

«ЗЕЛЕНА» ОПТИМІЗАЦІЯ АГРОВИРОБНИЧОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ЯК ОСНОВА РЕАБІЛІТАЦІЇ ЗАБРУДНЕНИХ РАДІОНУКЛІДАМИ АГРОЛАНДШАФТІВ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ

Л.А. Райчук, І.К. Швиденко, Г.М. Чоботько

*Інститут агроекології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)
e-mail: edelvice@ukr.net; ORCID: 0000-0002-2552-4578
e-mail: favor09@ukr.net; ORCID: 0000-0002-6135-8968
e-mail: chobotko@ukr.net; ORCID: 0000-0001-8228-4331*

Досліджено можливості оптимізації агровиробничої діяльності на радіоактивно забруднених територіях Українського Полісся в контексті сучасних викликів, спричинених військовими діями та кліматичними змінами, а також необхідності компенсації втрат сільськогосподарських угідь внаслідок російської агресії. На основі аналізу міжнародного досвіду та локальних досліджень, нормативних документів та статистичних даних визначено особливості впливу кліматичних змін на агроєкосистеми регіону. Використано інформаційно-аналітичні й математично-статистичні методи дослідження, а також монографічний та абстрактно-логічний підходи для розробки оптимальних сценаріїв агровиробничої діяльності, адаптованих до нових екологічних та соціально-економічних умов. Дослідження базується на даних національної інформаційної бази та результатах попередніх наукових розвідок щодо адаптивно-ландшафтної системи землеробства. Встановлено, що кліматичні зміни розширили потенціал регіону для вирощування нетипових культур, включаючи кукурудзу, соняшник і сою, що підвищує можливості території для компенсації втрат сільськогосподарських угідь інших регіонів України. Запропоновано інноваційні підходи до реабілітації забруднених агроландшафтів, що ґрунтуються на принципах «зеленої» економіки, а також упровадження систем точного землеробства, ГІС-технологій та методів фіторе mediaції. Визначено, що в короткостроковій перспективі найбільш економічно доцільними є традиційні сценарії рослинництва та молочного скотарства, тоді як для довгострокової екологічної стійкості перевагу мають біоенергетичний напрям та м'ясне скотарство. Розроблено модельні сценарії агропромислового виробництва, що враховують специфіку воєнного та повоєнного періодів, зокрема необхідність запровадження протиерозійних заходів на порушених територіях та використання стійких культур для швидкого відновлення ґрунтового покриву. Обґрунтовано економічну ефективність рекомендованих рішень через створення нових робочих місць, розвиток експортного потенціалу та підвищення енергетичної незалежності регіону. Результати дослідження створюють наукове підґрунтя для ефективної компенсації втрат сільськогосподарського потенціалу східних та південних регіонів України за одночасного дотримання принципів сталого розвитку.

Ключові слова: аграрне виробництво, екологічна безпека, кліматичні зміни, стале землекористування, біоенергетика, точне землеробство, фіторе mediaція, продовольча безпека, бойові дії.

ВСТУП

Глобальні екологічні виклики, посилені військовими конфліктами, створюють безпрецедентні загрози для довкілля, продовольчої безпеки та сталого розвитку. Особливої актуальності набуває питання перепрофілювання сільськогосподарства України в умовах тимчасової втрати значних сільськогосподарських угідь на сході та півдні держави внаслідок бойових

дій. У цьому контексті Українське Полісся, регіон, що зазнав значного радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської аварії, може відіграти ключову роль у компенсації цих втрат та забезпеченні продовольчої безпеки країни. Зміни клімату розширили спектр сільськогосподарських культур, а рівні радіоактивного забруднення поступово знижуються. Ці чинники, разом зі змінами соціально-економічного статусу

регіону, створюють нові можливості для розвитку аграрного сектору Полісся. Однак, комплексні дослідження радіологічної безпеки вирощування нових культур у цьому регіоні досі відсутні. Реабілітація радіоактивно забруднених територій Українського Полісся вимагає холистичного міждисциплінарного підходу, який би враховував як локальні проблеми (незбалансоване удобрення, надмірна розораність, зменшення лісистості), так і глобальні виклики (зміни клімату, епіфітотії, епізоотії, лісові пожежі, наслідки військових дій). Особливої уваги потребує оптимізація еколого-економічної ефективності аграрного виробництва, що передбачає диференціацію сільськогосподарської діяльності відповідно до екологічних, економічних та соціальних чинників.

