
СЦЕНАРІЇ АГРОВИРОБНИЧОЇ ДІЯЛЬНОСТІ НА РАДІОАКТИВНО ЗАБРУДНЕНИХ ЗЕМЛЯХ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ В УМОВАХ ПОВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ

Райчук Л. А., Швиденко І. К., Чоботько Г. М.
DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-588-4-6>

ВСТУП

Повномасштабна збройна агресія російської федерації проти України спричинила глибоку системну кризу в аграрному секторі, яка проявляється через комплекс взаємопов'язаних еколого-економічних викликів. Основними негативними наслідками для агропромислового комплексу є значні руйнування сільськогосподарської інфраструктури, фізичне порушення ґрунтового покриву, хімічне забруднення ґрунтів, деградація меліоративних систем, порушення логістичних ланцюгів та відтік кваліфікованих фахівців. Ці фактори не лише знижують продуктивність агроєкосистем, а й створюють довгострокові загрози для відтворення родючості ґрунтів, збереження біорізноманіття та стабільності сільськогосподарського виробництва. Саме ці чинники суттєво обмежують продуктивний потенціал аграрного сектору, що вимагає негайного впровадження науково обґрунтованих заходів для нівелювання їх впливу.

У нових умовах втрати значної частини сільськогосподарських угідь у східних та південних регіонах України через тимчасову окупацію, замінування і масштабну комплексну деградацію ґрунтів, особливої актуальності набуває розробка альтернативних підходів до сільськогосподарського освоєння територій. До таких підходів належить ревіталізація маргінальних та радіоактивно забруднених земель, які раніше були виведені з господарського обігу через наслідки Чорнобильської катастрофи. Перспективним напрямом досліджень у цьому контексті є можливість використання раніше виведених із господарського обігу радіоактивно забруднених земель для агровиробничої діяльності.

Актуальність досліджень зумовлена не лише необхідністю відновлення втрачених агровиробничих потужностей, а й забезпечення продовольчої безпеки держави в умовах воєнного стану і післявоєнної відбудови. Важливим аспектом є те, що Українське Полісся, яке зазнало

значного радіоактивного забруднення у 1986 р., володіє потенціалом для відновлення сільськогосподарського використання за умови застосування адаптивних агротехнологій. Особливої актуальності у забезпеченні високої продуктивності аграрного виробництва на Поліссі України у воєнний і повоєнний періоди набуває комплексне використання агресурсного потенціалу рослинницької та тваринницької галузей. Це включає: формування сівозмін із найбільш адаптованих і продуктивних культур, застосування органо-мінеральних систем удобрення, забезпечення оптимального водного режиму та адаптації до змін клімату.

Сьогодні науковий дискурс щодо рекультивації радіоактивно забруднених земель зосереджений на пошуку балансу між економічною доцільністю, екологічною безпекою та технологічною реалізованістю. Тому пошук ефективних агроекологічних рішень, спрямованих на формування науково обґрунтованих напрямів розвитку агроєкосистем на радіоактивно забруднених землях, що реінтегруються в аграрне виробництво в умовах воєнного стану та післявоєнної відбудови, є одним із ключових завдань сучасної аграрної науки та екологічної політики. Окрім того, важливим напрямком досліджень є оцінка ризиків для здоров'я населення та довкілля, а також розробка механізмів моніторингу радіаційного стану ґрунтів і сільськогосподарської продукції. Тому ми розглянули сценарії агровиробничої діяльності на радіоактивно забруднених землях Українського Полісся, які можуть стати основою для стратегії їх відновлення та інтеграції в сучасну систему сільськогосподарського виробництва.

1. Радіоактивно забруднені агроєкосистеми Українського Полісся: кліматичні, антропогенні та мілітарні детермінанти розвитку

Зміни клімату та наслідки воєнних дій формують нові виклики й можливості для аграрного сектору України. Спостерігається підвищення середньої річної температури, зростання суми позитивних і ефективних температур, збільшення обсягу опадів, зокрема зливового характеру, а також посилення континентальності клімату¹. Ці зміни частково створюють сприятливі умови, однак подекуди мають негативний вплив на аграрний сектор економіки. Серед основних лімітуючих факторів в отриманні господарствами високих і сталих урожаїв найбільш вагомими є наступні: нестійкий чи недостатній

