

**Інститут агроекології і природокористування
НААН України**

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

**ЩОДО ОПТИМІЗАЦІЇ
СИСТЕМИ ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ
РАДІОАКТИВНО ЗАБРУДНЕНОЇ ТЕРИТОРІЇ
УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ**



Київ – 2025

**ЧОБОТЬКО Г.М., РАЙЧУК Л.А., ШВИДЕНКО І.К.,
БАРАНОВСЬКА Н.А., УМАНСЬКИЙ М.С.**

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
ЩОДО
ОПТИМІЗАЦІЇ СИСТЕМИ
ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ
**РАДІОАКТИВНО ЗАБРУДНЕНОЇ ТЕРИТОРІЇ
УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ**

Київ
2025

УДК 631.6:504.054(477.2)(07)
DOI: 10.32782/978-617-8598-42-6

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Палана Н.В. — доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач сектору розвитку сільських територій Інституту агроєкології і природокористування НААН;

Скиба В.В. — доктор сільськогосподарських наук, доцент, завідувач кафедри безпеки безпеки життєдіяльності Білоцерківського національного аграрного університету.

*Рекомендації розглянуто і рекомендовано до друку рішенням вченої ради
Інституту агроєкології і природокористування НААН
(протокол № 2 від 22.08.2025 р.)*

Авторський колектив:

Чоботько Г.М., д.б.н., проф.; Райчук Л.А., к.с.-г.н., ст. досл.; Швиденко І.К., к.с.-г.н., ст. досл.; Барановська Н.А., к.с.-г.н.; Уманський М.С.

Методичні рекомендації щодо оптимізації системи землекористування радіоактивно забрудненої території Українського Полісся / Г.М. Чоботько, Л.А. Райчук, І.К. Швиденко, Н.А. Барановська, М.С. Уманський. — К.: НУБіП України, 2025. — 39 с.

ISBN 978-617-8598-42-6

Методичні рекомендації щодо оптимізації землекористування радіоактивно забруднених земель Українського Полісся спрямовані на забезпечення їх раціонального використання та відновлення агровиробничого потенціалу. Вони містять комплексну оцінку радіоекологічної критичності сільськогосподарських угідь за виносом радіонуклідів, що дозволяє визначити можливості повернення цих територій до господарського обігу. Зокрема, розглядається роль лісових насаджень у реалізації лісомеліоративних заходів і вирощуванні біоенергетичних культур для зниження радіоекологічних ризиків і підвищення екологічної стійкості. Запропоновано модельні сценарії агровиробничої діяльності, адаптовані до умов забруднених земель, а також розрахунково-прогнозні методи і комплексні критерії для оцінки рівня радіонуклідного забруднення та придатності територій до сільгоспвиробництва.

Рекомендації є практичним інструментом для органів центрального та місцевого управління у прийнятті оперативних рішень і розробленні коротко- та довгострокових стратегій відновлення регіону, а також цінним ресурсом для агропромислових підприємств, науковців і студентів природничих напрямків у дослідженнях і впровадженні інноваційних підходів.

УДК 631.6:504.054(477.2)(07)
DOI: 10.32782/978-617-8598-42-6

© Інститут агроєкології і
природокористування НААН, 2025

ISBN 978-617-8598-42-6

Зміст

Перелік умовних позначень і скорочень	4
ВСТУП	5
1 РЕТРОСПЕКТИВНИЙ АНАЛІЗ СЦЕНАРІЇВ АГРОВИРОБНИЧОЇ ДІЯЛЬНОСТІ В УМОВАХ РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ	6
1.1. Передумови виникнення сценарного підходу. Світовий досвід	6
1.2. Системи відновлення продукційного потенціалу ґрунтів на забруднених територіях як модельна основа сценаріїв агровиробничої діяльності на радіоактивно забруднених землях	10
1.3. Сценарії розвитку агроєкосистем як етап прогнозування змін у структурі землекористування	13
2 ОПТИМІЗОВАНІ МОДЕЛЬНІ СЦЕНАРІЇ АГРОВИРОБНИЧОЇ ДІЯЛЬНОСТІ	15
2.1. Загальна характеристика сценарного підходу та визначальні параметри сценаріїв агровиробничої діяльності	15
2.2. Рекомендовані оптимальні сценарії для різних умов землекористування	16
2.2.1. «Сучасна практика» (рослинницький напрямок)	18
2.2.2. «Молочне скотарство» (рослинницько-тваринницький напрямок)	19
2.2.3. «Біоенергетичний» (тваринницько-рослинницький напрямок)	20
2.2.4. «М'ясне скотарство» (тваринницький напрямок)	20
2.2.5. «М'ясне скотарство» (інтенсивний тваринницький напрямок)	21
3 ШЛЯХИ ОПТИМІЗАЦІЇ ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ: ПРАКТИЧНІ ОРІЄНТИРИ	22
3.1. Аналіз світового досвіду оптимізації структури землекористування на порушених землях	22
3.2. Оцінка перспективних шляхів оптимізації землекористування в Українському Поліссі	26
3.3. Оптимізація структури землекористування радіоактивно забрудненої території	28
3.4. Інтеграція структури землекористування радіоактивно забрудненої території і модельних сценаріїв агровиробничої діяльності.....	30
ВИСНОВКИ І ПЕРСПЕКТИВИ	34
Список використаних джерел	36

Перелік умовних позначень і скорочень

Бк (кБк) – бекерель ($\text{Бк} \cdot 10^3$), одиниця радіоактивності;

$\text{кБк}/\text{м}^2$ – щільність забруднення радіонуклідами, кілобеккерелів на квадратний метр території;

ГІС – геоінформаційна система;

ІСГП НААН – Інститут сільського господарства Полісся Національної академії аграрних наук України;

НААН – Національна академія аграрних наук України;

ООН – Організація об'єднаних націй;

с.-г. – сільськогосподарський;

ЧАЕС – Чорнобильська атомна електростанція;

^{90}Sr – радіоактивний ізотоп стронцію;

^{137}Cs – радіоактивний ізотоп цезію;

pH – показник кислотності ґрунту.

ВСТУП

Одним із найтриваліших і найскладніших наслідків аварії на Чорнобильській АЕС є радіоактивне забруднення сільськогосподарських угідь і природних екосистем, особливо на території Українського Полісся. Значні площі угідь було виведено з сільськогосподарського використання через загрозу надходження радіонуклідів до трофічних ланцюгів і, відповідно, до організму людини. Незважаючи на те, що з моменту катастрофи минуло майже чотири десятиліття, екологічні наслідки залишаються актуальними: у ряді адміністративних районів Житомирської, Рівненської, Київської областей зберігається підвищений вміст ^{137}Cs , ^{90}Sr і трансуранових елементів у ґрунтах. Це зумовлює необхідність постійного моніторингу та адаптивного підходу до землекористування.

Станом на 2024–2025 рр. до екологічних і радіологічних чинників додався новий потужний фактор – наслідки повномасштабної збройної агресії Російської Федерації проти України, що призвела до тимчасової втрати значної частини продуктивних сільськогосподарських земель півдня і сходу держави. Це обумовило загострення продовольчої кризи, зростання залежності від імпорту та зменшення експортного потенціалу України. Відновлення продуктивності агросектору потребує термінового залучення резервних земель, зокрема тих, які раніше були обмежені у використанні через радіоактивне забруднення. Українське Полісся розглядається сьогодні не лише як зона екологічного ризику, а і як стратегічний резервний простір для безпечного і контрольованого агровиробництва, здатного компенсувати часткові територіальні втрати без надмірного навантаження на середовище.

Водночас Україна залишається стороною численних міжнародних угод у сфері охорони довкілля, а курс на євроінтеграцію вимагає дотримання принципів сталого розвитку, екологічно дружнього землеробства та прозорих механізмів прийняття рішень у сфері землекористування. У цьому контексті постає завдання поєднання радіоекологічної безпеки, економічної ефективності та екологічної відповідальності, що стає ключовою вимогою при прийнятті рішень щодо реабілітації та повторного використання радіоактивно забруднених земель.

На основі результатів багаторічних досліджень агроєкологічного стану земель Полісся, а також досліджень у 2024–2025 рр., було запропоновано низку адаптивних сценаріїв агровиробничої діяльності, диференційованих за рівнем забруднення, типами ґрунтів і ресурсними можливостями. Аналіз сценаріїв базується на реальних польових і лабораторних даних та враховує такі параметри, як урожайність, накопичення ^{137}Cs у продукції, економічна рентабельність та здатність систем зменшувати дозові навантаження на населення. Також розроблено практичні підходи до оптимізації структури землекористування, що дозволяє мінімізувати ризики й підвищити продуктивність навіть у складних умовах.

У методичних рекомендаціях подано аналітичне обґрунтування доцільності залучення певних груп земель до агровиробництва, визначено оптимізовані модельні сценарії, що базуються на принципах ресурсоощадності, безпеки, економічної ефективності й відповідності сучасним європейським стандартам сталого сільського господарства. Запропоновані підходи можуть бути корисними для органів державного управління, місцевих громад, аграрних підприємств та експертного середовища, а також як навчальний матеріал для студентів природничих та сільськогосподарських спеціальностей.

1. РЕТРОСПЕКТИВНИЙ АНАЛІЗ СЦЕНАРІЇВ АГРОВИРОБНИЧОЇ ДІЯЛЬНОСТІ В УМОВАХ РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ

1.1. Передумови виникнення сценарного підходу. Світовий досвід

Після аварії на ЧАЕС у 1986 р. одним із першочергових завдань стало визначення придатності радіоактивно забруднених земель до подальшого сільськогосподарського використання. Оскільки природні процеси самоочищення від радіонуклідів є тривалими, а рівень забруднення значно варіює залежно від ґрунтових, кліматичних і антропогенних факторів, постала потреба в адаптивному підході до землекористування. Традиційні підходи, що ґрунтувалися на загальних нормативних обмеженнях, виявилися недостатньо ефективними для раціонального управління простором у межах Українського Полісся, де щільність радіоактивного забруднення навіть у межах одного населеного пункту або господарства могла змінюватися в десятки разів, не кажучи вже про попередньо визначені зони радіоактивного забруднення.

Інститути, що проводили радіоекологічні обстеження територій упродовж 1990-х – 2000-х рр., сформували уявлення про фонові рівні забруднення, проте з часом стало очевидним, що єдино правильного підходу до повернення земель у сільгоспобіг не існує. Природна неоднорідність ґрунтового покриву, відмінності у вологозабезпеченні, кислотності, наявності підґрунтових вод та агроєкологічна специфіка Полісся обумовили потребу в сценарному мисленні – тобто в аналізі й апробації кількох альтернативних шляхів використання земель, з урахуванням як біофізичних параметрів, так і соціально-економічних чинників.

Сценарний підхід виник як інструмент, що дозволяє не лише реагувати на вже наявну ситуацію, але й моделювати її зміни у випадку застосування різних систем агровиробництва. Він базується на порівнянні потенційних варіантів використання землі за визначеними параметрами: дозове навантаження, рівень накопичення радіонуклідів (переважно ^{137}Cs) у продукції, врожайність, економічна рентабельність, витрати на добрива, можливість ведення органічного або консерваційного землеробства тощо. За цей період площа території, де рівні забруднення ^{137}Cs перевищують чинні допустимі рівні, значно скоротилася (табл. 1.1). Майже на 90 % території України спостерігаються доаварійні рівні забруднення ^{90}Sr (табл. 1.2). Тому доцільним є повернення частини цих земель у виробничу сферу, що потребує відповідного наукового обґрунтування їх реабілітації. Особливо актуальним такий підхід став у сучасних умовах, коли воєнні дії на півдні та сході України призвели до тимчасової втрати значної частини продуктивних угідь, і виникла необхідність масового повернення до сільгоспобігу земель, які раніше перебували під обмеженнями.

Додатковим чинником, що посилив актуальність сценарного планування, стало посилення кліматичних змін, що впливають на стабільність агроєкосистем та підвищують ризик ерозії, зменшення вологості, деградації ґрунтів. Усе це вимагає моделювання не лише з точки зору радіоекологічної безпеки, а й агрокліматичної адаптації, ресурсозбереження, відповідності принципам Європейського зеленого курсу та євроінтеграційних екологічних зобов'язань України.

Таким чином, сценарний підхід став результатом поєднання екологічної необхідності, агротехнічної складності, соціоекономічного запиту та міжнародних екологічних стандартів, що сформували підґрунтя для методичного обґрунтування альтернативних систем землекористування на радіоактивно забруднених територіях.

У контексті формування сценарного підходу до оптимізації землекористування на радіоактивно забруднених землях Українського Полісся важливо враховувати не лише внутрішній досвід, але й напрацювання зарубіжних країн, де сценарне планування агровиробництва широко застосовується для відновлення порушених територій (табл. 1.3). Йдеться не лише про землі, уражені радіоактивним забрудненням, а й про ділянки, що постраждали внаслідок індустріального забруднення, надмірної агрохімізації, засолення,

знищення ґрунтового покриву через гірничодобувну діяльність, кліматичні екстремуми або тривале нераціональне використання.