З огляду на вищезазначене, **метою дослідження** є розробка та оптимізація модельних сценаріїв агровиробничої діяльності на забруднених радіонуклідами територіях Українського Полісся з урахуванням нових кліматичних, екологічних та соціально-економічних умов, а також необхідності компенсації втрат сільськогосподарського потенціалу інших регіонів України.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Аналіз літератури свідчить про різноманітність підходів до агровиробничої діяльності на забруднених землях у різних країнах. Так, у США Агентство з охорони навколишнього середовища (EPA) розробляє загальнодержавні рекомендації, але їх застосування може відрізнятися на рівні штатів чи окремих територій [1]. EPA запропоновано базувати сценарії рекреаційного впливу на місцевих практиках [2–3]. До того ж документи щодо радіоактивного забруднення вказують на можливість безпечного використання територій приблизно через три століття після забруднення [2]. Загальні підходи до планування використання забруднених земель включають: балансування економічних, соціальних та екологічних інтересів; узгодження май-

бутнього використання земель із цілями ремедіації; використання трьох основних категорій землекористування: промислове, рекреаційне та житлове [4]. Важливим аспектом є врахування невизначеностей, пов'язаних із довгостроковими демографічними, політичними, економічними та кліматичними змінами. Італійські дослідники С. Пандоччі, Е. Карвеллі та ін. [5] застосували модель Дуна-CLUE для аналізу змін землекористування на забрудненій території. Було розроблено два сценарії: продовження поточних тенденцій та впровадження фітотехнологій для рекультивації забруднених ґрунтів. Модель враховувала геофізичні та соціально-економічні чинники. У Чилі автори П. Мондака, М. Берасалусе, С. Ларрагібель-Гонсалес та ін. [6] використовували геопросторову систему підтримки прийняття рішень (S-DSS) для інтеграції інформації про забруднення ґрунтів та планування використання земель. Останні розподілили за категоріями як «придатні», «ризиковані» та «непридатні» для різних видів використання. Японський досвід за аналізом Г. Ванденхов та С. Туркану [7] демонструє перевагу гнучких систем підтримки ухвалення рішень на основі ПС для вибору оптимальних варіантів управління радіоактивно забрудненими землями. Дослідження на тематику ремедіації і моніторингу забруднених земель науковцями Фагнано, Д. Вісконті і Н. Фйорентіно [8] були зосереджені на різних підходах залежно від типу забруднення. У Китаї ж розробці стратегій використання забруднених земель вченому і аналізу Д. Гоу, Й. Ма, Й. Чен та ін. [9–11] передує обов'язкова оцінка ризиків. На території Полісся України М. Тараріком та ін. [12–14] було здійснено дослідження, присвячені науково-теоретичній основі агровиробничих сценаріїв та моделей аграрного виробництва, що дають змогу кількісно оцінити ефективність агроecosистем в умовах радіоактивного забруднення. Також аналіз досліджень щодо оцінки ризиків використання земель, забруднених унаслідок бойових дій, виявив прогалини у знаннях і методиках. Зокрема, П. Бруманді та спів-

авт. [15] наголошують на недостатньому вивченні мобільності потенційно токсичних елементів та властивості енергетичних сполук і хімічних бойових агентів.

Загалом, аналіз літератури підкреслює, що ефективне управління забрудненими землями вимагає комплексного підходу, який враховує локальні умови, тип забруднення, соціально-економічні чинники та екологічні ризики. Важливим є розробка гнучких систем підтримки прийняття рішень та довгострокових стратегій управління, які можуть адаптуватися до змін умов та нових викликів.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження передбачає використання інформаційно-аналітичних і математично-статистичних методів, а також монографічного (опрацювання наукових публікацій і нормативних документів) та абстрактно-логічного (теоретичне узагальнення, формування висновків і рекомендацій) підходів. У роботі застосовуються дані національної інформаційної бази (статистичні та фондові дані), нормативні документи, електронні й друковані наукові й довідкові матеріали, як вітчизняні, так і зарубіжні. Аналіз сценаріїв агровиробничої діяльності та систем землекористування радіоактивно забрудненої території Українського Полісся проводиться на основі агроекологічного групування земель відповідно до адаптивно-ландшафтної системи землеробства, спираючись на загальнодоступні результати досліджень [12–14].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБҐРУНТУВАННЯ

Аналіз виявив, що розвиток агроєкосистем на радіоактивно забруднених землях Українського Полісся залежить від комплексу взаємопов'язаних чинників: кліматичні зміни (підвищення середньорічної температури та суми ефективних температур, збільшення кількості опадів, особливо зливого характеру [16], подовження періоду активної вегетації), вплив на ґрунти та рослинність (зміна динаміки міграції

хімічних елементів у ґрунті [17], трансформація видового складу рослинності [18]), адаптація сільськогосподарських практик (необхідність перегляду традиційних методів ведення сільського господарства [19], застосування інноваційних агротехнологій (крапельне зрошення, *no-till*, *mini-till*, *strip-till*)), перспективи вирощування культур (збереження сприятливих умов для ріпаку та озимих зернових, розширення можливостей для вирощування кукурудзи на зерно, соняшнику та сої [20], скорочення площ під буряком цукровим і картоплею), соціально-економічні чинники (необхідність запровадження ресурсо- та енергоощадних технологій, вплив на тваринництво через зміну умов вирощування кормових культур), екологічні наслідки бойових дій (порушення ландшафтів і деградація ґрунтів, зміни в структурі викидів парникових газів [21], міжнародні екологічні зобов'язання).

Дослідження відмічає, що найбільш імовірним сценарієм розвитку є RCP 8.5 («сценарій бізнесу як звичайно») [22]. Це передбачає складнощі у впровадженні екологічних ініціатив через економічну нестабільність та пріоритет відновлення інфраструктури. Водночас виявлено потенціал для розвитку біоенергетичного напрямку, зокрема через вирощування кукурудзи, що може сприяти енергетичній та економічній незалежності регіону.

На основі досліджень [12–14] та аналізу впливу кліматичних змін і бойових дій на сільськогосподарські угіддя Українського Полісся було розроблено п'ять основних сценаріїв агропромислового виробництва: «Сучасна практика» (контроль, рослинницький напрям), «Молочне скотарство» (рослинницько-тваринницький напрям), «Біоенергетичний» (тваринницько-рослинницький напрям), «М'ясне скотарство» (тваринницький напрям), «М'ясне скотарство» (інтенсивний тваринницький напрям).

Аналіз засвідчив, що традиційні системи агровиробництва (сценарії 1 і 2) відзначаються стабільністю та можливістю підтримувати родючість ґрунту, але залежать

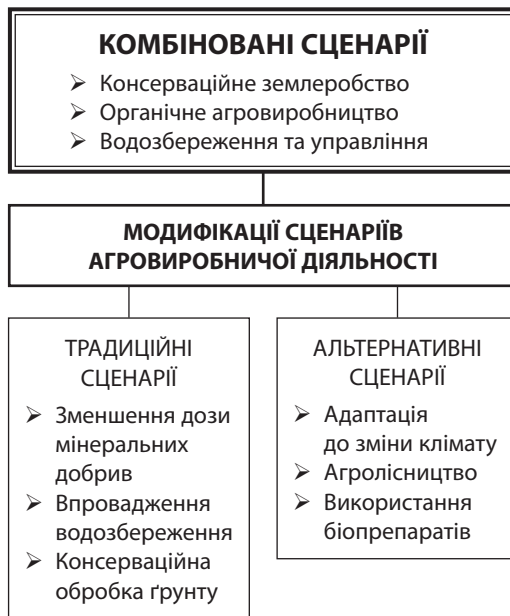
від стабільного постачання ресурсів. Альтернативні сценарії (3–5) мають потенціал у воєнний і повоєнний період, сприяючи більшій енергетичній ефективності та економії ресурсів [12–14].

Дослідження [23] виявили, що зміна клімату створила нові можливості для розкриття ресурсного потенціалу Полісся, зокрема для вирощування нетипових для регіону культур, як-от кукурудза на зерно, соняшник і соя.

Враховуючи наслідки бойових дій і кліматичних змін, було запропоновано модифікації традиційних та альтернативних сценаріїв агровиробничої діяльності (рис.). Ці модифікації включають зменшення використання мінеральних добрив, впровадження методів водозбереження, консерваційну обробку ґрунту, адаптацію до зміни температур та вологості, агролісництво та використання біопрепаратів [24; 25].