¹ Tarariko, O. H., Cruse, R. M., Ilienکو, T. V., Kuchma, T. L., Kozlova, A. O., Andereiev, A. A., Yatsiuk, V. M., & Velychko, V. A. Impact of climate changes on aggroresources of Ukrainian Polissia based on geospatial data. *Agricultural Science and Practice*, 11(2), 2024. 3-29. DOI: <https://doi.org/10.15407/agrisp11.02.003>

сніговий покрив, повернення весняних приморозків, висока температура впродовж вегетації, надмірна кількість та/чи дефіцит вологи, розподіл опадів, пилові бурі, град та буревії². Так, весняні заморозки є особливо критичним фактором для плодових рослин.

Зміни клімату та активізація антропогенних факторів, зокрема військових дій, суттєво впливають на стан ґрунтового покриву, рослинність та агропромислове виробництво. Динаміка ґрунтових процесів зазнає трансформації через зміни температурного режиму та опадів, що впливає на міграцію хімічних елементів у ґрунті та їх біодоступність для рослин^{3,4,5}. Це призводить до змін у видовому складі рослинності, включаючи як традиційні для регіону сільськогосподарські культури, так і нові, більш адаптовані до кліматичних змін^{6,7}. Доречно відзначити, що територія Українського Полісся залишається регіоном, сприятливим для вирощування ріпаку та озимих зернових, таких як пшениця⁸. В умовах потепління зростає перспектива культивування нетипових для регіону культур, таких як кукурудза на зерно, соняшник і соя^{9,10,11}. Спостерігається скорочення площ під традиційними культурами, такими як цукровий буряк, що

² Галабурда С.О. Адаптація сільського господарства до глобальних кліматичних змін. *Тенденції та виклики сучасної аграрної науки: теорія і практика*: матеріали III Міжнар. наук.-практ. онлайн конф. (Київ, НУБіП, 20–22 жовтня 2021 р.). Київ : НУБіП, 2021. С. 72–74.

³ Rajib Karmakar, Indranil Das, Debashis Dutta and Amitava Rakshit. Potential Effects of Climate Change on Soil Properties: A Review. *Science International*, Vol. 4. 2016. 51–73. URL: <https://scialert.net/abstract/?doi=sciintl.2016.51.73>

⁴ Shourie, A., Singh, A. Impact of Climate Change on Soil Fertility. In: Choudhary, D.K., Mishra, A., Varma, A. (eds) *Climate Change and the Microbiome. Soil Biology*, vol 63. 2021. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-76863-8_4

⁵ Tripathi, A., Pandey, V., Ranjan, M.R. Climate Change and Its Impact on Soil Properties. In: Choudhary, D.K., Mishra, A., Varma, A. (eds) *Climate Change and the Microbiome. Soil Biology*, vol 63. 2021. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-76863-8_7

⁶ Ali, M. Effects of Climate Change on Vegetation. In: *Climate Change Impacts on Plant Biomass Growth*. 2013. Springer, Dordrecht. DOI https://doi.org/10.1007/978-94-007-5370-9_4

⁷ World Bank. (2023). New World Bank Study Analyzes Climate Change Impact in Ukraine. URL: <https://www.worldbank.org/ext/en/home> (дата звернення 20.03.2025).

⁸ AgroTimes. Перспективи Полісся. Retrieved August 27, 2024, from <https://agrotimes.ua/article/perspektyvy-polissya/> (дата звернення 26.04.2022)

⁹ National Academy of Sciences of Ukraine. Вчені НАН України дослідили вплив зміни клімату на сільське господарство. URL: <https://www.nas.gov.ua/UA/Messages/Pages/View.aspx?MessageID=7830> (дата звернення 27 серпня 2024).

¹⁰ Ukrainian Grain Association. (n.d.). Як впливає зміна клімату на ведення сільського господарства в Україні. URL: <https://uga.ua/meanings/yak-vplivaye-zmina-klimatu-na-vedennya-silskogo-gospodarstva-v-ukrayini/> (дата звернення 27 серпня 2024).

¹¹ Ukrinform. Через зміни клімату на Поліссі почали вирощувати південні культури. Retrieved. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3102052-cerez-zmini-klimatu-na-polissi-pocali-virosuvati-pivdeni-kulturi.html> (дата звернення 27 серпня 2024).