Таблиця 1.1

Динаміка площ сільськогосподарських угідь, забруднених ^{137}Cs , тис. га

Область	Роки	Зони щільності забруднення ^{137}Cs , кБк/м ²			Зміна площі <185 кБк/м ²
		<185	185-555	>555	
Волинська	2011*	455,7	100,0	0	
	2025**	519,7	36,0	0	+64,0
Житомирська	2011*	842,0	3,8	0	
	2025**	844,4	1,4	0	+2,4
Київська	2011*	135,2	0,2	0	
	2025**	135,3	0,1	0	+0,1
Рівненська	2011*	466,9	0,1	0	
	2025**	467,0	0,0	0	+0,1
Чернігівська	2011*	1835,8	0,9	0	
	2025**	1836,4	0,3	0	+0,6
Усього по Україні	2011*	18956,9	5,0	0	
	2025**	18960,1	1,8	0	+3,2

*за даними ДУ «Держґрунтохорона»

**за розрахунковими даними

Таблиця 1.2

Динаміка площ сільськогосподарських угідь, забруднених ^{90}Sr , тис. га

Область	Роки	Зони щільності забруднення ^{90}Sr , кБк/м ²		Зміна площі <5,55 кБк/м ²
		<5,55	5,55-111	
Вінницька	2011*	1038,2	99,8	
	2025**	1098,7	39,3	+60,5
Житомирська	2011*	834,7	11,1	
	2025**	841,4	4,4	+6,7
Івано-Франківська	2011*	289,5	1,5	
	2025**	290,4	0,6	+0,9
Київська	2011*	258,4	1,6	
	2025**	259,4	0,6	+1,0
Рівненська	2011*	379,3	1,4	
	2025**	380,2	0,5	+0,9
Черкаська	2011*	796,4	8,8	
	2025**	801,7	3,5	+5,3
Чернігівська	2011*	1812,4	24,3	
	2025**	1827,1	9,6	+14,7
Усього по Україні	2011*	18343,8	51,2	
	2025**	18374,8	20,2	+31,0

*за даними ДУ «Держґрунтохорона»

**за розрахунковими даними

Таблиця 1.3
Аналіз досліджень з питань сценаріїв агровиробничої діяльності на забруднених (у т. ч. радіонуклідами) землях зарубіжжя

Країна	Ключові підходи	Моніторинг	Категорії використання земель	Ключові фактори, що враховуються
США	Рекомендації ЕРА, адаптації на рівні штатів, урахування практик місцевих громад	Довгостроковий моніторинг після ремедіації	Промислове, рекреаційне, житлове	Баланс економічних/соціальних інтересів та екологічних проблем і рівнів забруднення
Японія	Гнучкі системи підтримки прийняття рішень на основі ГІС, моделі переносу радіонуклідів	Моніторинг переносу радіонуклідів	Гнучкі, з урахуванням локальних факторів	Специфічні місцеві фактори, кліматичні зони, ерозія ґрунту, культури
Італія	Фокус на реабілітації, техніки фіторемердіації	Обмежений довгостроковий моніторинг	Не чітко визначені	Реабілітація забруднених ділянок
Чилі	Просторова система підтримки прийняття рішень для категоризації придатності земель	Вимоги до моніторингу не визначені	Придатні, ризиковані, непридатні зони	Ризики забруднювачів, вплив на екосистему та здоров'я
Китай	Стратегії використання земель на основі ремедіації, оцінка ризиків	Обмежений довгостроковий моніторинг	Базуються на ремедіації, соціально-економічному контексті	Локальні характеристики, соціально-економічний контекст, регуляторна політика
Бразилія	Інтегрований підхід до сталих практик, аналіз кейсів	Вимоги до моніторингу не визначені	Інтегрований підхід сталих практик	Інтегрований процес, а не вибіркове впровадження

У таких випадках сценарне планування дозволяє обрати оптимальну модель агровиробничої діяльності з урахуванням не лише ступеня порушеності ґрунтів, але й можливостей їх реабілітації, соціально-економічного контексту та екологічних обмежень. Розробка сценаріїв передбачає поєднання просторового аналізу, моделювання продукційного потенціалу, оцінки екологічних ризиків і визначення економічної доцільності ведення господарства. Такий досвід має особливу цінність для України, де необхідно не просто повернути землі в обіг, а зробити це безпечно, ефективно й у відповідності до міжнародних стандартів екологічної відповідальності.

Сценарії агровиробничої діяльності є важливим інструментом планування та оптимізації сільськогосподарського виробництва, що дозволяє враховувати різноманітні фактори – від технологій вирощування культур до зовнішніх умов, таких як кліматичні зміни чи ринкова кон'юнктура. Вони представляють собою не просто абстрактні моделі, а практичні інструменти управління, спрямовані на мінімізацію ризиків і підвищення ефективності агровиробництва. Особливість цих сценаріїв полягає в тому, що вони завжди враховують специфіку конкретного регіону – його історично сформовані умови, екологічні проблеми та соціально-економічні виклики. Наприклад, у США питання планування землекористування на федеральному рівні регулюються Агентством з охорони навколишнього середовища (EPA), проте на рівні окремих штатів чи територій корінних народів можуть застосовуватися інші підходи, що відображають місцеві особливості та традиції [25].

Важливим аспектом розробки агровиробничих сценаріїв є управління забрудненими або порушеними землями. Дослідження, проведені EPA, показали, що основні принципи планування таких територій включають пошук балансу між економічними, соціальними та екологічними цілями, а також тісний зв'язок між допустимим використанням землі та рівнями її забруднення [23]. Зокрема, виділяються три основні категорії земель: промислові, рекреаційні та житлові, кожна з яких має свої обмеження. Наприклад, промислові зони передбачають обмежений доступ і заборону на використання ґрунтових вод, тоді як житлові – дозволяють постійне проживання, але іноді з певними обмеженнями, такими як заборона на вирощування овочів або використання місцевих водних ресурсів [55].

Міжнародний досвід свідчить про різноманітність підходів до вирішення проблем забруднених земель. В Італії, наприклад, для прогнозування змін землекористування використовувалася модель Dyna-CLUE, яка дозволила порівняти два сценарії розвитку: інерційний, що передбачав подальшу урбанізацію та скорочення сільськогосподарських угідь, і стійкий, орієнтований на впровадження фітореMediaції та альтернативних сільськогосподарських культур [44]. У Чилі застосовувалася геопросторова система підтримки прийняття рішень (S-DSS), яка дозволила класифікувати землі на придатні, ризиковані та непридатні для різних видів використання, з акцентом на відновлення зелених зон як пріоритетного напрямку [40]. У Японії для управління радіоактивно забрудненими територіями використовуються ГІС-системи, що враховують локальні особливості, такі як тип ґрунтів, кліматичні умови та специфіку сільськогосподарських культур [59]. У Китаї та Бразилії стратегії ремедіації ґрунтуються на оцінці ризиків, але часто не включають довгостроковий моніторинг, що може обмежувати їхню ефективність [13, 30, 37, 62].

Окремої уваги заслуговують питання відновлення земель, порушених внаслідок військових дій. Дослідження, проведені у Франції на територіях, які зазнали руйнувань під час Першої світової війни, показали, що навіть через століття ґрунти не повністю відновили свою продуктивність, а їхній стан залишається неоднорідним через мікротопографічні особливості, створені військовими діями [31]. У таких умовах важливим є не лише оцінка рівня забруднення, але й аналіз мобільності забруднювачів, їхньої біодоступності та потенційного впливу на здоров'я людей, що часто ігнорується у стандартних підходах до оцінки ризиків [12].

У контексті України особливе значення мають дослідження, проведені в зоні Полісся, зокрема роботи Інституту сільського господарства Полісся, які дозволили розробити

ефективні агровиробничі сценарії для умов радіоактивного забруднення [2-6]. Власне, ці дослідження і стали головною теоретичною основою цієї розробки. При цьому важливо розрізнити поняття моделей аграрного виробництва, які є більш теоретичними і включають різноманітні фактори (клімат, ґрунт, економічні умови), та агровиробничих сценаріїв, які орієнтовані на практичну реалізацію конкретних заходів, таких як сівоzmіни, фіторе mediaція чи адаптація до специфічних умов забруднення.

Таким чином, розробка ефективних агровиробничих сценаріїв вимагає комплексного підходу, що поєднує наукові методи моделювання, врахування локальних умов та міжнародний досвід. Особливу увагу слід приділяти управлінню забрудненими та порушеними землями, де ключовим є баланс між економічною доцільністю, екологічною безпекою та соціальними потребами. Майбутні дослідження мають бути спрямовані на вдосконалення методів оцінки ризиків, розробку адаптивних стратегій та інтеграцію сучасних технологій, таких як геопросторові системи, для забезпечення сталого розвитку агровиробництва в умовах змін.

1.2. Системи відновлення продукційного потенціалу ґрунтів на забруднених територіях як модельна основа сценаріїв агровиробничої діяльності на радіоактивно забруднених землях

Наші дослідження, засновані на багаторічних даних Інституту сільського господарства Полісся, охоплюють традиційні та альтернативні моделі аграрного виробництва як основу для розробки агровиробничих сценаріїв на радіоактивно забруднених землях Українського Полісся. Ключовим фактором ефективності цих сценаріїв є управління органічною речовиною в агроecosистемах, яке включає як традиційне використання гною, так і альтернативні органічні добрива з побічної продукції рослинництва та сидеральних культур. Оптимальне співвідношення гуміфікації та мінералізації виявляється критично важливим для відновлення родючості забруднених земель. Десятирічні дослідження [2, 5-6] демонструють, що органічної речовини кореневих і післязбиральних решток культур зерно-просапної сівоzmіни достатньо для компенсації мінералізованого гумусу навіть на природному фоні (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Надходження в ґрунт сухої органічної речовини та гуміфікація, т/га

*КГ – коефіцієнт гуміфікації

Першочерговим засобом регулювання родючості ґрунтів є системи удобрення в сівоzmіні. Дерново-підзолисті ґрунти демонструють швидший відновлювальний потенціал порівняно з чорноземами, особливо в умовах стабільного зволоження. Традиційна реабілітація передбачає застосування органічних добрив до 10 т/га та мінеральних до 200 кг д.р./га, з дотриманням принципу "розумної достатності" для мінімізації негативного впливу на довкілля. Альтернативні підходи пропонують використання побічної продукції та сидератів у поєднанні з мінеральними добривами у співвідношенні 1 т органіки до 15 кг д.р. мінеральних добрив. Для підтримання родючості ґрунтів та підвищення врожайності рекомендовано комплексне застосування органо-мінеральних добрив, мікродобрив та бактеріальних препаратів (ризобіфіт, ризогумін, діазобактерин, азотобактерин, агробактерин, фосфоентерин тощо). Дослідження підтверджують, що для досягнення

бездефіцитного балансу гумусу на дерново-підзолистих ґрунтах необхідне внесення органічних добрив у кількості 10 т/га, при цьому збалансоване використання органічно-мінеральних добрив не лише стабілізує врожайність, але й знижує накопичення радіонуклідів у рослинній продукції.

Важливим аспектом є динаміка міграції ^{137}Cs , яка тісно пов'язана з водною ерозією та дефляцією. Найбільша міграція радіонуклідів спостерігається на орних землях, значно менша – на лукопасовищах і практично відсутня в лісових масивах. Це обумовлює необхідність формування екологічно оптимізованої структури угідь як основи організації землекористування на забруднених територіях. Перехід на адаптивно-ландшафтну систему землеробства дозволяє значно знизити радіоактивне забруднення продукції, а вибір культур і сортів з низьким накопиченням ^{137}Cs може зменшити забрудненість продукції у 2-3 рази.

Кліматичні зміни суттєво вплинули не лише на ґрунтовідновні процеси, але й на інтенсивність міграції елементів у ґрунті та їх засвоєння рослинами, а також змінили видовий склад рослинності регіону, включаючи перелік придатних до вирощування сільськогосподарських культур. Це вимагає перегляду існуючих сільськогосподарських практик. Підвищення середньорічних

температур створило нові можливості для реалізації ресурсного потенціалу Полісся [2]. Потенціал традиційних культур Полісся в нових кліматичних умовах, особливо на радіоактивно забруднених землях, що повертаються до сільськогосподарського використання, значно перевищує поточні середньорічні показники (рис. 1.2). Дослідження свідчать, що продуктивність меліорованих земель у гумідній зоні може бути підвищена щонайменше удвічі.

Хоча зростання частки зливових опадів може дещо знижувати потенційну врожайність, загальний вплив кліматичних змін на аграрний сектор Полісся України оцінюється як позитивний. Регіон залишається сприятливим для вирощування ріпаку та озимих зернових, зокрема пшениці, а також для таких нетипових культур як кукурудза на зерно, соняшник і соя. Водночас спостерігається зменшення посівних площ традиційних просапних культур – цукрових буряків і картоплі. Підвищена інтенсивність вітрової та водної ерозії ґрунту вимагає впровадження інноваційних технологій, зокрема точного землеробства. Крапельне зрошення та методи обробітку ґрунту (No-Till, Mini-Till і Strip-Till), що зберігають вологу та природну структуру ґрунту, дозволяють підтримувати оптимальний стан полів і досягати високої врожайності навіть в умовах екстремальних температур.

Особливої уваги вимагає реабілітація ґрунтів, пошкоджених бойовими діями, особливо в Житомирському та Київському Поліссі. Зміна ландшафтів і їх перетворення на деградаційні, комплексне порушення ґрунтового покриву вимагають принципово нового інноваційного підходу до планування агровиробничої діяльності. Перспективними напрямками є вирощування енергетичних культур, збільшення площі лук та пасовищ, а також зміна структури агроландшафту зі збільшенням частки заліснених земель та земель під садами і ягідниками. Складне соціально-економічне становище вимагає впровадження

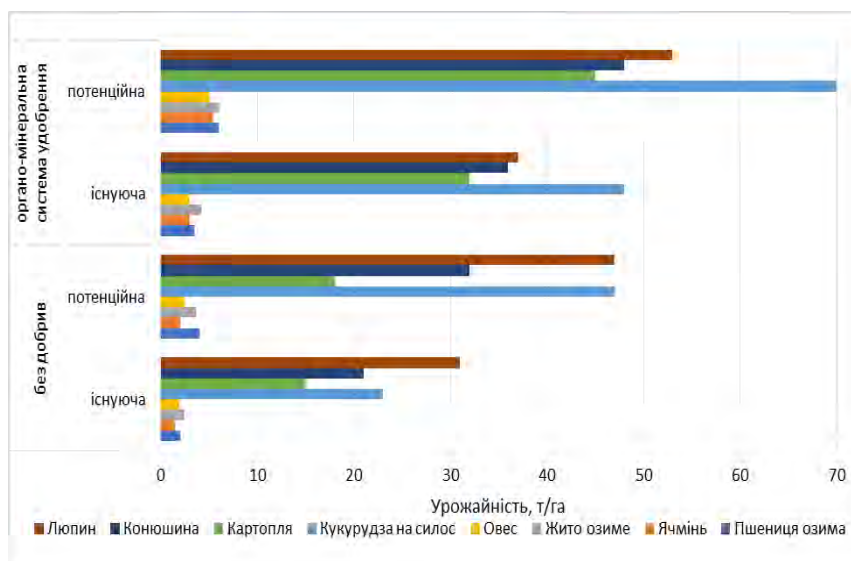


Рис. 1.2. Фактична та потенційна урожайність сільськогосподарських культур в умовах Полісся [2]

ресурсо- та енергозберігаючих сценаріїв агровиробництва, узгоджених з вимогами Європейського зеленого курсу.

На основі багаторічних досліджень Інституту сільського господарства Полісся було розроблено п'ять основних сценаріїв агровиробничої діяльності (рис. 1.3), які логічно впливають із попередніх досліджень систем відтворення агроекологічних функцій ґрунтів:

- Сценарій №1 "Сучасна практика" (рослинницький напрям);
- Сценарій №2 "Молочне скотарство" (рослинницько-тваринницький напрям);
- Сценарій №3 "Біоенергетичний" (тваринницько-рослинницький напрям);
- Сценарій №4 "М'ясне скотарство" (тваринницький напрям);
- Сценарій №5 "М'ясне скотарство" (інтенсивний тваринницький напрям).