Результати дослідження свідчать, що найреалістичніми в сучасних економічних умовах є сценарії № 1 і № 2, однак із погляду природоохоронних заходів та вимог «зеленої» економіки перевагу слід надати сценаріям № 3–5 у довгостроковій перспективі. Оптимальним рішенням є поєднання елементів традиційних і альтернативних сценаріїв з урахуванням локальних умов.

Тому, зважаючи на комплексні еколого-економічні й соціальні виклики, перед якими постала Україна, а також закордонний досвід використання порушених земель було розроблено та оптимізовано модельні сценарії агровиробничої діяльності на забруднених радіонуклідами територіях Українського Полісся (табл.), що потенційно дасть змогу ефективніше компенсувати втрати сільськогосподарського потенціалу інших регіонів України, а також дотримання задекларованих нашою державною принципів «зеленого» відновлення економіки. Особливу увагу приділено врахуванню сучасних безпрецедентних викликів, зокрема наслідків воєнної агресії росії, що накладаються на існуючі проблеми радіоактивного забруднення території. Запропоновані рішення включають



Орієнтовні модифікації сценаріїв агровиробничої діяльності на радіоактивно забруднених землях Полісся України у воєнний і повоєнний періоди

впровадження протиерозійних заходів на порушених територіях та використання стійких культур для швидкого відновлення ґрунтового покриву. Інноваційна складова розроблених сценаріїв полягає у комплексному застосуванні сучасних технологій, що раніше масово не використовувалися на забруднених територіях Полісся. Зокрема, запровадження систем точного землеробства у поєднанні з ГІС-технологіями дає змогу здійснювати детальний моніторинг стану ґрунтів та оптимізувати використання ресурсів. Важливим елементом є застосування методів фітореMediaції та біологічних препаратів для відновлення родючості ґрунтів, що особливо актуально для території, постраждалих унаслідок бойових дій.

Серед обраних сценаріїв варто відзначити «біоенергетичний» сценарій, який передбачає виробництво відновлюваної енергії та забезпечує енергетичну незалежність регіону, що критично важливо в умовах сучасних викликів.

Оптимізація модельних сценаріїв агропривербничої діяльності на забруднених радіонуклідами територіях Українського Полісся відповідно до основних модифікаційних чинників

Сценарій	Вплив кліматичних змін	Адаптація сільськогосподарських практик	Перспективи вирощування сільськогосподарських культур	Виклики ерозії та деградації ґрунтів	Соціально-економічні та інноваційні рішення
№ 1 «Сучасна практика»	Введення культур, стійких до змін клімату (соя, соняшник, гречка)	Мінімальний обробіток ґрунту, безвідвальний обробіток	Пшениця озима, картопля, соя, соняшник, гречка	Збереження структури ґрунту, зменшення ерозії	Обмежене використання інновацій через фінансові причини
№ 2 «Молочне скотарство»	Введення культур, стійких до змін клімату (кукурудза, овес, люпин, тритикале)	Традиційна органо-мінеральна система удобрення (гній + НРК)	Кукурудза, овес, люпин, тритикале	Використання місцевих кормів на початкових стадіях відгодівлі	Підвищення продуктивності дійних корів, потреба в інвестиціях
№ 3 «Біоенергетична»	Введення біоенергетичних культур (міскантус, верба)	Мінімальний обробіток ґрунту, система точного землеробства	Кукурудза на силос, біоенергетичні культури	Збереження структури ґрунту, зменшення ерозії	Використання біогазових установок, потреба в інвестиціях
№ 4 «Тваринництво 1»	Введення культур, стійких до змін клімату (пшениця озима, кукурудза, картопля, люпин)	Органо-мінеральна система удобрення, мінімальний обробіток ґрунту	Пшениця озима, кукурудза, картопля, люпин	Збереження структури ґрунту, зменшення ерозії	Переробка відходів на біоенергію, потреба в інвестиціях
№ 5 «Тваринництво 2»	Введення культур, стійких до змін клімату (пшениця озима, кукурудза, картопля, соняшник)	Органічна система удобрення, мінімальний обробіток ґрунту	Пшениця озима, кукурудза, картопля, соняшник	Збереження структури ґрунту, зменшення ерозії	Використання біогазових установок, потреба в інвестиціях

Сценарії молочного та м'ясного скотарства демонструють значний потенціал для створення доданої вартості через переробку продукції та розвиток експортного потенціалу.

