якщо надійність її окремих елементів незначна.

У процесі нормальної життєдіяльності екосистеми на неї безперервно впливають різноманітні чинники. Здатність екосистеми відновлювати пошкодження чи ліквідувати їх наслідки становить сутність системи надійності та зумовлює кількісне визначення міри надійності. Параметр надійності екосистеми (P), як відомо з теорії надійності [4], пов'язаний із параметром живучості (ступінь збереження елементів екосистеми за мінливих умов довкілля) цієї системи (B_i) таким співвідношенням:

$$P = \sum_{i=1}^n a_i B_i,$$

де B_i – параметр виживання системи; a_i – коефіцієнт пропорційності, який залежить від ваги дії чинників.

У результаті такого розрахунку є можливість оцінювати надійність агроєкосистеми, виходячи з даних щодо надійності окремих її елементів.

Стосовно чинників, які впливають на надійність агроєкосистем, необхідно враховувати такі, як [4]: забруднення довкілля, вилучення природних ресурсів, зміна ландшафтів; матеріально-енергетична природа впливу (фізична, зокрема теплове, електромагнітне, радіаційне, акустичне та ультрафіолетове випромінювання, хімічна, біологічна та різноманітне поєднання чинників); сила впливу і ступінь їх небезпеки (інтенсивність прояву ефектів), допустимість за нормативними екологічними і санітарно-гігієнічними критеріями, ступінь ризику тощо; часові параметри і відмінність впливів за характером змін (довгострокові і короткострокові, стійкі і нестійкі, прямі й опосередковані, які мають виражений і прихований ефекти, викликають зворотні та незворотні реакції) тощо.

Вплив на агроєкосистеми поділяється на умисний та неумисний. Умисний – це освоєння земель під посіви або ботанічні насадження, спорудження водосховищ, каналів і зрошуваних систем, будівництво житлових будинків, підприємств, установ, шляхів сполучень, риття котлованів, шахт і буріння свердловин для добування корисних копалин, осушення боліт тощо. Неумисний – це кислотні дощі, зміна газового складу атмосфери, утворення фотохімічних туманів (смогу), зміна клімату, порушення озонового шару, розвиток ерозійних процесів, наступ пустель, екологічні катастрофи внаслідок великих аварій тощо. Неумисний вплив може бути дуже значущим і важливим, він гірше контролюється та багатий на непередбачувані ефекти.

Виняткове значення у забрудненні агроєкосистем належить екотоксикантам. Стосовно джерел екотоксикантів, то вони надзвичайно різноманітні: як природні (виверження вулканів, урагани, смерчі, повені тощо), так і антропогенні, основні з яких – викиди і скиди найрізноманітніших токсичних речовин хімічної, металургійної, електротехнічної, целюлозно-паперової та інших галузей промисловості, підприємств ядерно-енергетичного комплексу; речовини, які утворюються при спалюванні; стоки тваринницьких ферм і відгодівельних комплексів у сільському господарстві; отрутохімікати (зокрема пестициди) і надлишкові кількості добрив та багато інших [6; 7].

Відносно простою і зручною моделлю для прогнозування міграції екотоксикантів агроєкосистемами під час оцінки їх забруднення може бути метод камерних моделей, коли елементи агроєкосистеми розглядаються як камери, між якими

здійснюється перехід тих чи інших речовин. Цей метод показав свою ефективність у радіоекології [9], крім того, камерна модель міграції екотоксикантів, наприклад пестицидів та важких металів, апробована для наземних та водних екосистем [7]. Більше того, використовуючи параметр швидкості обміну екотоксикантів між камерами (V_{ij} та V_{ji}), можна охарактеризувати надійність елемента агроекосистеми [4]:

$$P_i = \Sigma V_{ij} / \Sigma V_{ij} + \Sigma V_{ji}$$

де P_i – надійність i -го елемента агроекосистеми; ΣV_{ij} – сума швидкостей переходу екотоксикантів до j -камери; ΣV_{ji} – сума швидкостей переходу екотоксикантів до i -камери, надійність якої оцінюється через P_i .

Таким чином, надійність i -го елемента агроекосистеми за впливу екотоксикантів можна оцінити за його здатністю утримувати екотоксиканти, які потрапляють до агроекосистеми. Виходячи з даних щодо надійності окремих елементів агроекосистеми, можливо оцінювати надійність агроекосистеми загалом.

Принциповим під час оцінки надійності екосистем (у тому числі агроекосистем) є встановлення місткості для екотоксикантів – межі забруднення екотоксикантами, за якої ще не спостерігаються принципові для існування і виконання функцій зміни в екосистемі [10]. Параметр місткості може виступати як міра надійності як кожного елемента, так і екосистеми загалом, оскільки у разі його перевищення може спостерігатися пригнічення життєдіяльності біоти екосистеми.