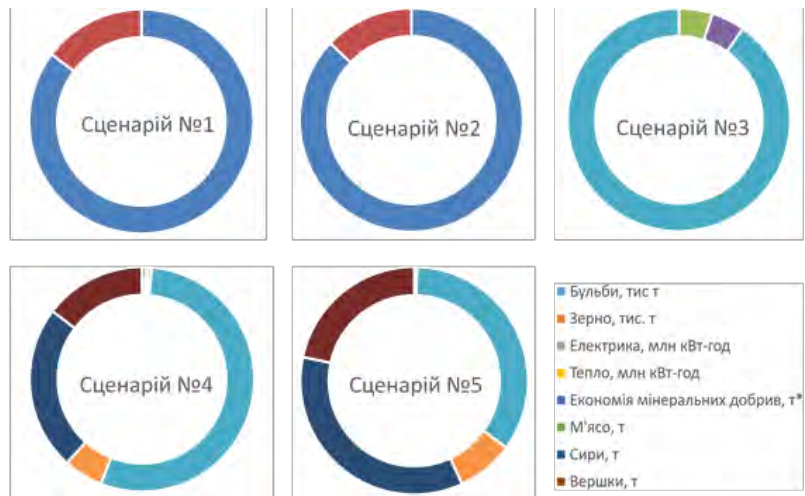


Рис. 1.3. Виробництво продукції на 1 тис. га за сценаріями агровиробничої діяльності [3]

Аналіз цих сценаріїв * аміачна селітра, суперфосфат, калій хлористий показує, що кожен з них має свої переваги та обмеження в умовах радіоактивного забруднення, воєнних наслідків та кліматичних змін. Традиційні системи (сценарії №1 і №2) відзначаються стабільністю та здатністю підтримувати родючість ґрунтів, але залежать від стабільного постачання ресурсів. Альтернативні сценарії (№3-5) демонструють вищу енергетичну ефективність і потенціал для воєнного та повоєнного періодів, проте вимагають значних інвестицій і технологічного супроводу.

Особливістю реабілітації земель, пошкоджених бойовими діями, є необхідність поєднання традиційних і альтернативних підходів. Традиційні системи можуть виявитися недостатньо ефективними через ґрунтову деградацію, тоді як альтернативні сценарії з акцентом на лукопасовища і енергетичні культури демонструють більший потенціал. Кліматичні зміни, з одного боку, розширюють можливості за рахунок подовження вегетаційного періоду, з іншого – вимагають адаптації до ерозійних процесів і дефіциту води через впровадження водозберігаючих технологій.

Економічні обмеження воєнного та повоєнного періодів роблять найбільш реалістичними сценарії №1 і №2, проте з погляду довгострокової стійкості та екологічної безпеки перевагу слід надавати сценаріям №3-5. Оптимальним рішенням є поєднання елементів традиційних і альтернативних підходів з урахуванням конкретних локальних умов. Такі інтегровані системи повинні включати:

- консерваційне землеробство з елементами No-Till та використанням органічних добрив
- адаптоване органічне агровиробництво з біологічними методами захисту рослин
- системи водозбереження та раціонального використання ресурсів
- агролісництво для підвищення стійкості екосистем

Таким чином, розробка ефективних сценаріїв агровиробничої діяльності на радіоактивно забруднених землях вимагає комплексного підходу, що поєднує наукові розробки систем відновлення ґрунтів, адаптацію до кліматичних змін та врахування соціально-економічного контексту. Найбільш перспективним є поєднання переваг традиційних і альтернативних систем, що дозволить забезпечити як економічну ефективність, так і екологічну стійкість агровиробництва в умовах множинних викликів.

1.3. Сценарії розвитку агроєкосистем як етап прогнозування змін у структурі землекористування

Сучасні кліматичні зміни та наслідки бойових дій створюють комплексні виклики та нові можливості для аграрного сектору Полісся України. За останні десятиліття в регіоні зафіксовано зростання середньорічної температури, збільшення суми ефективних температур, підвищення кількості опадів (особливо зливого характеру) та посилення континентальності клімату. Ці зміни мають суперечливий вплив: з одного боку, вони розширюють агрокліматичний потенціал, з іншого – створюють нові ризики для сільського господарства. Серед ключових лімітуючих факторів слід виділити весняні приморозки, екстремальні температури під час вегетації, дисбаланс вологозабезпечення, пилові бурі, гради та буревії [1], які суттєво впливають на стабільність агроєкосистем.

Кліматичні зміни трансформують ґрунтові процеси та рослинні угруповання, змінюючи динаміку міграції хімічних елементів у ґрунтах та їх доступність для рослин [45, 51, 54]. Це супроводжується зміною видового складу рослинності, що вимагає перегляду традиційних аграрних практик [8, 61]. Зростання температур створило нові умови для реалізації продуктивного потенціалу ґрунтів [2, 39], хоча збільшення інтенсивності зливових опадів може частково компенсувати цей позитивний ефект. У нових кліматичних реаліях Полісся залишається сприятливим для вирощування традиційних культур – ріпаку та озимих зернових (особливо пшениці), при цьому спостерігається розкриття біопотенціалу ґрунтів для нових культур: кукурудзи на зерно, соняшника та сої [41, 56, 57]. Паралельно скорочуються площі під традиційними просапними культурами – цукровими буряками та картоплею, що пов'язано зі змінами водного і температурного режимів. Значним викликом залишається посилення ерозійних процесів, що вимагає впровадження інноваційних агротехнологій: крапельного зрошення, систем мінімального обробітку ґрунту (No-Till, Mini-Till, Strip-Till) [17, 38]. Особливої уваги потребують наслідки бойових дій – деградація ґрунтів та трансформація ландшафтів, що вимагають нових підходів до планування агровиробництва [22].

У контексті міжнародних кліматичних зобов'язань України найімовірнішим сценарієм розвитку подій є *RCP 8.5* ("бізнес як звичайно") [21, 27, 47], що пов'язано з обмеженими можливостями для "зеленого" переходу в умовах війни. Цей сценарій передбачає:

- продовження залежності від викопного палива через руйнування інфраструктури та економічну нестабільність [9];
- складності у впровадженні екологічних ініціатив через пріоритетність військових потреб [47];
- використання традиційних технологій при відновленні;
- збільшення антропогенного навантаження через міграційні процеси;
- ускладнення кліматичної політики через політичну нестабільність.

Альтернативні сценарії включають:

- *Регіональний конфлікт*: локальні екологічні наслідки через руйнування інфраструктури, пожежі, забруднення [53];
- *Економічний колапс*: тимчасове зниження викидів з подальшим різким зростанням під час відновлення [14].

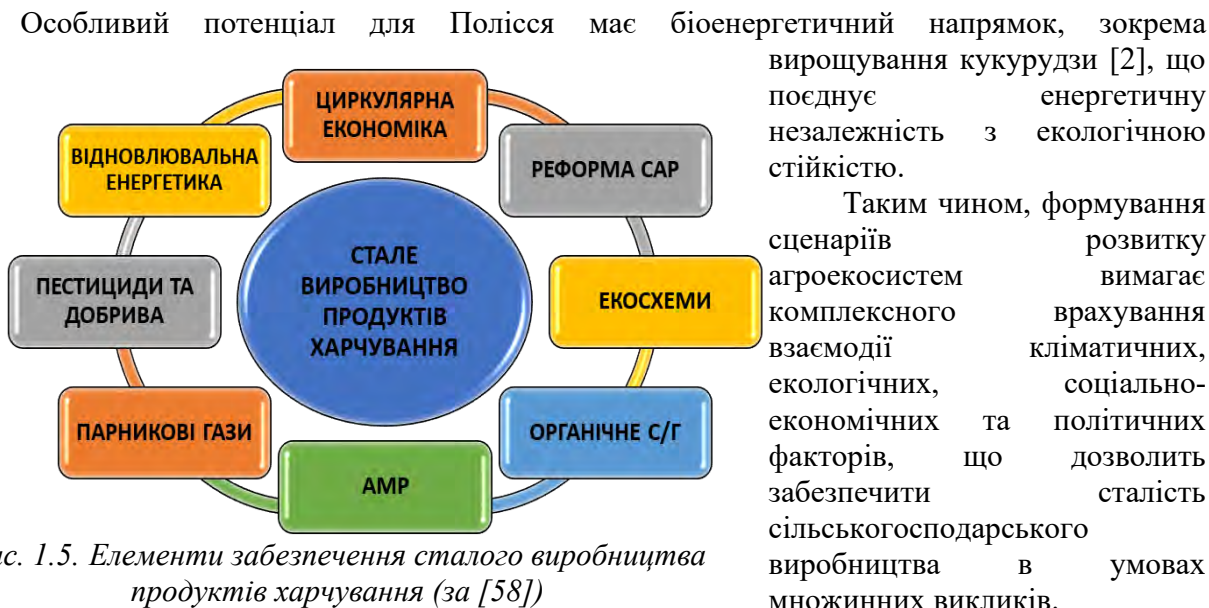
Слід зазначити, що короткострокове зниження викидів CO₂ під час війни може бути компенсоване зростанням виробництва в інших регіонах світу. Дослідження [35, 49] підтверджують складний взаємозв'язок між викидами вуглецю, економічним зростанням і технологічними інноваціями, де розвинені країни демонструють тенденцію до відокремлення економічного зростання від викидів, тоді як країни, що розвиваються, цієї тенденції не показують.

Для комплексного аналізу розвитку агроєкосистем на радіоактивно забруднених землях Полісся необхідно враховувати взаємодію шести ключових факторів (рис. 1.4):

- радіоактивне забруднення та обмеження у виборі культур;

- кліматичні зміни, що трансформують спеціалізацію рослинництва та тваринництва;
- наслідки бойових дій (екологічні порушення та обмеження доступу);
- соціальні чинники (міграція, навантаження на екосистемні послуги);
- економічні умови (державний та регіональний рівні, транскордонні зв'язки);
- міжнародні екологічні зобов'язання ("зелений" курс, кліматичні угоди).

Відповідно до концепції сталого харчового виробництва ООН [58], розвиток агроекосистем має ґрунтуватися на принципах циркулярної економіки, відновлювальної енергетики, раціонального використання пестицидів та добрив, контролю викидів парникових газів. Якщо точніше, то розвиток і ефективне використання агроекосистем повинне забезпечити стале виробництво якісних продуктів харчування в рамках міжнародних екологічних зобов'язань нашої держави. Відповідно до Саміту продовольчих систем ООН у вересні 2021 р., забезпечення сталого виробництва продуктів харчування реалізується через взаємодію цілого комплексу різних чинників: циркулярна економіка, відновлювальна енергетика, пестициди та добрива, урахування емісії парникових газів, урахування антимікробної резистентності (АМР), органічне сільське господарство, екосхеми (екологічні ініціативи), реформа Спільної аграрної політики (САР) Європейського Союзу тощо (рис. 1.5).



Особливий потенціал для Полісся має біоенергетичний напрямок, зокрема вирощування кукурудзи [2], що поєднує енергетичну незалежність з екологічною стійкістю. Таким чином, формування сценаріїв розвитку агроекосистем вимагає комплексного врахування взаємодії кліматичних, екологічних, соціально-економічних та політичних факторів, що дозволить забезпечити сталість сільськогосподарського виробництва в умовах множинних викликів.

2. ОПТИМІЗОВАНІ МОДЕЛЬНІ СЦЕНАРІЇ АГРОВИРОБНИЧОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

2.1. Загальна характеристика сценарного підходу та визначальні параметри сценаріїв агровиробничої діяльності

Розробляючи стратегії для реабілітації радіоактивно забруднених територій Полісся, ми стикаємося з комплексом взаємопов'язаних проблем, які потребують цілісного, системного підходу. Важливо розуміти, що ці землі несуть на собі відбиток як історичних помилок у веденні сільського господарства, так і наслідків катастрофи на Чорнобильській АЕС, які переплелися з сучасними викликами – кліматичними змінами та наслідками війни.

Основа нашого підходу полягає у розгляді агроєкосистем як динамічних комплексів, де кожен елемент впливає на інший. Ми не можемо говорити про радіаційну безпеку, ігноруючи стан ґрунтів, або планувати сільськогосподарське виробництво, не враховуючи соціально-економічний контекст регіону. Саме тому сценарний підхід виявляється найбільш адекватним – він дозволяє моделювати різні варіанти розвитку подій з урахуванням усіх цих факторів.

Ключовим моментом у нашій роботі стало визначення чотирьох основних параметрів, які формують "каркас" будь-якого сценарію. Перший – це рівень інтенсивності господарювання, де ми розрізняємо традиційні, інтенсивні та ремедіаційні моделі. Другий параметр стосується спеціалізації – чи буде це класичне рослинництво, комбіновані системи чи орієнтація на біоенергетику. Третій, найважливіший – рівень радіаційного ризику, який визначає допустимі види діяльності. І нарешті, економічна доцільність, без якої будь-які, навіть найпрогресивніші ідеї, залишаться на папері. Таке багатовимірне моделювання ґрунтується на аналізі історично сформованих проблем регіону та сучасних викликів, що включають:

- *агроєкологічні фактори* (наслідки інтенсивного сільськогосподарського використання (меліорація, хімізація, надмірна розораність), зміни біорізноманіття, у т.ч. через скорочення лісових масивів, тощо);
- *радіаційний вплив* (особливості міграції радіонуклідів у різних типах ландшафтів, довгострокова динаміка радіоактивного забруднення, диференційовані нормативи землекористування);
- *кліматичні зміни* (зсуви температурного режиму та водного балансу, збільшення частоти екстремальних явищ (епіфітотії, лісові пожежі), необхідність адаптації ротації культур);
- *антропогенні фактори* (наслідки воєнних дій (додаткове забруднення, руйнування інфраструктури), демографічні зміни та міграційні процеси, економічна трансформація регіону).

Особливу увагу ми приділили принципу каскадної адаптації. Досвід показує, що жорсткі, негнучкі рішення в таких складних умовах часто виявляються неефективними. Натомість поетапне впровадження заходів з постійним моніторингом і можливістю коригування дозволяє знаходити оптимальні шляхи для кожного конкретного господарства чи території.

Інновації, в цьому контексті, – це життєва необхідність. Ми бачимо, як аграрії вже зараз активно впроваджують новітні розробки – від радіостійких сортів до систем точного землеробства. Це не капіталовкладення "на випадок", а інвестиції у виживання та розвиток у надзвичайно складних умовах. Ключові напрями інновацій включають:

- біологічні інновації,
- технологічні рішення,
- управлінські механізми.

Важливо зазначити, що жоден, навіть найдосконаліший сценарій не буде працювати без урахування людського фактору. Соціальні аспекти – міграція, зайнятість, якість життя місцевого населення – це не додаток до екологічних заходів, а їх невід'ємна складова. Саме тому наш підхід передбачає обов'язкову участь місцевих громад у процесі прийняття рішень.

Визначальні параметри сценаріїв агровиробничої діяльності включають:

- *рівень інтенсивності* (традиційні системи з обмеженим втручанням, інтенсивні технології з елементами точного землеробства, відновлювальні (ремедіаційні) моделі);
- *спеціалізація* (рослинницькі системи, тваринницько-рослинницькі комплекси, біоенергетичні кластери);
- *рівень радіаційного ризику* (жорсткі обмеження для зон високого забруднення, диференційовані підходи для зон помірного забруднення, оптимізовані моделі для реабілітованих територій);
- *економічна доцільність* (ресурсозберігаючі моделі, інноваційні високотехнологічні системи, комбіновані підходи).