Економічний аналіз засвідчив, що реалізація запропонованих сценаріїв матиме істотний позитивний вплив на розвиток регіону та країни загалом. Створення нових робочих місць, розвиток експортного потенціалу та підвищення енергетичної незалежності сприятимуть відновленню економічної активності в постраждалих регіонах. Важливо відзначити, що впровадження розроблених сценаріїв потребує значних інвестицій, проте їх економічна ефективність та соціальна значущість обґрунтовують доцільність таких капіталовкладень.

Результати дослідження підтверджують, що запропоновані сценарії не лише дають можливість відновити постраждалі території, але й створюють основу для формування сучасного, екологічно безпечного та економічно ефективного агровиробництва, що відповідає викликам сьогодення та сприяє зміцненню продовольчої безпеки країни.

ВИСНОВКИ

1. Глобальні екологічні виклики та наслідки російської військової агресії створюють безпрецедентні загрози для довкілля та продовольчої безпеки України. Особливої актуальності набуває питання оптимізації використання радіоактивно забруднених територій Українського По-

лісся для компенсації втрат сільськогосподарських угідь на сході та півдні держави. Встановлено, що кліматичні зміни розширили можливості регіону для вирощування нетипових культур (кукурудза на зерно, соняшник, соя), що підвищує потенціал території для компенсації втрат сільськогосподарських угідь інших регіонів України.

2. Розроблено та оптимізовано п'ять модельних сценаріїв агровиробничої діяльності для забруднених радіонуклідами територій Українського Полісся, які враховують нові кліматичні, екологічні та соціально-економічні умови воєнного й повоєнного періодів. Визначено, що найбільш економічно доцільними в короткостроковій перспективі є сценарії «Сучасна практика» та «Молочне скотарство», тоді як із точки зору екологічної стійкості та принципів «зеленої» економіки перевагу мають біоенергетичний сценарій та сценарій м'ясного скотарства. До того ж доведено ефективність впровадження інноваційних технологій (системи точного землеробства, ГІС-технології, методи фіторе mediaції) для оптимізації використання ресурсів та відновлення родючості ґрунтів на забруднених територіях.

3. Перспективи подальших досліджень полягають у розробці детальних механізмів таргетного запровадження запропонованих сценаріїв, оцінці їх довгострокового впливу на стан довкілля та екологічні зобов'язання України, а також вивченні можливостей масштабування успішних практик на інші постраждалі території.

ЛІТЕРАТУРА

- Gochfeld M., Burger J., Powers C. and Kosson D. Land-use Planning Scenarios for Contaminated Land: Comparing EPA, State, and Tribal Scenarios—15642. *Annual Waste Management Symposium* (March 15–19, 2015). Phoenix, AZ, United States. URL: <https://archivedproceedings.econference.io/wmsym/2015/papers/15642.pdf>.
- Environmental protection agency (EPA). Land-use in the CERCLA remedy selection process: the superfund land-use directive. U.S., OSWER 9355.7-04, 1995. 11 p. URL: <https://www.epa.gov/sites/default/files/documents/landuse.pdf>.
- Mayer H.J., Greenberg M.R., Burger J. et al. Using integrated geospatial mapping and conceptual site models to guide risk-based environmental clean-up decisions. *Risk Analysis*. 2005. Vol. 25. № 2. P. 429–446. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2005.00600.x>.
- Environmental protection agency (EPA). Supplemental guidance for developing soil screening levels for superfund site. U.S., OSWER 9355.4-24, 2002. URL: <https://www.epa.gov/superfund/supplemental-guidance-developing-soil-screening-levels-superfund-sites>.
- Pindozi S., Cervelli E., Recchi P.F. et al. Predicting land use change on a broad area: Dyna-CLUE model application to the Litorale Domizio-Agro Aversano (Campania, South Italy). *Journal of Agricultural En-*