Наприклад, якщо на територію агроекосистеми, де вирощується одна сільськогосподарська культура, випало на ґрунт A_0 (мг або г у розрахунку на 1 км² площі) екотоксиканта і питома кількість екотоксиканта у ґрунті становить C_0 (мг або г/кг ґрунту), урожай біомаси з однієї одиниці площі B_0 (кг/км² площі) і коефіцієнт переходу екотоксиканта з ґрунту до рослин K_0 (мг або г/кг біомаси на мг або г/кг ґрунту), то загальна частка вносу екотоксиканта з урожаєм (A_B) становить, згідно з [6]:

$$A_B = K_0 \cdot C_0 \cdot B_0 / A_0$$

У цьому разі коефіцієнт місткості агроекосистеми для цього екотоксиканта (F_m), що визначає частку екотоксиканта, яка залишилася в ґрунті, становить:

$$F_m = 1 - A_B$$

Наведені формули – для кореневого надходження екотоксиканта до рослини з ґрунту у перший вегетаційний період, і вони спрощені: без урахування можливого вітрового перенесення (дефляції), стоку з поверхневими водами і дифузії в шар ґрунту тощо. Детально можливі шляхи міграції екотоксикантів в агроекосистемах розглянуті в [6; 7§ 11].

Слід відзначити, що під час оцінки надійності агроекосистеми необхідно враховувати не тільки властивості екотоксикантів, у тому числі їх токсичну дію на біоту екосистеми, міграційну здатність між елементами (компонентами) екосистеми, механізми потрапляння до рослини тощо, але і всю сукупність властивостей самої агроекосистеми, зокрема вид і сорт сільськогосподарської культури, агрохімічні властивості ґрунту, місткість екосистеми щодо цього екотоксиканта, внесення добрив, способи обробки ґрунту, погодно-кліматичні умови, екологічну ситуацію та багато іншого.

Для підвищення можливості існування агроекосистем, посилення їх функціональної ефективності необхідним є як збільшення надійності, так і підтримування міри надійності (вірогідності безвідмовного існування) в діапазоні $0,5 < P < 1$ [5]. Виконання цієї вимоги гарантує високу реальну практичну надійність агроекосистеми. При цьому $0,5 \leq P$ означає, що половина або більше організмів цієї екосистеми здатна вижити в умовах середовища мешкання, що змінюються.

Збільшення надійності екосистеми забезпечується використанням надійних елементів систем, а також спеціальних систем забезпечення надійності: ефективних систем відновлення і, за необхідності, систем резервування [4; 5].

У теорії надійності одним з основних механізмів забезпечення функціонування систем є її відновлення – це здатність екосистем повертатися за певний час до висхідного (початкового) стану після виходу з нього під впливом різних чинників [1]. У широкому розумінні відновлення елементів екосистеми передбачає повернення їх до функціонального стану або заміну на робочі елементи, які беруться з резерву, – це введення в систему резервних елементів, які знаходяться в необхідному режимі функціонування. Значною мірою це стосується і агроекосистем, для яких характерна залежність існування від діяльності людини.

Біологічним системам властиві функції, які під час дії різних чинників можуть змінювати свою інтенсивність – посилюватися чи послаблюватися або навіть повністю припинятися. Для надійного існування екосистем, у тому числі агроекосистем, необхідно, щоб вони були продуктивні (постійно відновлювалися, підтримували необхідну біомасу), а також кондиційні (підтримували середовище існування у стані, який придатний для функціонування цієї екосистеми) [4]. Екосистема буде надійною за умов одночасного проявлення цих функцій. Так, висока продуктивність без кондиційності середовища (наприклад, утилізації відходів життєдіяльності організмів) неминуче спричинить погіршення стану екосистеми, а також навпаки – високоефективна кондиційність без достатньої продуктивності приведе до захоплення вивільнених екологічних ніш іншими організмами, що викличе зміни в екосистемах. Тобто до вирішення питання надійного існування агроекосистем необхідно підходити надзвичайно зважено, і це окупиться їх екологічною безпекою.