зумовлено змінами водного і температурного режимів, а також інтенсифікацією ерозійних процесів.

Зростання інтенсивності вітрової та водної ерозії потребує впровадження інноваційних агротехнологій, таких як крапельне зрошення та методи мінімального обробітку ґрунту (No-Till, Mini-Till, Strip-Till)^{12,13,14,15,16}. Додатковим негативним чинником стала деградація ґрунтів унаслідок бойових дій, що супроводжується зміною ландшафтною структури й порушенням ґрунтового профілю, що, у свою чергу, обумовлює необхідність розробки нових підходів до агровиробничого планування^{17,18}. Варто також врахувати задеклароване Україною амбітне прагнення до інтеграції в Європейський простір і імплементації екологічних директив, стратегій і ініціатив ЄС, що передбачено «зеленим відновленням». Саме тому в умовах складної соціально-економічної ситуації особливої актуальності набуває впровадження ресурсо- та енергозберігаючих технологій, що відповідає стратегічним орієнтирам Європейського зеленого курсу (ЄЗК). Відповідно до офіційного курсу України щодо дотримання міжнародних кліматичних угод та принципів ЄЗК, сільськогосподарське виробництво розглядається як один із ключових факторів викидів парникових газів. В свою чергу, цей показник може бути одним із основних індикаторів ефективності ведення сільського господарства та, відповідно, використання агроєкосистем в найближчому майбутньому.

Враховуючи негативні наслідки бойових дій для економіки та навколишнього середовища, серед можливих сценаріїв змін

¹² Cao X, Cheng Y, Jiao J, Jian J, Bai L, Li J, Ma X. Impact of Land Use/Cover Changes on Soil Erosion by Wind and Water from 2000 to 2018 in the Qaidam Basin. *Land* 2023; 12(10):1866. DOI: <https://doi.org/10.3390/land12101866>

¹³ Lal R. Restoring Soil Quality to Mitigate Soil Degradation. *Sustainability*. 2015; 7(5):5875-5895. DOI: <https://doi.org/10.3390/su7055875>

¹⁴ Mandal D., Roy T. Climate Change Impact on Soil Erosion and Land Degradation. In: Pathak, H., Chatterjee, D., Saha, S., Das, B. (eds) *Climate Change Impacts on Soil-Plant-Atmosphere Continuum. Advances in Global Change Research*, vol 78. 2024. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-7935-6_5

¹⁵ Tripathi A., Pandey V., Ranjan M.R. Climate Change and Its Impact on Soil Properties. In: Choudhary, D.K., Mishra, A., Varma, A. (eds) *Climate Change and the Microbiome. Soil Biology*, vol 63. 2021. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-76863-8_7

¹⁶ Weng, X.; Zhang, B.; Zhu, J.; Wang, D.; Qiu, J. Assessing Land Use and Climate Change Impacts on Soil Erosion Caused by Water in China. *Sustainability* 2023, 15, 7865. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15107865>

¹⁷ Dzombak R. 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> (дата звернення 21 червня 2022 р.).

¹⁸ Greenaway R. and Beacon L. Polluted soil from Ukrainian battlefields analysed. *BBC News*. <https://www.bbc.com/news/uk-england-gloucestershire-66743257> (дата звернення 7 вересня 2023 р.)

кліматичних параметрів найімовірнішим є реалізація сценарію RCP 8.5 (Representative Concentration Pathway 8.5), або «сценарій бізнесу як звичайно»^{19,20,21}, оскільки занепад економіки не дозволить впровадити «зелені» технології та реалізувати всі вимоги кліматичних угод, у т. ч. ЄЗК. Тобто одним із визначальних чинників підвищення рівня викидів парникових газів в Україні є обмежені можливості для переходу на відновлювані джерела енергії в умовах воєнного стану²². Використання вугілля, нафти та природного газу залишається основним способом забезпечення енергетичних потреб, що суттєво підвищує обсяги шкідливих викидів. Війна спричиняє економічну нестабільність, що істотно обмежує інвестиційні можливості у розвиток екологічно чистих технологій та інфраструктури. У таких умовах пріоритетними стають нагальні потреби забезпечення безпеки та стабільності, тоді як довгострокові екологічні ініціативи відступають на другий план. Руйнування енергетичної та промислової інфраструктури внаслідок бойових дій призводить до її відновлення із застосуванням переважно традиційних, менш екологічних технологій, що також посилює негативний вплив на довкілля. Масове внутрішнє переміщення населення створює підвищене навантаження на природні ресурси в безпечніших регіонах, що супроводжується збільшенням викидів парникових газів і посиленням тиску на екосистеми²⁰. Наслідком такої ситуації є прискорення глобального потепління, уповільнення процесів екологічного відновлення та підвищення ризику деградації природних систем в Україні²³.