Особливу увагу при розробці сценаріїв приділено принципу каскадної адаптації, який передбачає: поетапне впровадження заходів, регулярний моніторинг ефективності, гнучкість у коригуванні стратегій, урахування локальної специфіки,

На завершення варто підкреслити, що розроблені нами сценарії – це не догма, а живий інструмент, який має постійно вдосконалюватися. Клімат змінюється, технології розвиваються, соціально-економічна ситуація трансформується – і наші підходи повинні бути достатньо гнучкими, щоб відповідати цим змінам. Саме в цьому, на нашу думку, полягає сучасне розуміння сталого розвитку територій з особливими умовами господарювання.

2.2. Рекомендовані оптимальні сценарії для різних умов землекористування

Нами було модифіковано моделі агропромислового виробництва у відповідні сценарії (табл. 2.1) відповідно до основних розглянутих вище чинників:

1. *Вплив кліматичних змін*

- Введення культур, стійких до змін кліматичних змін, таких як соя, соняшник, гречка, міскантус, верба, допомагає адаптуватися до нових кліматичних умов і зменшити ризики, пов'язані з новими погодно-кліматичними умовами.

2. *Адаптація сільськогосподарських практик*

- Використання мінімального обробітку ґрунту, безвідвального та комбінованого обробітку допомагає зберегти структуру ґрунту, зменшити ерозію та зберегти вологу.
- Використання технологій точного землеробства та ГІС-технологій для моніторингу стану ґрунту і посівів.
- Органо-мінеральна система удобрення (гній + NPK) та органічна система удобрення (гній) сприяють покращенню родючості ґрунту.

3. *Перспективи вирощування сільськогосподарських культур*

- Введення нових культур, таких як соя, соняшник, гречка, міскантус, верба, дозволяє диверсифікувати виробництво та підвищити його стійкість до змін клімату.

4. *Виклики ерозії та деградації ґрунтів*

- Використання покривних та проміжних культур допомагає зберегти структуру ґрунту, зменшити ерозію та покращити водний баланс.
- Мінімізація обробітку ґрунту.
- Використання методів фітореємедіації і фітодеградації.
- Відновлення порушених ділянок шляхом посіву багаторічних трав і залісення допомагає відновити екосистему.

5. *Соціально-економічні та інноваційні рішення*

- Використання біогазових установок для переробки гною на енергію зменшує витрати на енергоносії та покращує екологічну ситуацію.
- Використання дронів для моніторингу стану посівів і тварин сприяє підвищенню ефективності управління.

Таблиця 2.1.
Оптимізація модельних сценаріїв агровиробничої 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
Сценарій № 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
Сценарій № 2 “Молочне скотарство”	Введення культур, стійких до змін клімату (кукурудза, овес, люпин, тритикале)	Традиційна органо-мінеральна система удобрення (гній + NPK)	Кукурудза, овес, люпин, тритикале	Використання місцевих кормів на початкових стадіях відгодівлі	Підвищення продуктивності дійних корів, потреба в інвестиціях
Сценарій № 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
Сценарій № 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
Сценарій № 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

Для зон з помірним забрудненням та обмеженими фінансовими можливостями найбільш прийнятним є Сценарій №1 ("Сучасна практика"). Його сильні сторони – низька капіталомісткість та акцент на культури з мінімальним накопиченням радіонуклідів (соя, гречка, соняшник). Однак його ефективність обмежена в умовах сильних ґрунтових порушень.

Господарствам із розвинутою кормовою базою варто розглянути Сценарій №2 ("Молочне скотарство"), який поєднує традиційні підходи з обмеженим використанням інновацій. Особливістю цієї моделі є можливість поступової інтенсифікації при залученні додаткових інвестицій.

Найбільший інноваційний потенціал мають Сценарії №3 ("Біоенергетичний") та №5 ("Інтенсивне тваринництво"), які, однак, вимагають значних капіталовкладень. Вони особливо актуальні для господарств із доступом до ринків збуту біопалива та преміум-сегменту м'ясо-молочної продукції.

Культури, що дають найбільший внесок у продуктивність рекомендованої зональної сівозміни на всіх фонах удобрення: пшениця озима, кукурудза, картопля, конюшина або люпин. Однак, якщо розглядати сучасну поширену практику ведення аграрного виробництва без застосування добрив і без галузі тваринництва, (сценарій №1) [3], то за таких умов зелену масу кормових культур вирощувати недоцільно, відповідно залишаються лише культури, що дають товарну продукцію на реалізацію: зернові і картопля (рис. 2.1). За такої спеціалізації сільськогосподарського підприємства потрібно мати відповідний комплекс сільськогосподарської техніки, що дає змогу здійснити обробіток ґрунту, посів, догляд за посівами, збирання і транспортування отриманої продукції. Капітальні витрати за цими статтями є необхідною умовою створення та успішної діяльності сільськогосподарського підприємства за всіма 5-ма сценаріями.

Важливим висновком є те, що жоден зі сценаріїв не є універсальним рішенням. Оптимальна стратегія передбачає поєднання елементів різних моделей з урахуванням конкретних умов господарства та динамічне коригування у міру поліпшення стану ґрунтів і зміни ринкових умов.

2.2.1. «Сучасна практика» (рослинницький напрямок)

Сценарій імітує поширену сучасну практику спеціалізації без тваринництва і добрив, сівозміна зерно-картопляна з культур із урожайністю пшениці озимої і картоплі відповідно 2,5 і 15 т/га. У післявоєнних умовах за відсутності достатнього фінансування є найбільш реалістичною впродовж деякого часу (за відсутності іноземних інвестицій).

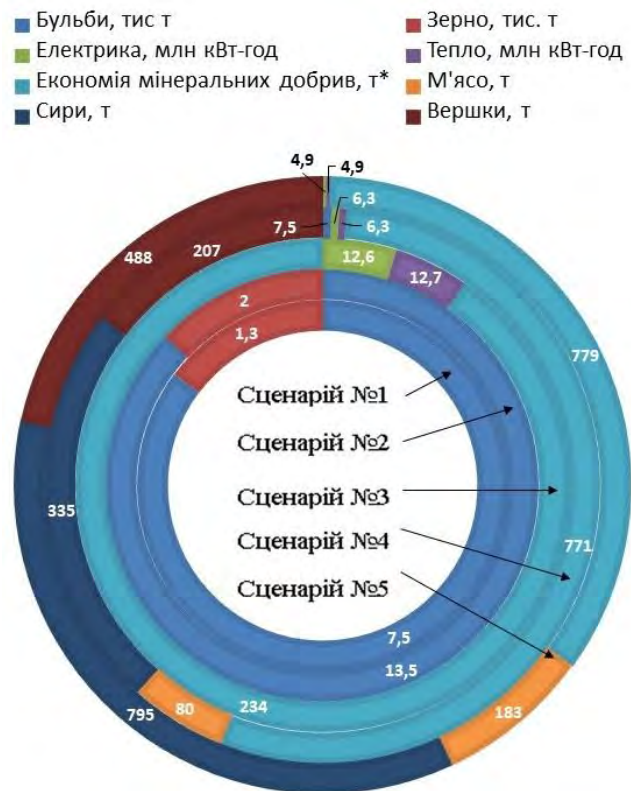


Рис. 2.1. Виробництво продукції на 1 тис. га за сценаріями агровиробничої діяльності
* аміачна селітра, суперфосфат, калій хлористий [3]

Модифікація

Введення/заміна культур. Введення культур, які стали можливими для вирощування через кліматичні зміни та мають меншу здатність накопичувати радіонукліди. Наприклад соя (стійка до змін клімату, висока продуктивність, менше накопичує радіонукліди), соняшник (добре росте в умовах потепління, використовується для фітореMediaції), гречка (стійка до посухи, має короткий вегетаційний період, менше накопичує радіонукліди). Сівозміна: пшениця озима – картопля – соя – соняшник – гречка.

Технології обробітку. Мінімальний обробіток ґрунту (збереження структури ґрунту та зменшення ерозії), безвідвальний обробіток (зменшення витрат на паливо та техніку, збереження вологості в ґрунті).

Інноваційні технології у випадку застосування цього сценарію будуть малодоступні з фінансових причин.

Зміна удобрення. За умов нестачі коштів доцільно використовувати рослинні рештки для часткового повернення органічної речовини в ґрунт.

ФітореMediaція передбачає використання соняшника та гірчиці для поступового очищення ґрунтів від важких металів та радіонуклідів.

Створення *лісових смуг* для захисту ґрунтів від ерозії та покращення мікроклімату.

У випадку значного порушення ґрунтового покриву бойовими діями доцільно розглянути можливість закладання *садів і ягідників* з посівами трав (конюшина, люцерна) у міжряддях для додаткового доходу та покращення ґрунту.

Загалом, у зв'язку з нестачею коштів модифікація цього сценарію полягає переважно у заміні сільгоспкультур, використанні мінімального чи комбінованого обробітку ґрунту та коригуванні структури угідь за спеціалізацією відповідно до ступеня і природи порушення ґрунтового покриву.

2.2.2. «Молочне скотарство» (рослинницько-тваринницький напрямок)

Сівозміна: кукурудза, овес, люпин, тритикале з врожайністю культур на варіанті досліду з традиційною органо-мінеральною системою удобрення (Гній+NPK). Продуктивність дійних корів та щільність поголів'я ВРХ відповідає наявній кормовій базі та складає відповідно 4 тис. кг молока на рік та 1,1 ум. гол./га. Доцільна лише на радіологічно безпечних територіях та з урахуванням підбору рослин травостою для ВРХ.

Модифікація

Введення/заміна культур. Введення культур, які стали можливими для вирощування через кліматичні зміни та мають меншу здатність накопичувати радіонукліди. Сівозміна: кукурудза (основна кормова культура для ВРХ) - овес (додатковий корм та покращення структури ґрунту) - люпин (фіксація азоту та покращення родючості ґрунту) - тритикале (стійка до несприятливих умов культура) - гречка (адаптована до дерново-підзолистих ґрунтів) - амарант (високопродуктивна культура для корму та зерна). У випадку значних концентрацій забруднювачів у ґрунті варто розглянути частково насінницьку спеціалізацію.

Технології обробітку. Strip-till та комбіновані знаряддя для збереження структури ґрунту, зменшення ерозії та покращення водоутримуючої здатності ґрунту.

Інноваційні технології можуть бути доступні, зокрема завдяки іноземним інвестиціям. Доцільно застосовувати ГІС-технології.

Зміна удобрення. Доцільно використовувати органічні добрива тваринного походження, рослинні рештки та біодобрива, частково міндобрива.

ФітореMediaція передбачає використання амаранта та вівса для поступового очищення ґрунтів від забруднювачів. При перевищенні допустимих рівнів забруднювачів у кормі тварин варто застосовувати концентрований корм з інших регіонів.

У випадку значного порушення ґрунтового покриву бойовими діями доцільно розглянути можливість контурного насадження горіху грецького з посівами трав (конюшина, люцерна) у міжряддях для додаткового доходу та покращення ґрунту.

2.2.3. «Біоенергетичний» (тваринницько-рослинницький напрямок)

Вирощування зеленої маси кукурудзи з наступною її переробкою на біоенергію. Як і з нормою гною 20 т/га сівозмінної площі з біогумусом (нерозкладеним залишком після вилучення з біомаси біогазу) у ґрунт повертаються всі внесені з урожаєм макро- і мікроелементи.

Модифікація

Введення/заміна культур. Модифікація сівозміни відповідно до специфікації сценарію і нових кліматичних умов. Сівозмінна: кукурудза на зелену масу (висока продуктивність, зменшення накопичення радіонуклідів) - люцерна або соя (підвищення родючості ґрунту, зменшення потреби в азотних добривах) - озима пшениця або жито (зменшення ерозії ґрунту, економічна доцільність) - озимий ріпак (фітореMediaція, виробництво біодизеля) - міскантус або багаторічні трави (висока продуктивність біомаси, покращення структури ґрунту). Можливе застосування суміжних посівів і/чи проміжних культур. Приклад відповідної сівозміни: кукурудза для зеленої маси + люцерна або соя - озима пшениця або жито + конюшина - озимий ріпак - міскантус або багаторічні трави - гречка або сидерати (гірчиця, фацелія).

Технології обробітку. Мінімальний та смуговий обробіток ґрунту для збереження структури ґрунту, зменшення ерозії тощо. У випадку ділянок із сильно порушеним рельєфом варто розглянути можливість зміни структури полів і частки багаторічних насаджень в господарстві. У випадку значного порушення ґрунтового покриву бойовими діями доцільно розглянути можливість контурних деревних/кущових насаджень енергетичних культур.

Інноваційні технології можуть бути доступні, зокрема система точного землеробства, біогазові установки.

Зміна удобрення. Доцільно використовувати біогумус, органічні добрива, біопрепарати, частково міндобрива.

ФітореMediaція. Передбачається переважно завдяки ріпаку, частково міскантусу. При перевищенні допустимих рівнів забруднювачів у кормі тварин варто застосовувати концентрований корм з інших регіонів, а також передзабійну відгодівлю чистими кормами.

2.2.4. «М'ясне скотарство» (тваринницький напрямок)

У класичному модельованому варіанті передбачає, що у сівозміні найбільш продуктивні культури, що забезпечують збалансовану кормову базу галузі молочно-м'ясного скотарства з урожайністю на фоні органо-мінеральної системи удобрення: пшениця озима, кукурудза, картопля і люпин. Також передбачена переробка відходів тваринництва на біоенергію. Реалізація цієї моделі у воєнний і повоєнний період вимагає інвестицій, у т. ч. іноземних.

Модифікація

Введення/заміна культур. Модифікація сівозміни відповідно до специфікації сценарію і нових кліматичних умов: пшениця озима: (після збирання пшениці висівається жито або гірчиця як сидерат) – картопля (після збирання картоплі висівається люпин або горох як сидерат) - кукурудза (МВС) (після збирання кукурудзи висівається вика або гірчиця як сидерат) - конюшина або люцерна (протягом 3-4 років) - сорго. Таким чином, пшениця озима, картопля, кукурудза, конюшина або люцерна залишаються основними культурами через їх високу продуктивність і адаптованість до місцевих умов.

Технології обробітку. Мінімальний та нульовий обробіток ґрунту використовується для культур, які не потребують глибокого обробітку ґрунту, таких як пшениця озима і сорго. Це зменшує ерозію ґрунту і зберігає його структуру. Традиційний обробіток ґрунту використовується для культур, які потребують глибокого обробітку, таких як картопля і кукурудза. У випадку ділянок із сильно порушеним рельєфом варто розглянути можливість зміни структури полів на користь багаторічних насаджень. У випадку значного порушення

грунтового покриву бойовими діями доцільно розглянути можливість контурних деревних/кущових насаджень, у т.ч. садів з посівом у міжряддях сидератів або кормових бобових культур (конюшина, люцерна).

Інноваційні технології можуть бути доступні, зокрема система точного землеробства, біогазові установки, виробництво крохмалю чи спирту.