- gineering*. 2017. Vol. 48(s1). P. 657. DOI: <https://doi.org/10.4081/jae.2017.657>.
6. Mondaca P., Beralaluce M., Larraguibel-González C. et al. From risk assessment to land planning. The case of a trace element-contaminated area in Chile. *Land Degradation & Development*. 2024. Vol. 35. No. 4. P. 1567–1579. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.5008>.
 7. Vandenhove H. and Turcanu C. Agricultural land management options following large-scale environmental contamination. *Integrated Environmental Assessment and Management*. 2011. Vol. 7 (3). P. 385–387. DOI: <https://doi.org/10.1002/ieam.234>.
 8. Fagnano M., Visconti D. and Fiorentino N. Agromonic approaches for characterization, remediation, and monitoring of contaminated sites. *Agronomy*. 2020. Vol. 10. P. 1335. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10091335>.
 9. Hou D., Qi S., Zhao B. et al. Incorporating life cycle assessment with health risk assessment to select the 'greenest' cleanup level for Pb contaminated soil. *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 162. P. 1157–1168. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.135>.
 10. Ma Y., Dong B., Bai Y. et al. Remediation status and practices for contaminated sites in China: survey-based analysis. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018. Vol. 25. P. 33216–33224. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3294-2>.
 11. Chen Y., Hou D., Lu C. et al. Selective enrichment of *Geobacter* species in activated carbon amended soils for enhanced anaerobic biodegradation of BTEX compounds. *Environmental Science & Technology*. 2016. Vol. 50. № 17. P. 9400–9406. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b01840>.
 12. Тараріко М.Ю. Еколого-економічне обґрунтування імітаційних моделей аграрного виробництва на радіоактивно забруднених землях Полісся. *Економіст*. 2015. № 10. С. 43–45.
 13. Тараріко М.Ю. Економічна та енергетична ефективність систем відтворення агроекологічних функцій радіоактивно забруднених дерново-підзолистих ґрунтів. *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*. 2015. Вип. 25.7. С. 278–284.
 14. Тараріко М.Ю. Економічна ефективність в системі відтворення агроекологічних функцій радіоактивно забруднених дерново-підзолистих ґрунтів. *Таврійський науковий вісник*. 2015. Вип. 93. С. 260–265.
 15. Broomandi P., Guney M., Kim J. R. and Karaca F. Soil Contamination in Areas Impacted by Military Activities: A Critical Review. *Sustainability*. 2020. Vol. 12. Article 9002. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12219002>.
 16. Галабурда С.О. Адаптація сільського господарства до глобальних кліматичних змін. *Тенденції та виклики сучасної аграрної науки: теорія і практика: матеріали III Міжнар. наук.-практ. онлайн конф.* (м. Київ, 20–22 жовт. 2021 р.). Київ: НУБіП, 2021. С. 72–74.
 17. Shourie A. and Singh A. Impact of Climate Change on Soil Fertility. *Climate Change and the Microbiome. Soil Biology* / D.K. Choudhary, A. Mishra, A. Varma (Eds.). Cham: Springer. 2021. P. 49–62. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-76863-8_4.
 18. Pillai M.M., Golub E.S., Lokshin M.M. et al. Ukraine — Building Climate Resilience in Agriculture and Forestry. Washington, D.C.: World Bank Group, 2022. URL: <http://documents.worldbank.org/curated/en/893671643276478711/Ukraine-Building-Climate-Resilience-in-Agriculture-and-Forestry>.
 19. Moldavan L., Pimenowa O., Wasilewski M. and Wasilewska N. Sustainable Development of Agriculture of Ukraine in the Context of Climate Change. *Sustainability*. 2023. Vol. 15. Article 10517. DOI: <https://doi.org/10.3390/su151310517>.
 20. Через зміни клімату в Поліссі почали вирощувати південні культури. *Укрінформ*. 2020. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3102052-cerez-zmini-klimatu-na-polissi-pocali-virosuvati-pivdenni-kulturi.html>.
 21. The Environmental Impact of the Conflict in Ukraine: a preliminary review. United Nations Environment Programme (UNEP). 2022. URL: <https://copilot.microsoft.com/?wlexpsignin=1%2c1%2c1&setlang=uk&wlexpsignin=1>.
 22. IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Stocker T.F., Qin D., Plattner G.-K. et al. (Eds.). Cambridge: Cambridge University Press, 2013. 1535 p.
 23. Тараріко М.Ю. Оцінювання балансу елементів живлення в зерно-картопляній сівозміні за традиційної та альтернативної систем удобрення. *Вісник аграрної науки*. 2015. № 93 (7). С. 71–74. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201507-15>.
 24. Чоботько Г.М., Кучма М.Д., Райчук Л.А. та ін. Реабілітація радіоактивно забруднених земель Українського Полісся. *Екологоорієнтовані підходи відновлення техногенно забруднених територій і створення сталих екосистем: моногр.* / за ред. Т.О. Чайки. Полтава: Видавництво ПП «Астрая», 2022. С. 361–379.
 25. Чіков І. Фактори підвищення конкурентоспроможності підприємств АПК на основі інноваційних перетворень. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Сер.: Економіка і управління*. 2018. Т. 29 (68). № 5. С. 113–117.