Разом з тим існують альтернативні, менш поширені сценарії, **як то сценарій локальних збройних конфліктів**, за якого очікується певне зниження економічної активності, що, у свою чергу, може призвести до тимчасового скорочення обсягів викидів парникових газів. Даний

¹⁹ Climate Nexus. RCP 8.5: Business-as-usual or a worst-case scenario? URL: <https://climatenexus.org/climate-change-news/rcp-8-5-business-as-usual-or-a-worst-case-scenario/> (дата звернення 27 березня 2025 р.).

²⁰ Hausfather Z. Explainer: The high-emissions 'RCP8.5' global warming scenario. Carbon Brief. Retrieved from <https://www.carbonbrief.org/explainer-the-high-emissions-rcp8-5-global-warming-scenario> (дата звернення 27 березня 2025 р.).

²¹ Riahi, K., Rao, S., Krey, V., Cho, C., Chirkov, V., Fischer, G., Kindermann, G., Nakicenovic, N., & Rafaj, P. RCP 8.5—A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. *Climatic Change*, 109, 33. 2011. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-011-0149-y>

²² Snizhko S., Shevchenko O., Didovets I., Krukivska A., Kostyrko I. Assessment of changes in the main climatic parameters over the territory of Ukraine during the XXI century according to scenarios based on representative concentration pathways (RCP). *Monitoring 2020. EAGE*. URL: https://eage.in.ua/wp-content/uploads/2020/11/32PosterMonitoring2020_32.pdf

²³ Representative Concentration Pathway. (n.d.). In Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Representative_Concentration_Pathway (дата звернення 27 березня 2025 р.).

сценарій має істотний вплив на стан довкілля та економіку на локальному рівні. Руйнування інфраструктури, масштабні пожежі, забруднення повітря, ґрунтів і водних ресурсів створюють комплексний негативний екологічний ефект, що може мати суттєві локальні кліматичні наслідки. Викиди диму та токсичних речовин в атмосферу, спричинені обстрілами промислових об'єктів і стратегічної інфраструктури, здатні викликати тимчасові локальні кліматичні аномалії, включно з утворенням пилових бур і підвищенням рівня забруднення атмосфери. Наслідками даного сценарію є зниження якості повітря, порушення режиму опадів у окремих регіонах та потенційне локальне зниження температури внаслідок високої концентрації аерозольних часток у повітрі. Одночасно з цим деградація сільськогосподарських угідь стає дедалі очевиднішою, що безпосередньо впливає на врожайність культур і створює додаткові ризики для забезпечення продовольчої безпеки.

Дещо схожим є *сценарій економічного колапсу*, що передбачає різке падіння економічної активності, яке може призвести до зниження викидів парникових газів у короткостроковій перспективі. Після початкового скорочення викидів, пов'язаного зі зменшенням виробництва та споживання, економічний колапс може мати інші серйозні наслідки для клімату. Тобто, зниження економічної активності через військові дії може тимчасово скоротити викиди парникових газів, особливо в промислово розвинених регіонах, але необхідність її відбудови може спричинити значне навантаження на екосистеми, особливо у випадку застосування екстенсивних технологій²⁴. Це може викликати додатковий тиск на кліматичну систему та екосистеми.

Загалом вплив кліматичних змін на розвиток сільського господарства в Україні є неоднозначним, оскільки спостерігаються як позитивні, так і негативні тенденції. За нашими спостереженнями, регіони Полісся та Лісостепу демонструють більш інтенсивне підвищення температури порівняно зі степовими зонами України. Зокрема, середня температура зимового періоду в цих регіонах зросла на 1,5-2 °C¹⁰. Відповідні зміни клімату призводять до збільшення ризиків, таких як вимерзання посівів через залягання притертої льодяної кірки, а також зменшення промерзання ґрунту до глибини 20–70 см, що призводить до поширення шкідників, збудників хвороб та карантинних об'єктів, збільшенням їхньої чисельності та кількості генерацій.