Зміна удобрення. Доцільно поряд із традиційним органо-мінеральним удобренням використовувати біогумус, органічні добрива, біопрепарати.

Фіторе mediaція передбачається переважно завдяки використанню культур, таких як люпин і горох. При перевищенні допустимих рівні забруднювачів у кормі тварин варто застосовувати концентрований корм з інших регіонів, а також передзабійну відгодівлю чистими кормами.

2.2.5. «М'ясне скотарство» (інтенсивний тваринницький напрямок)

Модельований сценарій передбачає збільшення поголів'я тварин у два рази порівняно зі сценарієм №4, тобто 2 ум. гол. на 1 га, і врожайність культур сівозміни на рівні середнього багаторічного при органічній системі удобрення – 20 т/га гною. Передбачена переробка відходів тваринництва на енергію. Наявність люпину в сівозміні обмежує застосування даної моделі радіологічно безпечними територіями та наявністю інвестицій, які б уможливили дотримання всіх елементів технології.

Модифікація

Введення/заміна культур. Пшениця озима, картопля та кукурудза залишаються основними культурами через їх високу продуктивність і адаптованість до умов Полісся. Заміна люпину на соняшник виправдана, оскільки останній менш схильний до накопичення радіонуклідів, а також має комерційний потенціал через використання в біопаливній промисловості. Модифікація сівозміни відповідно до специфікації сценарію і нових кліматичних умов, а також порушення ґрунту внаслідок воєнних дій: пшениця озима → покривні культури (овес, конюшина) – кукурудза на силос → проміжні культури (озимий ріпак, гірчиця) – картопля → покривні культури (конюшина або люцерна) – соняшник → проміжні культури (озимий овес).

Технології обробітку. Мінімальний та нульовий обробіток ґрунту за можливості використовується для таких культур як пшениця озима і овес. Традиційний обробіток ґрунту використовується для культур, які потребують глибокого обробітку, таких як картопля і кукурудза. У випадку ділянок із сильно порушеним рельєфом варто розглянути можливість зміни структури полів на користь багаторічних насаджень та/або контурного посіву.

Інноваційні технології можуть бути доступні за умови значних інвестицій – система точного землеробства, застосування ГІС-технологій, біогазові установки, автоматизація процесу годівлі і доїння худоби тощо.

Зміна удобрення. Доцільно поряд із традиційним органо-мінеральним удобренням використовувати біологічні препарати.

Фіторе mediaція та біодеградація можливі, за необхідності, завдяки коригуванню набору культур та застосування біопрепаратів.

3. ШЛЯХИ ОПТИМІЗАЦІЇ ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ: ПРАКТИЧНІ ОРІЄНТИРИ

3.1. Аналіз світового досвіду оптимізації структури землекористування на порушених землях

Відновлення та подальший розвиток Українського Полісся як аграрного регіону потребує еколого-економічно ефективного підходу до землекористування, що передбачає диференціацію сільськогосподарської діяльності з урахуванням радіологічного стану територій, кліматичних трансформацій, наслідків війни та інших актуальних загроз. У зв'язку з цим виникає необхідність у науково обгрунтованій оптимізації системи землекористування на основі агроекологічного зонування, адаптивно-ландшафтного землеробства та оцінки рівнів радіоактивного забруднення. Такі заходи дозволять максимально ефективно використовувати потенціал регіону, мінімізуючи екологічні та економічні ризики.

Аналіз наукової літератури з питань структури землекористування на порушених землях (включаючи радіонуклідне забруднення, кліматичні зміни та бойові дії) охоплює 13 країн, серед яких Україна (табл. 3.1). Дослідження дозволили виявити ключові тенденції, спільні риси та унікальні особливості в управлінні такими територіями.

Стратегії управління порушеними землями варіюють залежно від типу забруднення та локальних умов. Наприклад, США адаптують рекомендації ЕРА на рівні штатів із ризик-орієнтованим підходом, Японія використовує ГІС і моделі переносу радіонуклідів, а Франція застосовує ризик-орієнтовану ремедіацію та гідроседиментаційні моделі. Італія фокусується на фіторемердіації, Чилі – на категоризації земель за придатністю, а Китай і Бразилія інтегрують ремедіацію з соціально-економічними факторами. Україна використовує супутниковий моніторинг для оцінки агрохімічного стану та занедбань земель.

Рівень моніторингу також відрізняється: США, Франція, Іспанія та Японія мають систематичний довгостроковий контроль, тоді як Україна покладається на супутникові дані та екологічні паспорти без централізованої системи. Це свідчить, що системи землекористування на порушених землях залежать не лише від типу порушень, а й від національних пріоритетів та технічних можливостей.

Ключові фактори, які враховуються при категоризації порушених земель, включають:

- *екологічні* – радіонуклідне забруднення (Україна, Японія, Франція), деградація ґрунтів (Чечня, Вірменія, Азербайджан), опустелювання (Франція);
- *соціально-економічні* – переміщення населення (Україна, Колумбія), економічна нестабільність (Вірменія, Азербайджан), витрати на ремедіацію (Франція, США);
- *локальні* – зони конфліктів (Україна, Чечня), кліматичні умови (Японія), історичні наслідки (Франція);
- *регуляторні* – чіткі стандарти в США, ЄС та Японії проти слабого законодавства в Колумбії, Вірменії та Азербайджані;
- *ризики* – радіонукліди, залишки боєприпасів, хімічне забруднення, втрата родючості.

Категорії використання земель різняться: Україна класифікує їх як сільськогосподарські, лісові, рекреаційні та деградовані; Франція включає прибережні зони та території Natura 2000; США – промислові, житлові та спеціальні зони. Аналіз виявив прогалини, зокрема недостатнє врахування довгострокових кліматичних змін, біорізноманіття, соціокультурних аспектів та транскордонних ефектів.

Для України критично важливо інтегрувати моделі кліматичних змін, оцінку екосистемних послуг та сучасні технології моніторингу (ШІ, дрони). Зокрема, доцільно запозичити досвід Франції (ГІС, стандарти ANDRA), Японії (моделі переносу радіонуклідів) та Китаю (комплексне моделювання), адаптувавши їх до місцевих умов.

Таблиця 3.1.
Порівняльний аналіз систем землекористування на порушених територіях: ключові підходи, фактори впливу та категорії використання земель [7, 10-11, 15-16, 19-20, 24, 26, 28-29, 32-34, 36, 42-43, 46, 48, 50, 52, 60, 63]

Країна	Ключові підходи	Моніторинг	Ключові фактори, що враховуються					Категорії використання земель	
			екологічні	соціально-економічні	локальні	регуляторні	ризик		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
США	адаптація федеративних рекомендацій ЕРА на рівні штатів, врахування місцевих практик, підхід на основі ризиків	довгостроковий моніторинг після ремедіації	рівні забруднення, вплив на екосистему	баланс економічних/соціальних інтересів	практики місцевих громад	рекомендації ЕРА, регуляції на рівні штатів	рівні забруднення (перевищення лімітів, потенційні фінансові збитки)	промислове, рекреаційне, житлове	
Японія	гнучкі системи підтримки прийняття рішень на основі ГІС, моделі переносу радіонуклідів	моніторинг переносу радіонуклідів	ерозія ґрунту, кліматичні зони, радіонукліди	-	специфічні місцеві фактори, кліматичні зони, культури	рівень радіоактивного забруднення	перенесення радіонуклідів	гнучкі, з урахуванням локальних факторів	
Італія	фокус на реабілітації, техніки фіторемердіації, енергетичних культур	обмежений довгостроковий моніторинг	реабілітація забруднених ділянок, врахування навантаження на екосистеми	періодичне врахування вартості екосистемних послуг шляхом моделювання, логістика	-	-	реабілітація забруднених ділянок	не чітко визначені, залежно від локальних особливостей і потреб	
Чилі	просторова система підтримки прийняття рішень для категоризації придатності земель	вимоги до моніторингу не визначені	вплив на екосистему	-	-	-	ризик забруднювачів	придатні, ризиковані, непридатні зони	
Китай	стратегії використання земель на основі ремедіації, оцінка	обмежений довгостроковий моніторинг	не вказано	соціально-економічний контекст	локальні характеристики	регуляторна політика	не специфіковано, локальні	базуються на ремедіації, соціально-	

Країна	Ключові підходи	Моніторинг	Ключові фактори, що враховуються					Категорії використання земель
			екологічні	соціально-економічні	локальні	регуляторні	ризики	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	ризиків							економічному контексті
Бразилія	інтегрований підхід до сталих практик, аналіз кейсів	вимоги до моніторингу не визначені	інтегрований сталий процес	інтегрований сталий процес	-	-	-	інтегрований підхід сталих практик
Україна	супутниковий моніторинг, аналіз агрохімічного стану ґрунтів	супутниковий моніторинг, екологічні паспорти, статистичні дані	відновлення лісів, ерозія ґрунтів, розораність, радіонукліди	колапс соціалістичної системи, інтенсифікація сільського господарства	зональність, радіоактивне забруднення	рекомендації щодо сівозмін, консервації земель, співвідношення типів угідь, рівень радіоактивного забруднення	радіоактивне забруднення, накопичення відходів, мілітарні ризики	сільськогосподарські, лісові, рекреаційні, заповідні, покинуті, деградовані (остаточна класифікація в стадії розробки)
Чечня	ГІС- моніторинг, часова сегментація занедбань/освоєння земель	супутниковий моніторинг, дані UCDP про конфлікти	якість ґрунтів і води, клімат, топографія	вимушена міграція, втрата ринків, трудові дефіцити	конфлікти різних рівнів і природи (етнічні/земельні тощо)	-	потенційне забруднення через бойові дії	сільськогосподарські, занедбані, частково повторно освоєні
Іспанія	ризик-орієнтоване управління, жорсткі обмеження рівнів вмісту забруднювачів у довкіллі	постійний моніторинг і звітування	ризик для здоров'я людей, екотоксичність і біодоступність	витрати на ремедіацію	-	-	ризик-орієнтоване управління	сільгоспугіддя (обмежене використання очищених стічних вод для іригації), промислові зони, лісові, рекреаційні
Колумбія	інвентаризація та типологія,	чітка система моніторингу для окремих галузей промисловості	втрата біорізноманіття, забруднення, трансформація екосистем, деградація	переміщення населення, бідність, локальні конфлікти	нелегальна діяльність	-	галузь-специфічні ризики (видобувна промисловість)	сільгоспземлі, водно-болотні угіддя, ліси, етнічні території

Країна	Ключові підходи	Моніторинг	Ключові фактори, що враховуються					Категорії використання земель
			екологічні	соціально-економічні	локальні	регуляторні	ризики	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
			грунту					
Вірменія	облік непридатних до використання земель, у т.ч. ГПС	обмежений ГПС-моніторинг, відсутність систематичності	мілітарна деградація земель (площа)	переміщення населення, економічна нестабільність, земельна реформа	сімейні ферми, локальні сільгоспкультури	земельна реформа	замінування	сільгоспземлі, пасовища, ліси
Азербайджан	облік непридатних до використання земель	обмежений ГПС-моніторинг, відсутність систематичності програм	мілітарна деградація земель (площа), зміна зрошення, замінювання	міграція населення в прикордонні регіони (тиск на екосистеми), інтеграція	сімейні ферми, локальні сільгоспкультури, зрошення	земельна реформа з частковим розподілом через сертифікати	замінування	сільгоспземлі, пасовища, нові поселення
Франція	ризик-орієнтована ремедіація, ГПС, гідроседиментаційні моделі	постійний моніторинг (ANDRA, IRSN), супутникові дані	радіонукліди, опустелювання, прибережне забруднення	витрати на ремедіацію, вплив на рибальство/туризм, громадські дебати	порти, зони зі спеціальним статусом, промислові об'єкти, залишки боєприпасів	державне законодавство, директиви ЄС	радіонукліди, хімічні забруднювачі, втрата родючості	Сільгоспземлі, лісові, прибережні, промислові

3.2. Оцінка перспективних шляхів оптимізації землекористування в Українському Поліссі

Аналіз *недостатньо врахованих чинників* у плануванні землекористування порушеними землями виявив суттєві прогалини, що потребують уваги. *Довгострокові кліматичні зміни* враховані лише частково у Франції та Японії, хоча для України це критично важливо з огляду на посилення ерозії ґрунтів і міграцію радіонуклідів. *Біорізноманіття та екосистемні послуги* систематично оцінюються лише у Німеччині та частково в Італії і Колумбії, тоді як *природне відновлення екосистем* у покинутих зонах України та Франції залишається недостатньо дослідженим, незважаючи на потенціал порушених земель як осередків біорізноманіття. *Сучасні технології моніторингу* представлені супутниковими системами та ГІС, проте новітні інструменти (ІоТ, дрони, ШІ) практично не використовуються, а моніторинг часто несистематичний. *Соціокультурні та етичні аспекти* (культурні цінності, питання повернення евакуйованих, збереження історичних пам'яток) залишаються поза увагою, хоча соціально-економічні фактори частково враховані в Україні, Франції та Колумбії. *Транскордонні ефекти*, зокрема перенесення радіонуклідів чи забруднення вод, розглядаються недостатньо, незважаючи на їхнє міжнародне значення, що вимагає координації між країнами. *Довгострокові економічні вигоди від відновлення порушених земель* (туризм, відновлення сільгоспвиробництва) практично ігноруються, хоча витрати на ремедіацію враховуються у Франції, США та Іспанії. Залишки історичних конфліктів оцінюються лише частково у Франції, а в Україні їхній вплив недооцінений, що обмежує землекористування і підвищує ризики. Україна потребує особливої уваги щодо оцінки екосистемних послуг і туристичного потенціалу.

Українське Полісся є яскравим прикладом регіону зі складною структурою землекористування, що формується під впливом Чорнобильської катастрофи, кліматичних змін та військових дій. Тут переважають ліси (58%) та сільгоспугіддя, але до 30% земель виведені з обігу через мінування. Перспективними напрямками оптимізації (табл. 3.2) є:

- *комбіновані підходи* (фіторемедіація + біоенергетика + лісомеліорація), які поєднують екологічну та економічну ефективність, хоча й вимагають значних інвестицій;
- *біоенергетичні культури* (верба, топінамбур), що мають швидку окупність (3–5 років);
- *лісомеліорація* для довгострокового захисту від ерозії, незважаючи на високу вартість;
- *технологічні рішення* (дрони, ґрунтопокривні матеріали) для локального ефекту, хоча їх реалізація часто залежить від міжнародної підтримки.

Реалізація цих підходів залежить від низки факторів, зокрема розмінування територій, міжнародної підтримки та адаптації до кліматичних змін (табл. 3.2, рис. 3.1). Таким чином, сучасна модель землекористування в Українському Поліссі перебуває у стані трансформації, де традиційні підходи поступово замінюються адаптивними системами. Цей перехід, незважаючи на складності, відкриває нові можливості для сталого розвитку території.