REFERENCES

1. Gochfeld, M., Burger, J., Powers, C. & Kosson, D. (2015). Land-use planning scenarios for contaminated land: Comparing EPA, state, and tribal scenarios. *Annual Waste Management Symposium*. Phoenix, AZ, United States. URL: <https://archivedproceedings.econference.io/wmsym/2015/papers/15642.pdf> [in English].
2. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (1995).

- Land-use in the CERCLA remedy selection process: The superfund land-use directive (OSWER 9355.7-04). 11 p. URL: <https://www.epa.gov/sites/default/files/documents/landuse.pdf> [in English].
3. Mayer, H.J., Greenberg, M.R., Burger, J. et al. (2005). Using integrated geospatial mapping and conceptual site models to guide risk-based environmental cleanup decisions. *Risk Analysis*, 25 (2), 429–446. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2005.00600.x> [in English].
 4. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2002). Supplemental guidance for developing soil screening levels for superfund site (OSWER 9355.4-24). URL: <https://www.epa.gov/superfund/supplemental-guidance-developing-soil-screening-levels-superfund-sites> [in English].
 5. Pindozi, S., Cervelli, E., Recchi, P.F., Capolupo, A. & Boccia, L. (2017). Predicting land use change on a broad area: Dyna-CLUE model application to the Litorale Domizio-Agro Aversano (Campania, South Italy). *Journal of Agricultural Engineering*, 48 (s1), 657. DOI: <https://doi.org/10.4081/jae.2017.657> [in English].
 6. Mondaca, P., Berasaluce, M., Larraguibel-González, C. et al. (2024). From risk assessment to land planning: The case of a trace element-contaminated area in Chile. *Land Degradation & Development*, 35 (4), 1567–1579. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.5008> [in English].
 7. Vandenhove, H. & Turcanu, C. (2011). Agricultural land management options following large-scale environmental contamination. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 7 (3), 385–387. DOI: <https://doi.org/10.1002/ieam.234> [in English].
 8. Fagnano, M., Visconti, D. & Fiorentino, N. (2020). Agronomic approaches for characterization, remediation, and monitoring of contaminated sites. *Agronomy*, 10, 1335. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10091335> [in English].
 9. Hou, D., Qi, S., Zhao, B., Rigby, M. & O'Connor, D. (2017). Incorporating life cycle assessment with health risk assessment to select the 'greenest' cleanup level for Pb contaminated soil. *Journal of Cleaner Production*, 162, 1157–1168. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.135> [in English].
 10. Ma, Y., Dong, B., Bai, Y. et al. (2018). Remediation status and practices for contaminated sites in China: Survey-based analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 33216–33224. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3294-2> [in English].
 11. Chen, Y., Hou, D., Lu, C., Spain, J.C. & Luo, J. (2016). Selective enrichment of Geobacter species in activated carbon amended soils for enhanced anaerobic biodegradation of BTEX compounds. *Environmental Science & Technology*, 50 (17), 9400–9406. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b01840> [in English].
 12. Tarariko, M.Yu. (2015). Ekologichne ta ekonomichne obhruntuvannya imitatsii nykh modeliei aharnoho vyrobnytstva na radioaktyvno zabrudnennykh zemliakh Polissia [Ecological and economic justification of simulation models of agricultural production on radioactively contaminated lands of Polissia]. *Ekonomist — Economist*, (10), 43–45 [in Ukrainian].
 13. Tarariko, M.Yu. (2015). Ekonomichna ta enerhetychna efektyvnist system vidtvorennia ahroekologichnykh funktsii radioaktyvno zabrudnennykh dornovo-pidzolystrykh gruntiv [Economic and energy efficiency of systems for the reproduction of agroecological functions of radioactively contaminated podzolic soils]. *Naukovi Vistnyk Natsionalnoho Lisotekhnichnoho Universytetu Ukrainy — Scientific Bulletin of the National Forestry Technical University of Ukraine*, 25.7, 278–284 [in Ukrainian].
 14. Tarariko, M.Yu. (2015). Ekonomichna efektyvnist v systemi vidtvorennia ahroekologichnykh funktsii radioaktyvno zabrudnennykh dornovo-pidzolystrykh gruntiv [Economic efficiency in the system of reproduction of agroecological functions of radioactively contaminated podzolic soils]. *Tavriyskyi Naukovi Vistnyk — Tavria Scientific Bulletin*, 93, 260–265 [in Ukrainian].
 15. Broomandi, P., Guney, M., Kim, J.R. & Karaca, F. (2020). Soil contamination in areas impacted by military activities: A critical review. *Sustainability*, 12 (19), 9002. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12219002> [in English].
 16. Halaburda, S.O. (2021). Adaptatsiia silskogo hospodarstva do hlobalnykh klimat ychnykh [Adaptation of agriculture to global climate change zmin]. *Tendentsiyyi ta vyklyky sushasnoyi ahrarynoyi nauky: teoriya i praktyka: materialy III Mizhnarodnoyi nauково-praktychnoyi onlayn-konferentsiyi [Trends and challenges of modern agricultural science: theory and practice: materials of the 3rd International Scientific and Practical Online Conference]*. (pp. 72–74). Kyiv [in Ukrainian].
 17. Shourie, A., Singh, A., Choudhary, D.K., Mishra, A. & Varma, A. (Eds.). (2021). Impact of climate change on soil fertility. *Climate change and the microbiome: Soil biology*. (pp. 49–62). Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-76863-8_4 [in English].
 18. Pillai, M.M., Golub, E.S., Lokshin, M.M., Rakovyvych, O. & Ha, T.P. (2022). Ukraine — Building climate resilience in agriculture and forestry. World Bank Group. URL: <http://documents.worldbank.org/curated/en/893671643276478711/Ukraine-Building-Climate-Resilience-in-Agriculture-and-Forestry> [in English].
 19. Moldavan, L., Pimenowa, O., Wasilewski, M. & Wasilewska, N. (2023). Sustainable development of agriculture of Ukraine in the context of climate change. *Sustainability*, 15 (13), 10517. DOI: <https://doi.org/10.3390/su151310517> [in English].
 20. Cherez zmini klimatu na Polissii pochaly virosuvaty pivdenni kultury [Through climate change, southern crops began to be grown in Polissia]. *Ukrinform — Ukrinform*. (2020). URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3102052-cerez-zmini-klimatuna-polissi-pocali-virosuvati-pivdenni-kulturi.html> [in Ukrainian].
 21. United Nations Environment Programme (UNEP). (2022). The environmental impact of the conflict in Ukraine: A preliminary review. URL: <https://copilot>.