Водночас на Поліссі спостерігається збільшення тривалості активної вегетації в середньому на 10 днів, і до 2030 р. цей період може

²⁴ Cergibozan, R., Akusta, E. Energy, Economic Growth, and Ecological Collapse. In: Ari, A. (eds) Capitalism at a Crossroads. *Springer Studies in Alternative Economics*. Springer, Cham. 2023. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-23257-2_3

збільшитися ще на 10 днів. Це створює сприятливі умови для вирощування теплолюбних культур, таких як ріпак і соняшник. Зокрема, до 2030 р. в північному Поліссі можна буде повноцінно вирощувати ранньо– та середньостиглі сорти соняшника з високою врожайністю.

При аналізі перспектив розвитку агроєкосистем радіоактивно забруднених районів Українського Полісся необхідно враховувати комплекс взаємопов'язаних чинників: радіоактивне забруднення і перелік культур і сортів, придатних до вирощування на таких землях; кліматичні зміни, які диктують напрямки розвитку як рослинництва, так і тваринництва, на які реагує в першу чергу бізнес; воєнний аспект, який можна умовно розділити на екологічну складову (багатопланове порушення ландшафтів) та безпекову (деякі території є недоступними не лише для використання, але і фізичного доступу); соціальний чинник, а саме міграцію населення і пов'язані з цими зміни в навантаженні на екосистемні послуги, необхідність розвитку тих чи інших галузей, наявність спеціалістів певної категорії тощо; економічний чинник, у т. ч. загальнодержавний і регіональний економічний стани, промислові потужності в регіоні Полісся і сусідніх територіях, транскордонні зв'язки, об'єктивна необхідність у максимальному використанні сільськогосподарських земель з метою компенсації тимчасової втрати угідь півдня і сходу держави; міжнародні екологічні зобов'язання нашої держави, які накладають певні вимоги щодо, скажімо, співвідношення угідь певної категорії, викидів парникових газів, впровадження екологічних інновацій тощо. Опосередковано впливають також інвестиційний клімат і внутрішня політика держави.

Розвиток і ефективне використання агроєкосистем повинне забезпечити стале виробництво якісних продуктів харчування в рамках міжнародних екологічних зобов'язань нашої держави. Відповідно до Самміту продовольчих систем ООН вересня 2021 р., забезпечення сталого виробництва продуктів харчування реалізується через взаємодію цілого комплексу різних чинників: циркулярна економіка, відновлювальна енергетика, пестициди та добрива, врахування емісії парникових газів, врахування антимікробної резистентності (АМР), органічне сільське господарство, екосхеми (екологічні ініціативи), реформа Спільної аграрної політики (САР) Європейського Союзу тощо²⁵.

Зважаючи на весь комплекс кліматичних змін, екологічних викликів антропогенного походження, перебудови світового економічного ринку

²⁵ United Nations. (n.d.). Food Systems Summit. United Nations. URL: <https://www.un.org/en/food-systems-summit> (дата звернення 3 вересня 2024 р.).

варто звернути увагу на нові напрямки розвитку агроєкосистем, зокрема на біоенергетичний напрямок. Біологічні види палива забезпечують збереження природних ресурсів, та створюють передумови для енергетичної й економічної незалежності.

2. Реабілітація радіоактивно забруднених агроєкосистем Українського Полісся: інноваційні стратегії в умовах кліматичних змін, воєнних наслідків та сталого розвитку

Розробка ефективної стратегії реабілітації територій, постраждалих унаслідок катастрофи на Чорнобильській АЕС, вимагає застосування холістичного та міждисциплінарного підходу. Такий підхід передбачає всебічний аналіз усіх аспектів проблематики регіону з урахуванням як історичних чинників, так і сучасних викликів. Особливу увагу необхідно приділити комплексній оцінці специфічних проблем, що накопичувалися протягом тривалого періоду. Серед ключових аспектів слід відзначити наслідки незбалансованого застосування агротехнічних заходів, зокрема меліорації та надмірного використання мінеральних добрив, що спричинили деградацію ґрунтів і зниження їх родючості. Значний негативний вплив також мало надмірне розорювання земель, яке посилює ерозійні процеси, а також скорочення площ лісових насаджень, що призвело до порушення структури екосистем і зменшення біорізноманіття. Важливим є також врахування соціально-економічних характеристик регіону, які були змінені як безпосередньо через аварію, так і через її довготривалі наслідки, що спричинили відтік населення, зміни в економічній структурі та зниження якості життя місцевих громад. Водночас, стратегія реабілітації повинна брати до уваги і глобальні та регіональні зміни, які впливають на цей регіон у сучасних умовах.