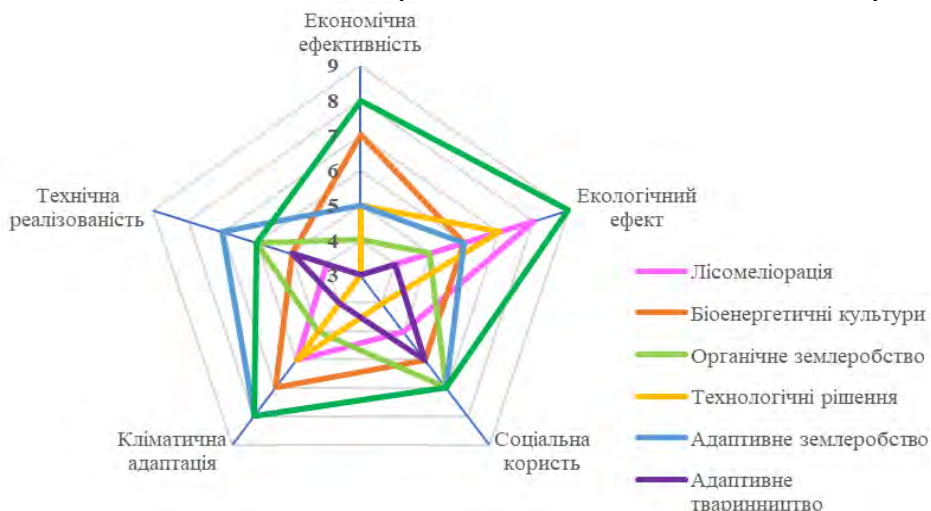


Рис. 3.1.
Порівняння шляхів
оптимізації
землекористування
Українського
Полісся за
ключовими
критеріями

Таблиця 3.2.

Оцінка перспективних шляхів оптимізації землекористування в Українському Поліссі

Шлях оптимізації	Переваги	Недоліки/обмеження	Затрати-ефект	Пріоритетність	Перспективні комбінації методів	Ключові фактори для реалізації
Лісомеліорація	- Захист від ерозії - Поглинання РН - Адаптація до посух і повеней - Довгостроковий ефект	- Висока початкова вартість посадки - Обмеження сільгоспвикористання - Ризик пожеж	Середні затрати, високий ефект через 10+ років	★★ (протиерозійний захист)	Лісосусли + агролісомеліорація + посухостійкі породи дерев	- Інвестиції - Громадські програми - Розмінування
Біоенергетичні культури	- Альтернативний дохід - Реабілітація деградованих земель - Можливість вирощування посухостійких культур	- Ризик монокультури - Потреба в інфраструктурі переробки - Ризик зниження врожайності через екстремальні погодні умови	Високі стартові затрати, але швидка окупність (3-5 років)	★★★ (економічна перспектива)	Верба + соняшник для біопалива (синергія з фіторемерацією)	- Державні програми підтримки ВДГ - Партнерство з енергокомпаніями - Дослідження кліматично адаптованих сортів
Органічне землеробство	- Зменшення хімічного навантаження - Підвищення родючості - Використання сівозмін із посухостійкими культурами	- Низька врожайність - Вищі трудовитрати - Ризик зниження врожайності через зміну клімату - Ризик забруднення ґрунтів	Середні затрати, поступовий ефект	★ (для малих господарств)	Органічне землеробство + агротуризм (екологічно чиста продукція + додатковий дохід)	- Сертифікація продукції - Доступ до європейських ринків - Розробка адаптивних сівозмін і органічних добрив
Технологічні рішення (дрони, ґрунтопокривні матеріали, тощо)	- Точний моніторинг забруднення - Швидкий результат - Прогнозування погодних ризиків і адаптивного внесення добрив	- Висока вартість обладнання - Залежність від кваліфікованих кадрів	Високі затрати, швидкий ефект	★★ (для локальних "гарячих точок")	Дрони для моніторингу + ґрунтопокривні матеріали (ізоляція радіонуклідів)	- Міжнародні гранти - Тренінги для фермерів - Інтеграція даних кліматичного моделювання - Співпраця з саперами
Адаптивне тваринництво	- Використання заболочених земель - Різноманітність доходів	- Ризик забруднення продукції - Необхідність ветеринарного контролю - Ризик нестачі кормів	Низькі-середні затрати, ефект залежить від технологій	★ (для локальних громад)	Випас тварин на заболочених землях + екологічний туризм	- Розвиток інфраструктури збуту - Екологічна сертифікація
Комбіновані підходи	- Максимальний ефект - Баланс екології та економіки - Гнучкість у виборі культур і методів	- Комплексне планування - Потреба в координації між секторами	Високі інтегровані затрати, але довгостроковий сталий ефект	★★★ (оптимальний варіант)	Фіторемерація + біоенергетика + лісомеліорація (синергія для радіоактивних земель)	- Міждисциплінарні дослідження - Державно-приватне партнерство - Пільгові кредити - Кліматичне моделювання для планування сівозмін

3.3. Оптимізація структури землекористування радіоактивно забрудненої території

На основі власних досліджень та даних Інституту сільського господарства Полісся було проведено оцінку традиційних і альтернативних сценаріїв агровиробничої діяльності на радіоактивно забруднених землях Українського Полісся. Особливу увагу приділено їх ефективності у відтворенні агроекологічних функцій таких територій.

Ключовим аспектом розробки економічно та енергетично ефективних сценаріїв є управління балансом органічної речовини в агроекосистемах. Традиційні методи передбачають використання гною, тоді як альтернативні – застосування побічної продукції рослинництва та біомаси сидеральних культур. Важливе значення має оптимізація співвідношення процесів гуміфікації та мінералізації органічної речовини.

Дослідження показали, що відновлення родючості радіоактивно забруднених земель значною мірою залежить від системи удобрення. Традиційний підхід передбачає внесення до 10 т/га органіки та 150-200 кг д.р. мінеральних добрив на 1 га, тоді як альтернативні сценарії базуються на комбінації сидератів, побічної продукції та помірних доз мінеральних добрив. Оптимальним є співвідношення 1 т органіки на 15 кг д.р. мінеральних добрив.

Важливим викликом є дотримання вимог Європейського зеленого курсу щодо обмеження мінерального удобрення. Хоча Україна в цілому відповідає цим нормам, окремі радіоактивно забруднені території можуть потребувати додаткових обмежень.

Особливістю дерново-підзолистих ґрунтів є їхня здатність швидше відновлювати продуктивні функції порівняно з чорноземами при однакових витратах на рекультивацію. Це відкриває додаткові можливості для ефективного використання таких земель.

Значну увагу приділено проблемі міграції радіонуклідів. Дослідження показали, що ^{137}Cs транспортується переважно у сорбованій формі на дрібноземі, причому інтенсивність позакореневого поглинання перевищує кореневі механізми. Найбільша міграція спостерігається на орних землях, тоді як на лісових ділянках вона практично відсутня. Вирішення цієї проблеми вбачається у реформуванні системи землеробства на еколого-ландшафтній основі. На практиці це означає перехід на адаптивно-ландшафтну систему землеробства. Загальновідомо, що якість сільгосппродукції, зокрема рівень її радіоактивного забруднення значною мірою визначається складом сівозмін. Накопичення ^{137}Cs зернобобовими культурами у 3-10 разів перевищує їх накопичення зерновими, а ярими зерновими – у 2 рази більше, ніж озимими. Конюшина накопичує радіонуклідів більше, ніж люцерна, а коренеплоди – більше, ніж картопля. Таким чином, шляхом підбору культур та сортів забрудненість рослинницької продукції можна знизити у 2-3 рази.

Для оптимізації землекористування запропоновано класифікацію земель за рівнем забруднення (рис. 3.1):

- землі з забрудненням < 37 кБк/м² використовуються без обмежень;
- при 185-370 кБк/м² обмежуються окремі культури (люпин жовтий);
- при 370-555 кБк/м² зернобобові використовують лише як сидерати;
- землі із забрудненням > 555 кБк/м² виводяться з обробітку.

Сучасні умови додають нові виклики – деградацію ґрунтів внаслідок бойових дій, особливо на Житомирському та Київському Поліссі. Утворення бєллігеративних ландшафтів значно впливає на формування сценаріїв сільськогосподарської діяльності.

Оптимальним рішенням є перехід на актуалізовану адаптивно-ландшафтну систему землеробства, яка враховує:

- різну здатність культур до накопичення радіонуклідів;
- особливості ґрунтового покриву;
- ступінь забруднення території;
- наслідки бойових дій;
- вимоги Європейського зеленого курсу.

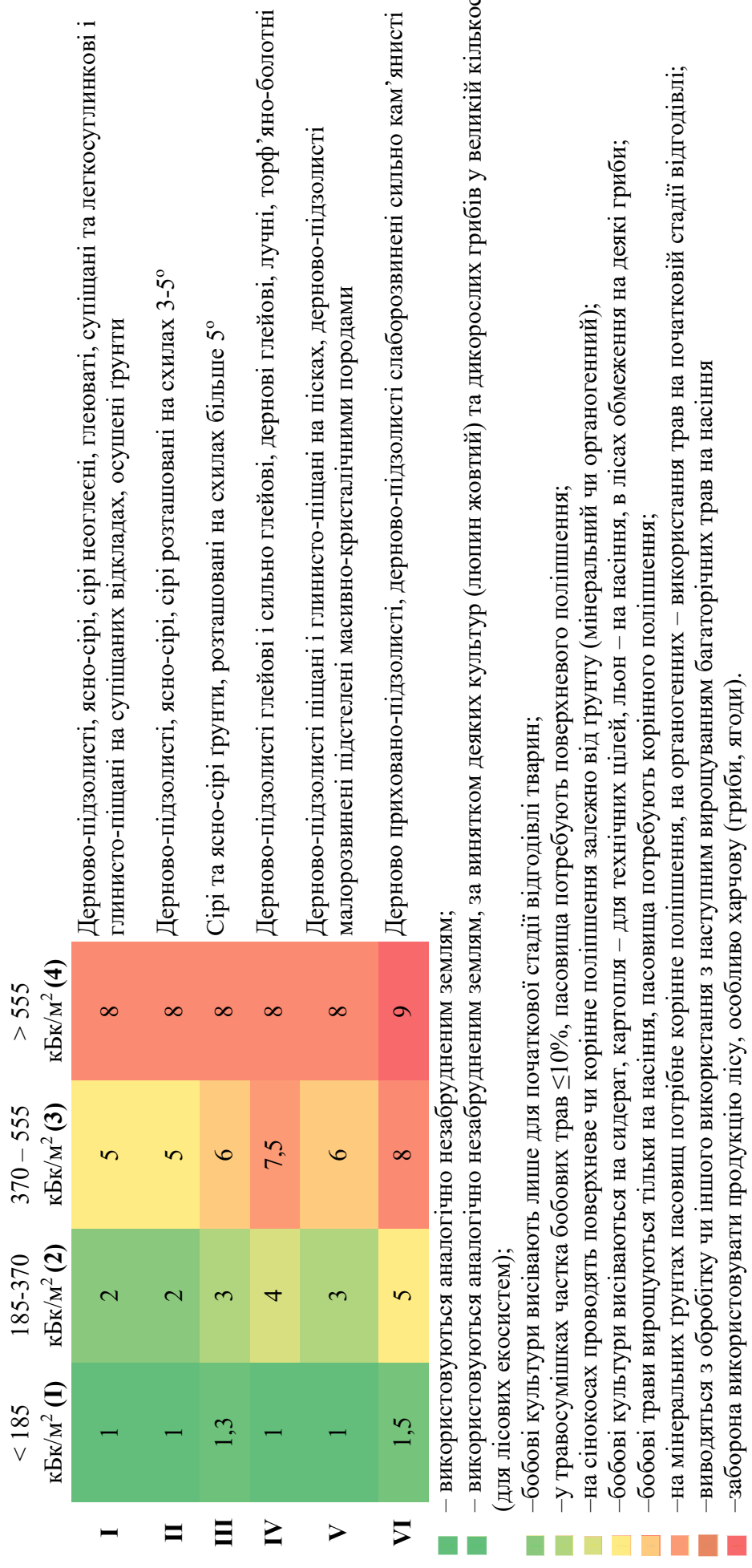


Рис. 3.1. Оптимізація структури землекористування радіоактивно забрудненої території на основі адаптивно-ландшафтної системи землеробства (Інститут сільського господарства Полісся НААН):

I – землі, придатні під всі районовані культури; II – землі, придатні під культури суглинного посіву; III – землі схилів, які потребують залуження; IV – землі сінокоісного призначення за тваринницьким напрямком спеціалізації; V – землі пасовищного призначення за тваринницьким напрямком спеціалізації; VI – землі лісогосподарського призначення

Такий підхід дозволяє знизити забрудненість рослинницької продукції та забезпечити сталий розвиток сільського господарства на радіоактивно забруднених територіях.

Таким чином, ураховуючи різну здатність культур до поглинання радіонуклідів, ми рекомендуємо при плануванні структури посівної площі та складу сівозмін розподіляти орні землі за щільністю забруднення на 5 агроекологічних груп та залісені території (група IV) відповідно до удосконаленої нами адаптивно-ландшафтної системи землеробства Інституту сільського господарства Полісся НААН. Удосконалена схема оптимізації структури землекористування радіоактивно забрудненої території передбачає врахування вимог рослин до умов середовища зростання і їх здатність до накопичення радіонуклідів за цих умов, що дозволяє визначити оптимальну структуру посівних площ та розробити систему сівозмін, направлено на одержання конкурентно спроможної якісної рослинницької продукції в межах обраного сценарію агровиробничої діяльності.

Землі, забруднення яких становить менше 37 кБк/м², використовуються під усі культури без обмежень. Рілля (II-га група) має деякі обмеження щодо вирощування люпину. Для земель III-ї групи є обмеження щодо всіх бобових культур. На ділянках зі щільністю забруднення ¹³⁷Cs 370-555 кБк/м² зернобобові рекомендовано висівати лише в якості сидератів. Також тут не рекомендується висівати льон на волокно, садити картоплю та коренеплоди для продовольчих цілей. Передбачено виведення земель V-ї групи обробітку та розміщення на них насінницьких посівів.

Отже, відправною позицією оптимізації сценаріїв агровиробничої діяльності на радіоактивно забруднених землях має бути її адаптація системи землеробства до просторової структури ґрунтового покриву та рівнів його забруднення радіонуклідами. У 2022 р. до цих двох чинників додалася деградація ґрунтового покриву внаслідок бойових дій. Особливо це стосується Житомирського та Київського Полісся. Утворення бєллігеративних ландшафтів, зокрема порушення ґрунтів шляхом утворення бєллігеративних воронок унаслідок ураження артилерійськими снарядами та ракетами істотно впливає на формування сценаріїв сільськогосподарської діяльності як прямо, так і опосередковано. Варто також урахувати вимоги ЄЗК щодо використання добрив і збільшення частки біоенергії, до імплємєнтатії яких Україна приєдналася.