Висновки і пропозиції. Однією з основних властивостей агроекосистеми є її надійність, міра якої – імовірність безвідмовного функціонування. Вона може визначатися надійністю складових елементів (компонентів), а також залежить від ефективної роботи систем відновлення і резервування. Під час оцінки надійності агроекосистем необхідно враховувати її місткість стосовно екотоксикантів, живучість, стабільність, продуктивність і кондиційність. Саме комплексний підхід щодо використання теорії надійності екосистем розширює коло засобів для дослідження ефективного функціонування агроекосистем, що сприяє отриманню високого і безпечного врожаю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Азаров С.І., Сидоренко В.Л., Задунай О.С. Визначення надійності екосистем до чинника антропогенного тиску. *Екологічна безпека та природокористування*. 2017. № 3–4(24). С. 50–57.
2. Заика В.И. Устойчивость экосистем. *Морський екологічний журнал*. 2007. № 6 (3). С. 27–32.
3. Стійкість екосистем до радіаційних навантажень: монографія / Матвєєва І.В., Азаров С.І., Кутлахмедов Ю.О., Харламова О.В. Київ: Книжкове вид-во НАУ, 2016. 396 с.
4. Кутлахмедов Ю.А., Матвєєва І.В., Гроза В.А. Надежность биологических систем: монография. Киев: Фитосоциоцентр, 2018. 352 с.
5. Матвєєва І.В. Проблеми надійності екологічних систем: монографія. Київ: Книжкове вид-во НАУ, 2014. 192 с.
6. Моделювання міграції екотоксикантів у компонентах агроекосистеми / В.М. Войціцький, С.В. Хижняк, В.В. Данчук та ін. *Агроекологічний журнал*. 2019. № 1. С. 36–42.

7. Застосування моделювання для прогнозування міграції екотоксикантів наземними і водними екосистемами: науково-практичні рекомендації для установ України екологічного профілю / В.М. Войціцький, С.В. Хижняк, С.В. Мідик та ін. Київ: Вид-во НУБіП України, 2019. 31 с.

8. Базовський І. Надійність: теорія і практика: монографія. М.: Мир, 1965. 374 с.

9. Радіоекологія. Камерні моделі: монографія / Кутлахмедов Ю.О., Матвеева І.В., Петрусенко В.П., Родіна В.В. Київ: Книжкове вид-во НАУ, 2013. 84 с.

10. Кутлахмедов Ю.О., Войціцький В.М., Хижняк С.В. Радіобіологія: підручник. Київ: ВПЦ «Київський університет», 2011. 543 с.

11. Войціцький В.М., Хижняк С.В., Конопольський О.П. Прогнозування процесів міграції та накопичення полутантів агроєкосистемами. *Таврійський науковий вісник*. 2020. № 115. С. 270–277.

УДК 712.4; 712.3/.7

DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.118.42>

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ БАГАТОРІЧНИХ ЛІКАРСЬКИХ РОСЛИН В ОФОРМЛЕННІ КВІТНИКІВ МІСТА ХЕРСОН

Дементьєва О.І. – к.с.-г.н.,

доцент кафедри лісового та садово-паркового господарства,
Херсонський державний аграрно-економічний університет

Бойко Т.О. – к.біол.н., доцент,

доцент кафедри лісового та садово-паркового господарства,
Херсонський державний аграрно-економічний університет

У статті розглянуто особливості застосування багаторічних лікарських рослин в оформленні квітників міста Херсон, що сприяє тенденції поширення ідей екологічності, сприятливого впливу на навколишнє природне середовище, а також естетичного доповнення об'єктів садово-паркового будівництва у міських умовах.

У процесі досліджень території Ботанічного саду при ХДУ встановлено такий асортимент лікарських рослин: лаванду вузьколисту (*Lavandula angustifolia* Mill.) та її сорти: 'Munstead', 'Elegant sky', 'Alba', 'Hidcote Giant', 'Rosea', цмин італійський (*Helichrysum italicum* Guss.), шавлію лікарську (*Salvia officinalis* L.), шавлію мускатну (*Salvia sclarea* L.), нагідку лікарську (*Calendula officinalis* L.), олівник рожевий (*Rhodiola rosea* L.), м'яту перцеву (*Mentha piperita* L.), м'яту польову або м'яту лугову (*Mentha arvensis* L.), півонію незвичайну (*Paeonia anomala* L.) тощо.

Згідно з морфо-біологічними особливостями всі багаторічні лікарські рослини на території дослідження мають довгий період цвітіння, різне забарвлення квіток і листя, тому використовуються у створенні ландшафтних композицій.

Аналіз зеленої зони проспекту Ушакова міста Херсон показав, що встановлений асортимент рослин є бур'янами та не може використовуватися в озелененні міста.

Для доповнення наявного асортименту лікарських рослин рекомендуємо такий видовий склад багаторічних лікарських рослин для озеленення міста Херсон та створення квітників: вербену лікарську (*Verbena officinalis* L.), звіробій звичайний (*Hypericum perforatum* L.), фіалку триколірну (*Viola tricolor* L.), душицю звичайну (*Origanum vulgare* L.), бадан товстолістий (*Bergenia crassifolia* L.), котячу м'яту (*Nepeta faassenii* L.), купину лікарську (*Polygonatum officinale* Mill.), чебрець звичайний (*Thymus vulgaris* L.), ісон лікарський (*Hyssopus officinalis*).

Підбір асортименту рослин здійснювали відповідно до природно-кліматичних умов території дослідження. Усі рекомендовані рослини високодекоративні та гарноквітучі,