Не можна оминути увагою і наслідки російської воєнної агресії, які мають багатогранний вплив, включаючи як екологічні наслідки, так і значні соціально-економічні втрати. Війна спричинила додаткове забруднення територій, руйнування інфраструктури та масове переміщення населення, що ще більше ускладнює процес відновлення. Тобто, можна з упевненістю стверджувати, що воєнна агресія як багатфакторне явище формує нову парадигму розвитку агроєкосистем у зонах радіоактивного та техногенного забруднення, вимагаючи міждисциплінарного підходу до реабілітації територій, що інтегрує екологічні, соціально-економічні та безпекові аспекти сталого розвитку.

Таким чином, для досягнення цілей реабілітації постраждалих територій необхідно застосувати комплексний підхід, що інтегрує знання з різних дисциплін, враховуючи весь спектр впливів, як історичних, так і сучасних, та забезпечує узгодженість дій на всіх рівнях

управління. Тільки такий всебічний і скоординований підхід дозволить максимально ефективно відновити екологічну рівновагу і сприяти сталому розвитку постраждалих територій у майбутньому.

Таким чином, враховуючи комплексний характер проблем, що виникли у регіоні внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС та додатково ускладнилися внаслідок збройної агресії, а також з огляду на необхідність розробки ефективних стратегій його реабілітації, постає нагальна потреба у створенні оптимізованих модельних сценаріїв агровиробничої діяльності. Їх розробка має базуватися на всебічному урахуванні природно-кліматичних факторів та наслідків радіоактивного забруднення, які визначають специфіку використання земельних ресурсів у цьому регіоні. Застосування таких модельних сценаріїв сприятиме мінімізації ризиків для здоров'я населення, а також створить умови для сталого розвитку аграрного сектору в умовах підвищеного радіаційного фону, забезпечуючи водночас екологічну безпеку та економічну ефективність агровиробництва.

Для успішної адаптації ведення аграрного виробництва на території Українського Полісся до сучасних кліматичних умов та комплексного антропогенного порушення необхідно впроваджувати інноваційні підходи, які забезпечать стале використання ресурсів, підтримку біорізноманіття та збереження продуктивності земельних ресурсів. Важливо зазначити, що значна частина інноваційних рішень стала доступною для застосування в регіоні Полісся саме внаслідок кліматичних змін.

Одним із важливих напрямів є біологічні інновації, які включають розробку та впровадження нових сортів і гібридів сільськогосподарських культур. Ці інновації мають на меті підвищення врожайності, стійкості рослин до хвороб, шкідників та стресових умов навколишнього середовища. Технічні інновації відіграють не менш важливу роль у модернізації сільського господарства. Вони включають використання нових видів техніки, обладнання та устаткування, що дозволяють автоматизувати процеси та підвищити продуктивність. Удосконалення технологічних процесів, зокрема, стосується нових методів вирощування та обробки культур, а також переробки сільськогосподарської сировини. Крім того, розробка та впровадження власних пакувальних ліній і вдосконалення упаковки та перевезення продукції сприяють збереженню її якості та продовженню терміну зберігання.

Особливого значення у сучасних умовах набуває впровадження екологічно обґрунтованих систем землеробства, спрямованих на забезпечення сталого розвитку агроєкосистем та збереження природних ресурсів. Основою таких систем є використання ресурсозберігаючих та

енергозберігаючих технологій, які сприяють оптимізації споживання води, енергії та мінеральних добрив, що, у свою чергу, дозволяє зменшити антропогенний тиск на довкілля.

У рамках цього підходу важливу роль відіграють хімічні інновації, орієнтовані на створення нових типів добрив і засобів захисту рослин. Впровадження удосконалених формул і сучасних методів застосування хімічних препаратів забезпечує підвищення ефективності захисту культур від шкідників та хвороб при одночасному збереженні родючості ґрунтів. Це є критично важливим чинником для підтримання екологічної рівноваги та стабільності агроєкосистем у довгостроковій перспективі.