3.4. Інтеграція структури землекористування радіоактивно забрудненої території і модельних сценаріїв агровиробничої діяльності

Проведені багаторічні дослідження дозволили нам розробити комплексну науково обґрунтовану систему організації землекористування на радіоактивно забруднених територіях Українського Полісся, яка інтегрує теоретичні розробки попередніх розділів з практично реалізованими рішеннями. Як наочно демонструє рис. 3.2, запропонована система ґрунтується на чотирьох взаємопов'язаних принципах, які є логічним продовженням результатів наших попередніх досліджень:

1. *Диференційований підхід до категоризації земель за рівнем радіоактивного забруднення, що був детально розроблений у підрозділі 1.2. Цей підхід передбачає:*

- чітку класифікацію земель за ступенем забруднення (від <185 кБк/м² до >555 кБк/м²);
- розробку спеціальних обмежень для кожної категорії;
- систему моніторингу динаміки забруднення.

Це дозволяє не лише мінімізувати ризики міграції радіонуклідів у сільськогосподарську продукцію, а й оптимізувати використання кожного гектара землі.

2. *Науково обґрунтована система удобрення, що базується на даних, отриманих у підрозділі 2.1. Тут особливо варто виділити:*

- оптимальні співвідношення органічних і мінеральних добрив для різних типів ґрунтів;

- рекомендації щодо використання сидератів і побічної продукції;
- систему вапнування для регулювання рН ґрунтів;
- обґрунтування норм внесення добрив з урахуванням вимог ЄЗК.

3. *Адаптація сценаріїв агровиробничої діяльності* (детально розглянутих у підрозділі 2.2) до специфічних умов радіоактивно забруднених територій, що включає:

- модифікацію технологій вирощування основних культур;
- спеціальні підходи до формування сівозмін;
- розробку систем захисту рослин з урахуванням радіологічних особливостей;
- оптимізацію строків проведення основних агротехнічних заходів.

4. *Система моніторингу та контролю*, що розвиває методичні підходи, описані в підрозділі 1.3. Ця система передбачає:

- регулярний контроль радіологічного стану ґрунтів;
- моніторинг вмісту радіонуклідів у сільськогосподарській продукції;
- оцінку ефективності застосованих заходів;
- корекцію технологій на основі отриманих даних.

На рис. 3.2 наочно представлено, як ці принципи реалізуються на практиці у формі цілісної системи. Для кожного рівня забруднення запропоновано оптимальні комбінації сценаріїв агровиробничої діяльності, що враховують комплекс факторів:

- *агрохімічні властивості ґрунтів* (вміст гумусу, кислотність, забезпеченість елементами живлення);
- *рівень радіоактивного забруднення* (щільність забруднення, форми знаходження радіонуклідів);
- *кліматичні особливості регіону* (режим зволоження, температурний режим, тривалість вегетаційного періоду);
- *економічну доцільність* (собівартість продукції, наявність ринків збуту, вартість реалізації заходів);
- *соціальні аспекти* (зайнятість населення, традиції землекористування, інфраструктурні обмеження).

Особливу увагу варто приділити системі контролю міграції радіонуклідів, методи якої були детально розглянуті в підрозділі 1.3. Наші польові та лабораторні дослідження підтверджують високу ефективність запропонованих заходів, особливо при їх поєднанні з адаптивними сценаріями землекористування:

1. *Для ґрунтів з низьким рівнем забруднення (<185 кБк/м²):*

- застосування повного спектру сценаріїв агровиробничої діяльності;
- використання інтенсивних технологій вирощування;
- можливість вирощування всіх районованих культур.

2. *Для ґрунтів з помірним забрудненням ($185-370$ кБк/м²):*

- обмеження на окремі культури (люпин, картопля для продовольчих цілей);
- перевага рослинницьким і біоенергетичним моделям;
- спеціальні агротехнічні прийоми для зниження накопичення радіонуклідів.

3. *Для ґрунтів з підвищеним забрудненням ($370-555$ кБк/м²):*

- використання зернобобових лише як сидератів;
- акцент на технічні культури;
- застосування спеціальних сівозмін.

4. *Для сильно забруднених ґрунтів (>555 кБк/м²):*

- виведення з інтенсивного сільськогосподарського використання;
- перетворення на лісові угіддя;
- застосування фітомеліоративних заходів.

Реалізація цього інтегрованого підходу дозволяє досягти значних результатів:

1. Екологічні результати:

- зниження вмісту радіонуклідів у продукції в 2-3 рази;
- покращення агрофізичних властивостей ґрунтів;
- зменшення ерозійних процесів;
- підвищення біорізноманіття агроценозів.

2. Економічні результати:

- підвищення врожайності основних культур на 25-40%;
- зменшення витрат на рекультивацію земель на 15-20%;
- підвищення рентабельності виробництва;
- зменшення енерговитрат на одиницю продукції.

3. Соціальні результати:

- створення додаткових робочих місць;
- підвищення якості сільськогосподарської продукції;
- поліпшення екологічної ситуації в регіоні;
- підвищення привабливості території для інвестицій.

Таким чином, запропонована система інтеграції (рис. 3.2) є логічним завершенням попередніх досліджень і надає комплексний науково обґрунтований інструментарій для ефективного та безпечного використання радіоактивно забруднених земель з дотриманням усіх сучасних вимог і стандартів. Особливістю цієї системи є її адаптивність до різних умов господарювання та можливість корекції з урахуванням змін клімату, економічної кон'юнктури та нових наукових досягнень.

Реалізація запропонованого підходу потребує подальших досліджень у таких напрямках:

- удосконалення методів моніторингу радіологічного стану ґрунтів;
- розробка нових сортів сільськогосподарських культур з мінімальним накопиченням радіонуклідів;
- оптимізація систем удобрення з урахуванням змін клімату;
- розробка економічних механізмів стимулювання впровадження запропонованих рішень.

Запропонована система пройшла апробацію на дослідних полях Інституту сільського господарства Полісся і показала високу ефективність, що підтверджується отриманими результатами та позитивними відгуками практиків. Її впровадження дозволить не лише ефективно використовувати радіоактивно забруднені землі, а й створить основу для сталого розвитку сільських територій у посткризовий період.

	< 185 кБк/м ² (I)	185-370 кБк/м ² (2)	370 – 555 кБк/м ² (3)	> 555 кБк/м ² (4)
I	№ 1-5	№ 1-3	№ 3	-
II	№ 1-5	№ 1-3	№ 3	-
III	№ 2, 3	№ 1-3	№ 4-5 (за умови коригування сівозмінні та раціону годівлі)	-
IV	№ 3	№ 3	№ 4-5 (за умови коригування сівозмінні та раціону годівлі)	-
V	№ 3	№ 2-3	№ 4-5 (за умови коригування сівозмінні та раціону годівлі)	-
VI	Лісові екосистеми			

- – Використовуються аналогічно незабрудненим землям;
- – Використовуються аналогічно незабрудненим землям, за винятком деяких культур (люпин жовтий) та дикорослих грибів у великій кількості (для лісових екосистем);
- – Бобові культури висівають лише для початкової стадії відгодівлі тварин;
- – У травосумішках частка бобових трав $\leq 10\%$, пасовища потребують поверхневого поліпшення;
- – На сінокосах проводять поверхневе чи корінне поліпшення залежно від ґрунту (мінеральний чи органічний);
- – Бобові культури висівають на сидерат, картопля – для технічних цілей, льон – на насіння, у лісах обмеження на деякі гриби;
- – Бобові трави вирощуються тільки на насіння, пасовища потребують корінного поліпшення;
- – На мінеральних ґрунтах пасовищ потрібне корінне поліпшення, на органічних – використання трав на початковій стадії відгодівлі;
- – Виводяться з обробітку чи іншого використання з наступним вирощуванням багаторічних трав на насіння

Рис. 3.2. Оптимізація структури землекористування радіоактивно забрудненої території на основі різних сценаріїв агровиробничої

діяльності:

I – землі, придатні під усі районовані культури; *II* – землі, придатні під культури суцільного посіву; *III* – землі схилів, які потребують залуження; *IV* – землі сінокісного призначення за тваринницьким напрямком спеціалізації; *V* – землі пасовищного призначення за тваринницьким напрямком спеціалізації; *VI* – землі лісгосподарського призначення

ВИСНОВКИ І ПЕРСПЕКТИВИ

Проведений аналіз сучасного стану радіоактивно забруднених земель Українського Полісся та розроблені методичні рекомендації щодо оптимізації їх землекористування дозволяють зробити низку висновків і окреслити перспективи для подальшого розвитку аграрного сектору регіону в умовах складних екологічних, соціально-економічних і воєнних викликів.

1. *Радіоекологічна ситуація та її вплив на землекористування.* Аварія на Чорнобильській АЕС має тривалий вплив на агроєкосистеми Українського Полісся, де значні площі земель досі забруднені радіонуклідами, зокрема ^{137}Cs і ^{90}Sr , на тому рівні, який може спричинити перевищення допустимих рівнів вмісту радіонуклідів у продукції. Незважаючи на зменшення площі забруднених територій щонайменше удвічі за період після аварії, окремі продукти, такі як молоко, гриби та ягоди, залишаються радіоекологічно критичними через високий рівень накопичення в них радіонуклідів. Це зумовлює необхідність постійного моніторингу та адаптивного підходу до планування сільськогосподарської діяльності, спрямованого на зниження дозового навантаження на населення.

2. *Продовольча криза та потенціал Полісся.* У контексті повномасштабної війни, що призвела до втрати значної частини продуктивних земель півдня та сходу України, а також руйнування сільськогосподарської інфраструктури, Українське Полісся розглядається як стратегічний резерв для відновлення агровиробництва. Повернення радіоактивно забруднених земель до господарського обігу можливе лише за умови комплексного радіоекологічного аналізу, розроблення сценаріїв агровиробничої діяльності та впровадження ресурсо- й енергозберігаючих технологій.

3. *Недоліки існуючих підходів.* Аналіз виявив системні проблеми у підходах до управління радіоактивно забрудненими територіями, зокрема:

- неструктурованість системи ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС, спричинена її швидким формуванням і недооцінкою довготривалості проблеми;
- зменшення обсягів впровадження контрзаходів, таких як хімічна меліорація та моніторинг;
- необґрунтоване виділення земель для випасу та сінокосів у радіоекологічно критичних ландшафтах;
- відсутність сучасного обладнання для радіометрії та недостатня кількість кваліфікованих фахівців;
- низький рівень координації між профільними установами та недостатнє використання результатів моніторингу для управлінських рішень, тощо.

4. *Необхідність комплексного моніторингу.* Останнє базове радіаційне обстеження земель України проводилося в 1991–1995 рр., що не відповідає сучасним потребам. Для ефективного планування агровиробництва необхідний суцільний радіологічний моніторинг із використанням ГІС-технологій, ШІ та дронів. Це дозволить актуалізувати дані про щільність забруднення, виявити критичні ландшафти та оптимізувати структуру землекористування.

5. *Оптимізація сценаріїв агровиробництва.* На основі багаторічних досліджень Інституту сільського господарства Полісся та Інституту агроєкології і природокористування НААН розроблено і удосконалено п'ять сценаріїв агровиробничої діяльності, адаптованих до рівнів забруднення, кліматичних змін і воєнних наслідків. Сценарії №1 («Сучасна практика») і №2 («Молочне скотарство») є найбільш реалістичними в умовах обмежених ресурсів, тоді як сценарії №3 («Біоенергетичний») і №5 («Інтенсивне м'ясне скотарство») мають потенціал для довгострокового розвитку за наявності інвестицій. Оптимальним є поєднання елементів традиційних і альтернативних моделей із акцентом на фіторе mediaцію, біоенергетику та адаптивно-ландшафтне землеробство.

6. *Агроєкологічне групування земель.* Запропоновано класифікацію земель за рівнем забруднення (від <37 кБк/м² до >555 кБк/м²), що дозволяє диференціювати види

сільськогосподарської діяльності. Землі з низьким забрудненням придатні для всіх культур, тоді як високозабруднені території рекомендовано виводити з обробітку або використовувати для залісення. Адаптивно-ландшафтна система землеробства, удосконалена з урахуванням актуалізованих радіоекологічних факторів, забезпечує зниження накопичення радіонуклідів у продукції в 2–3 рази.

7. *Кліматичні зміни та їх вплив.* Зростання температур і зміна режиму опадів створюють нові можливості для вирощування нетрадиційних для регіону Українського Полісся культур (соя, соняшник, кукурудза), але посилюють ерозійні процеси та аридизацію. Впровадження водозберігаючих технологій (No-Till, Strip-Till, крапельне зрошення) та покривних культур є необхідним для адаптації до нових умов.

8. *Економічні та соціальні аспекти.* Воєнний період обмежує фінансові можливості аграрних підприємств, що робить актуальними ресурсощадні технології та залучення іноземних інвестицій. Створення виробничих кластерів, орієнтованих на біоенергетику та преміум-продукцію, може стимулювати економічний розвиток регіону. Соціальні результати включають створення робочих місць і підвищення якості життя населення.

Перспективи розвитку:

1. *Удосконалення моніторингу.* Необхідно впровадити централізовану систему радіоекологічного моніторингу з використанням сучасних технологій (ГІС, дрони, ШІ) для регулярного оновлення даних про забруднення та динаміку міграції радіонуклідів. Це дозволить оперативно коригувати сценарії землекористування.

2. *Інвентаризація зон забруднення.* Відповідно до Закону України «Про правовий режим території, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи», необхідно провести перегляд меж зон радіоактивного забруднення на основі актуальних даних.

3. *Розвиток біоенергетики.* Вирощування енергетичних культур і використання біогазових установок є перспективним напрямком для забезпечення енергетичної незалежності та екологічної стійкості регіону. Цей напрямок відповідає вимогам ЄЗК.

4. *Інноваційні технології.* Впровадження точного землеробства, автоматизації процесів і біологічних методів захисту рослин дозволить підвищити продуктивність і знизити екологічні ризики. Необхідно стимулювати співпрацю з міжнародними партнерами для трансферу технологій.

5. *Підготовка кадрів.* Для забезпечення ефективного управління радіоактивно забрудненими територіями необхідно відновити підготовку фахівців-радіоекологів і підвищувати кваліфікацію наявних кадрів. Це допоможе подолати дефіцит професійних ресурсів.

6. *Економічні стимули.* Державна підтримка у вигляді субсидій, пільгового кредитування та санкцій за нераціональне використання земель сприятиме впровадженню екологічно безпечних технологій. Створення кластерів і залучення іноземних інвестицій відкриють нові можливості для розвитку регіону.

7. *Адаптація до кліматичних змін.* Необхідно розробити нові сорти культур із низьким накопиченням радіонуклідів і високою стійкістю до кліматичних екстремумів. Перепрофілювання сівозмін і впровадження водозберігаючих технологій є ключовими для забезпечення стійкості агровиробництва.

8. *Інтеграція міжнародного досвіду.* Запозичення підходів Японії (ГІС-моделі), Франції (ризик-орієнтована ремедіація) та США (стандарти ЕРА) дозволить удосконалити систему управління порушеними землями. Особливу увагу слід приділити оцінці екосистемних послуг і туристичного потенціалу.