- microsoft.com/?wlexpsignin=1%2c1%2c1&setlang=uk&wlexpsignin=1 [in English].
22. Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K. et al. (Eds.). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2013). Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (p. 1535). Cambridge University Press [in English].
 23. Tarariko, M.Yu. (2015). Otsiniuvannia balansu elementiv zhivlennia v zerno-kartoplyaniy sivozmini za tradytsiynoyi ta alternativnoyi system udobrennia [Assessment of the balance of nutrients in a grain-potato crop rotation under traditional and alternative fertilization systems]. *Visnyk Ahrarnoi Nauky — Bulletin of Agricultural Science*, 93 (7), 71–74. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201507-15> [in Ukrainian].
 24. Chobotko, H.M., Kuchma, M.D., Raichuk, L.A. & Chayka, T.O. (Ed.). (2022). Reabilitatsiya radio-aktyvno zabludnenykh zemel Ukrainskoho Polissia [Rehabilitation of radioactively contaminated lands of the Ukrainian Polissia]. *Ekolohooriyentovani pidkhody vidnovlennya tekhnohenko zabrudnenykh terytoriy i stvorennia stalykh ekosystem: monohrafiya [Ecologically oriented approaches to the restoration of technologically polluted territories and the creation of sustainable ecosystems: a monograph]*. (pp. 361–379). Poltava [in Ukrainian].
 25. Chikov, I. (2018). Faktory pidvyshchennia konkurentospromozhnosti pidpriemstv APK na osnovi innovatsiynykh peretvoren [Factors for increasing the competitiveness of agricultural enterprises based on innovative transformations]. *Vcheni Zapisky TNU imeni V.I. Vernadskogo. Seriya: Ekonomika i upravlinnya — Scholarly Notes of TNU Named After V.I. Vernadsky. Series: Economics and Management*, 29 (68), (5), 113–117 [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 22.10.2024