У сфері економіки аграрні підприємства активно впроваджують інновації, спрямовані на оптимізацію організаційної структури та підвищення конкурентоспроможності. Це включає застосування нових форм організації підприємств і використання механізмів інноваційного розвитку, що дозволяє адаптувати виробничі системи до вимог сучасного аграрного ринку. Важливу роль у цьому процесі відіграють соціальні інновації, які створюють сприятливі умови для життя, праці та відпочинку сільського населення, тим самим сприяючи підвищенню якості життя у сільській місцевості. Окремо слід відзначити управлінські інновації, що охоплюють нові форми організації праці та сучасні методи управління персоналом, спрямовані на зростання продуктивності праці та загальної ефективності господарської діяльності.

Не менш важливими є маркетингові інновації, які включають розширення ринків збуту, пошук нових партнерських відносин, диверсифікацію та розширення асортименту продукції. Важливою складовою підвищення якості продукції та послуг аграрних підприємств є впровадження сертифікаційних процедур і стандартизації відповідно до міжнародних вимог, що сприяє підвищенню їх конкурентоспроможності на глобальному ринку.

Таким чином, упровадження економічних, соціальних, управлінських та маркетингових інновацій формує міцну основу для підвищення ефективності аграрних підприємств і забезпечення їхнього сталого розвитку в умовах сучасних економічних і екологічних викликів.

3. Адаптивні модельні сценарії агровиробництва на радіоактивно забруднених землях: оптимізація в умовах кліматичних змін, воєнних наслідків та екологічної безпеки

Проведені нами дослідження виявили, той факт, що дані сценарії агровиробничої діяльності демонструють різну ефективність залежно

від конкретних умов регіону, зокрема ступеня радіоактивного забруднення, наслідків бойових дій та кліматичних особливостей. Кожен із розглянутих підходів має свої особливості, переваги та обмеження, що вимагає ретельного наукового обґрунтування їх застосування. Але важливим аспектом є те, що жоден із сценаріїв не може вважатися універсальним рішенням.

Таким чином, нами було модифіковано моделі агропромислового виробництва у сценарії відповідно до основних чинників: вплив кліматичних змін, адаптація сільськогосподарських практик, перспективи вирощування сільськогосподарських культур, вплив ерозії та деградації ґрунтів (у т.ч. через бойові дії, забруднення), соціально-економічні та інноваційні рішення:

- **вплив кліматичних змін** (ведення 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);

- **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);

- **перспективи вирощування сільськогосподарських культур** (введення нових культур, таких як соя, соняшник, гречка, міскантус, верба, дозволяє диверсифікувати виробництво та підвищити його стійкість до змін клімату);

- **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 фіторе mediaції і фітодеградації; відновлення порушених ділянок шляхом посіву багаторічних трав і заліснення допомагає відновити екосистему);

- **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)^{26,27,28,29}.

Сценарій № 1 «Сучасна практика» (контроль, рослинницький напрямок). Запропонований сценарій агровиробничої діяльності імітує сучасну практику спеціалізованого землеробства без інтеграції тваринництва та без застосування мінеральних добрив. Основу сівозміни становлять зернові культури та картопля із середньою урожайністю на рівні 2,5 та 15 т/га. У післявоєнних умовах за обмежених фінансових ресурсів та за відсутності іноземних інвестицій дана модель є найбільш реалістичною для коротко– та середньострокового періоду.

Модифікація сценарію передбачає введення або заміну сільськогосподарських культур з урахуванням кліматичних змін та їхньої здатності до накопичення радіонуклідів. Зокрема, до сівозміни доцільно включити сою (стійка до змін клімату, висока продуктивність, низький рівень акумуляції радіонуклідів), соняшник (ефективний у фітореMediaційних процесах, адаптований до потепління клімату) та гречку (стійка до посухи, короткий вегетаційний період, знижена здатність до накопичення радіонуклідів). Запропонована ротація культур включає послідовність: озима пшениця – картопля – соя – соняшник – гречка.