Запропонована система оптимізації землекористування є комплексним інструментом, що поєднує наукові розробки, практичні рекомендації та адаптивні стратегії. Її впровадження дозволить не лише відновити продуктивність радіоактивно забруднених земель, а й забезпечити сталий розвиток Українського Полісся, сприяючи продовольчій безпеці, екологічній стабільності та економічному зростанню регіону в поствоєнний період.

Список використаних джерел

1. Галабурда, С. О. (2021). Адаптація сільського господарства до глобальних кліматичних змін. *Тенденції та виклики сучасної аграрної науки: теорія і практика: матеріали III Міжнар. наук.-практ. онлайн конф.* (с. 72–74). НУБіП.
2. Тараріко, М. Ю. (2015). Оцінювання балансу елементів живлення в зерно-картопляній сівозміні за традиційної та альтернативної систем удобрення. *Вісник аграрної науки*, 93(7), 71–74. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201507-15>
3. Тараріко, М. Ю. (2015). Еколого-економічне обґрунтування імітаційних моделей аграрного виробництва на радіоактивно забруднених землях Полісся. *Економіст*, 10, 43–45.
4. Тараріко, М. Ю. (2015). Економічна ефективність в системі відтворення агроекологічних функцій радіоактивно забруднених дерново-підзолистих ґрунтів. *Таврійський науковий вісник*, 93, 260–265.
5. Тараріко, М. Ю. (2015). Економічна та енергетична ефективність систем відтворення агроекологічних функцій радіоактивно забруднених дерново-підзолистих ґрунтів. *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*, 25(7), 278–284.
6. Тараріко, М. Ю., & Ландін, В. П. (2015). Традиційна і альтернативна технології відтворення енергопотенціалу радіоактивно забруднених ґрунтів. *Збалансоване природокористування*, 3, 42–46.
7. Alcantara, C., Kuemmerle, T., Baumann, M., Bragina, E. V., Griffiths, P., Hostert, P., Knorn, J., Müller, D., Prishchepov, A. V., & Schierhorn, F. (2013). Mapping the extent of abandoned farmland in Central and Eastern Europe using MODIS time series satellite data. *Environmental Research Letters*, 8(3), 035035. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/3/035035>
8. Ali, M. (2013). Effects of climate change on vegetation. In *Climate change impacts on plant biomass growth* (pp. 29–40). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5370-9_4
9. Assessment of changes in the main climatic parameters over the territory of Ukraine. (2020). https://eage.in.ua/wp-content/uploads/2020/11/32PosterMonitoring2020_32.pdf
10. Baumann, M., & Kuemmerle, T. (2016). The impacts of warfare and armed conflict on land systems. *Journal of Land Use Science*, 11(6), 672–688. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2016.1241317>
11. Baumann, M., Radeloff, V. C., Avedian, V., & Kuemmerle, T. (2015). Land-use change in the Caucasus during and after the Nagorno-Karabakh conflict. *Regional Environmental Change*, 15, 1703–1716. <https://doi.org/10.1007/s10113-014-0728-3>
12. Broomandi, P., Guney, M., Kim, J. R., & Karaca, F. (2020). Soil contamination in areas impacted by military activities: A critical review. *Sustainability*, 12(21), 9002. <https://doi.org/10.3390/su12219002>
13. Bueno, F. B., Günther, W. M. R., Philippi, A., & Henderson, J. (2021). Site-specific framework of sustainable practices for a Brazilian contaminated site case study. *Science of The Total Environment*, 801, 149581. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149581>
14. Burger, J. (2004). Study of the future land use of a contaminated site: Preferences versus potential use. *Remediation Journal*, 14(4), 97–110. <https://doi.org/10.1002/rem.20024>
15. Burger, J., Gochfeld, M., & Jeitner, C. (2019). Importance of buffer lands to determining risk to ecological resources at legacy contaminated sites: A case study for the Department of Energy's Hanford Site, Washington, USA. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 82(22), 1151–1163. <https://doi.org/10.1080/15287394.2019.1702911>
16. Burger, J., Gochfeld, M., Bunn, A., Looney, B., & Jeitner, C. (2021). Role of uncertainties in protecting ecological resources during remediation and restoration. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 84(12), 485–502. <https://doi.org/10.1080/15287394.2021.1887783>

17. Cao, X., Cheng, Y., Jiao, J., Jian, J., Bai, L., Li, J., & Ma, X. (2023). Impact of land use/cover changes on soil erosion by wind and water from 2000 to 2018 in the Qaidam Basin. *Land*, 12(10), 1866. <https://doi.org/10.3390/land12101866>
18. Cergibozan, R., & Akusta, E. (2023). Energy, economic growth, and ecological collapse. In A. Ari (Ed.), *Capitalism at a crossroads* (pp. 37–56). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-23257-2_3
19. Cervelli, E., Scotto di Perta, E., & Pindozi, S. (2020). Energy crops in marginal areas: Scenario-based assessment through ecosystem services, as support to sustainable development. *Ecological Indicators*, 113, 106180. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106180>
20. Cervelli, E., Recchi, P. F., Scotto di Perta, E., & Pindozi, S. (2023). Land use change scenario building combining agricultural development policies, landscape-planning approaches, and ecosystem service assessment: A case study from the Campania Region (Italy). *Land*, 12(10), 1865. <https://doi.org/10.3390/land12101865>
21. Climate Nexus. (2020). *RCP 8.5: Business-as-usual or a worst-case scenario?* <https://climatenexus.org/climate-change-news/rcp-8-5-business-as-usual-or-a-worst-case-scenario/>
22. Dzombak, R. (2022, June 21). Russia's invasion could cause long-term harm to Ukraine's prized soil. *Science News*. <https://www.sciencenews.org/article/ukraine-russia-war-soil-agriculture-crops>
23. Environmental Protection Agency. (2002). *Supplemental guidance for developing soil screening levels for Superfund sites* (OSWER 9355.4-24). https://www.epa.gov/superfund/health/conmedia/soil/pdfs/ssg_main.pdf
24. Espana, V. A. A., Pamukcu, P., & Banks, M. K. (2017). Contaminated land in Colombia: A critical review of current status and future approach for the management of contaminated sites. *Science of The Total Environment*, 618, 199–209. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.245>
25. Gochfeld, M., Burger, J., Powers, C., & Kosson, D. (2015, July). *Land-use planning scenarios for contaminated land: Comparing EPA, state, and tribal scenarios–15642* [Conference presentation]. WM2015 Conference, Phoenix, AZ, United States.
26. Greenberg, M., Burger, J., Gochfeld, M., Kosson, D., Lowrie, K., Mayer, H., Powers, C. W., Volz, C. D., & Vyas, V. (2005). End-state land uses, sustainably protective systems, and risk management: A challenge for remediation and multigenerational stewardship. *Remediation Journal*, 16(1), 91–105. <https://doi.org/10.1002/rem.20072>
27. Hausfather, Z. (2019). Explainer: The high-emissions 'RCP8.5' global warming scenario. *Carbon Brief*. <https://www.carbonbrief.org/explainer-the-high-emissions-rcp8-5-global-warming-scenario/>
28. Vandenhove, H., & Turcanu, C. (2016). Agricultural land management options after the Chernobyl and Fukushima accidents: The articulation of science, technology, and society. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 12(4), 662–666. <https://doi.org/10.1002/ieam.1826>
29. Vandenhove, H., & Turcanu, C. (2011). Agricultural land management options following large-scale environmental contamination. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 7(3), 385–387. <https://doi.org/10.1002/ieam.234>
30. 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. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.135>
31. Hupy, J. P., & Schaetzl, R. J. (2008). Soil development on the WWI battlefield of Verdun, France. *Geoderma*, 145(1–2), 37–49. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.01.024>
32. Kashparov, V., Levchuk, S., Zhurba, M., Protsak, V., Khomutinin, Y., Beresford, N. A., & Chaplow, J. S. (2018). Spatial datasets of radionuclide contamination in the Ukrainian

- Chernobyl Exclusion Zone. *Earth System Science Data*, 10(1), 339–353. <https://doi.org/10.5194/essd-10-339-2018>
33. Kaur, J. (2021). PGPR in management of soil toxicity. In V. Kumar, R. Prasad, & M. Kumar (Eds.), *Rhizobiont in bioremediation of hazardous waste* (pp. 271–290). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-16-0602-1_14
 34. Kuemmerle, T., Müller, D., Griffiths, P., & Rusu, M. (2010). Post-Soviet farmland abandonment, forest recovery, and carbon sequestration in western Ukraine. *Global Change Biology*, 17(3), 1335–1349. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02333.x>
 35. Li, R., Wang, Q., Liu, Y., & Jiang, R. (2021). Per-capita carbon emissions in 147 countries: The effect of economic, energy, social, and trade structural changes. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 1149–1164. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.02.031>
 36. Ma, Y., Dong, B., Bai, Y., Zhang, J., & Hou, D. (2022). Spatiotemporal analysis and war impact assessment of agricultural land in Ukraine using RS and GIS technology. *Land*, 11(10), 1810. <https://doi.org/10.3390/land11101810>
 37. Ma, Y., Dong, B., Bai, Y., Zhang, J., & Hou, D. (2018). Remediation status and practices for contaminated sites in China: Survey-based analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 33216–33224. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3294-2>
 38. Mandal, D., & Roy, T. (2024). Climate change impact on soil erosion and land degradation. In H. Pathak, D. Chatterjee, S. Saha, & B. Das (Eds.), *Climate change impacts on soil-plant-atmosphere continuum* (pp. 89–110). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-99-7935-6_5
 39. 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. <https://doi.org/10.3390/su151310517>
 40. Mondaca, P., Berasaluce, M., Larraguibel-González, C., Salazar, A., Nuñez-Hidalgo, I., & Díaz-Sieffer, P. (2024). From risk assessment to land planning: The case of a trace element-contaminated area in Chile. *Land Degradation & Development*, 35(4), 1567–1579. <https://doi.org/10.1002/ldr.5008>
 41. National Academy of Sciences of Ukraine. (2023). Вчені НАН України дослідили вплив зміни клімату на сільське господарство. <https://www.nas.gov.ua/UA/Messages/Pages/View.aspx?MessageID=7830>
 42. Penny, J., Djordjević, S., & Chen, A. S. (2022). Using public participation within land use change scenarios for analysing environmental and socioeconomic drivers. *Environmental Research Letters*, 17(2), 025002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac4764>
 43. Pindozzi, 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), 27. <https://doi.org/10.4081/jae.2017.657>
 44. Pindozzi, 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. <https://doi.org/10.4081/jae.2017.657>
 45. Karmakar, R., Das, I., Dutta, D., & Rakshit, A. (2016). Potential effects of climate change on soil properties: A review. *Science International*, 4, 51–73. <https://scialert.net/abstract/?doi=sciintl.2016.51.73>
 46. Ramón, F., & Lull, C. (2019). Legal measures to prevent and manage soil contamination and to increase food safety for consumer health: The case of Spain. *Environmental Pollution*, 250, 883–891. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.04.074>
 47. Riahi, K., Rao, S., Krey, V., Cho, C., Chirkov, V., Fischer, G., Kindermann, G., Nakicenovic, N., & Rafaj, P. (2011). RCP 8.5—A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. *Climatic Change*, 109(1), 33–57. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0149-y>

48. Rodríguez-Zapata, M. A., & Ruiz-Agudelo, C. A. (2021). Environmental liabilities in Colombia: A critical review of current status and challenges for a megadiverse country. *Environmental Challenges*, 5, 100377. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100377>
49. Safi, A., Chen, Y., Wahab, S., Ali, S., Yi, X., & Imran, M. (2021). Financial instability and consumption-based carbon emission in E-7 countries: The role of trade and economic growth. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 383–391. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.10.034>
50. Schick, J. R. (1997). Risk-based cleanup objectives, land use, and transportation. *Transportation Research Record*, 1601(1), 84–87. <https://doi.org/10.3141/1601-13>
51. Shourie, A., & Singh, A. (2021). Impact of climate change on soil fertility. In D. K. Choudhary, A. Mishra, & A. Varma (Eds.), *Climate change and the microbiome* (pp. 61–76). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-76863-8_4
52. Skakun, S., Kussul, N., Shelestov, A., & Kussul, O. (2019). Satellite data reveal cropland losses in south-eastern Ukraine under military conflict. *Frontiers in Earth Science*, 7, 305. <https://doi.org/10.3389/feart.2019.00305>
53. United Nations Environment Programme. (2022). *The environmental impact of the conflict in Ukraine: A preliminary review*. <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/40745>
54. Tripathi, A., Pandey, V., & Ranjan, M. R. (2021). Climate change and its impact on soil properties. In D. K. Choudhary, A. Mishra, & A. Varma (Eds.), *Climate change and the microbiome* (pp. 117–132). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-76863-8_7
55. U.S. Environmental Protection Agency. (1989). *Risk assessment guidance for Superfund (RAGS), volume I: Human health evaluation manual*. <https://www.epa.gov/risk/risk-assessment-guidance-superfund-rags-part>
56. Ukrainian Grain Association. (n.d.). Як впливає зміна клімату на ведення сільськогосподарства в Україні. <https://uga.ua/meanings/yak-vplivaye-zmina-klimatu-na-vedennya-sil'skogo-gospodarstva-v-ukrayini/>
57. Ukrinform. (2020). Через зміни клімату на Поліссі почали вирощувати південні культури. <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3102052-cerez-zmini-klimatu-na-polissi-pocali-virosuvati-pivdeni-kulturi.html>
58. United Nations. (n.d.). *Food systems summit*. <https://www.un.org/en/food-systems-summit>
59. Vandenhove, H., & Turcanu, C. (2011). Agricultural land management options following large-scale environmental contamination. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 7(3), 385–387. <https://doi.org/10.1002/ieam.234>
60. Vandenhove, H., & Turcanu, C. (2011). Agricultural land management options following large-scale environmental contamination. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 7(3), 385–387. <https://doi.org/10.1002/ieam.234>
61. World Bank. (2023). *New World Bank study analyzes climate change impact in Ukraine*. <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2023/02/23/new-world-bank-study-analyzes-climate-change-impact-in-ukraine>
62. Chen, Y., Hou, D., Lu, C., Spain, J. C., & Luo, J. (2016). Environmental Science & Technology, 50*(17), 9400–9406. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b01840>
63. Yin, H., Prishchepov, A. V., Kuemmerle, T., Bleyhl, B., Buchner, J., & Radeloff, V. C. (2019). Agricultural abandonment and re-cultivation during and after the Chechen Wars in the northern Caucasus. *Global Environmental Change*, 55, 149–159. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2019.01.005>

Підписано до друку 22.08.2025 р. Формат 60×84/16.
Ум. друк. арк. 2.7. Наклад 100 прим. Зам. № 250528

Видавець і виготовлювач Національний університет біоресурсів
і природокористування України,
вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 4097 від 17.06.2011 р.