У технологічному аспекті передбачається застосування мінімального та безвідвального обробітку ґрунту, що сприятиме збереженню його структури, зниженню ерозійних процесів, оптимізації водного режиму та мінімізації енергетичних витрат. В умовах обмежених фінансових можливостей широке впровадження інноваційних технологій буде ускладнене, що обумовлює потребу в раціоналізації використання наявних ресурсів. Щодо удобрення, за умов дефіциту фінансування доцільним є використання рослинних

²⁶ Тараріко М. Ю. Оцінювання балансу елементів живлення в зерно-картопляній сівозміні за традиційної та альтернативної систем удобрення. *Вісник аграрної науки*. Київ, 2015. 93(7). 71–74. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201507-15>

²⁷ Тараріко М.Ю. Еколого-економічне обґрунтування, імітаційних моделей аграрного виробництва на радіоактивно забруднених землях Полісся. *Економіст*. Київ, 2015. 10. С. 43–45.

²⁸ Тараріко М.Ю. Економічна ефективність в системі відтворення агроекологічних функцій радіоактивно забруднених дерново-підзолистих ґрунтів. *Таврійський науковий вісник*. 2015. Вип. 93. С. 260–265.

²⁹ Тараріко М.Ю. Економічна та енергетична ефективність систем відтворення агроекологічних функцій радіоактивно забруднених дерново-підзолистих ґрунтів. *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*. Львів: РВВ НЛТУ України, 2015. Вип. 25.7. С. 278–284.

решток як джерела органічної речовини для підтримання родючості ґрунтів. Фіторе mediaційні заходи включають використання соняшника та гірчиці для поступового зменшення вмісту важких металів і радіонуклідів у ґрунтах. Додатковим напрямом агроекологічної оптимізації є створення лісових смуг з метою протидії вітровій та водній ерозії ґрунтів, а також покращення мікрокліматичних умов на полях.

У випадку суттєвого руйнування ґрунтового покриву внаслідок бойових дій доцільно розглядати можливість закладання багаторічних насаджень – садів та ягідників – із посівами багаторічних бобових трав (конюшини, люцерни) у міжряддях, що сприятиме стабілізації ґрунтового середовища, підвищенню його родючості та забезпеченню додаткових джерел доходу.

Сценарій № 2 «Молочне скотарство» (рослинницько-тваринницький напрямок). Сівозміна: кукурудза, овес, люпин, тритикале (з врожайністю культур на варіанті дослід 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 даного сценарію передбачає 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 культури) – 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 ґрунту передбачає впровадження ресурсозберігаючих технологій, зокрема технології **Strip-till** та **комбіновані знаряддя для збереження структури ґрунту, зменшення ерозії та покращення водоутримуючої здатності ґрунту. Доцільно використовувати органічні добрива тваринного походження, рослині рештки та біодобрива, частково міндобрива.** Інноваційні технології, включно із застосуванням геоінформаційних систем (ГІС), можуть бути впроваджені за умови залучення іноземних інвестицій або спеціалізованих державних програм.

Фіторе mediaційні заходи передбачають 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.

Сценарій № 3 «Біоенергетичний» (тваринницько-рослинницький напрямок). Запропонована модель агровиробничої діяльності передбачає 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 винесені з урожаєм макро– і мікроелементи.

Модифікація сівозміни відповідно до специфікації сценарію і нових кліматичних умов: 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 (фіторе mediaція, виробництво біодизеля) – міскантус або багаторічні трави (високу 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).

Пропонується впровадження мінімального та смугового обробітку 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.** Можливе використання елементів точного землеробства, біогазових установок та інших технологічних рішень для підвищення ефективності виробництва за умов доступу до фінансування. Рекомендоване використання біогумусу, органічних добрив, біопрепаратів із частковим застосуванням мінеральних добрив відповідно до потреб культур та стану ґрунтів. **Процес фіторе mediaції відбувається 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.

Сценарій № 4 «М'ясне скотарство» (тваринницький напрямок). У класичному модельованому варіанті передбачається, що сівозміна включає найбільш продуктивні культури, що забезпечують збалансовану кормову базу галузі молочно-м'ясного скотарства з високою врожайністю 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 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.

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 ґрунтового покриття 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. Доцільно поряд із традиційним органо-мінеральним удобренням використовувати біогумус, органічні добрива, біопрепарати.

Процес фіторе mediaції повинен відбуватись переважно завдяки використанню культур, таких як люпин і горох. При перевищенні допустимих рівнів радіоактивного забруднення у кормі тварин варто застосовувати концентрований корм з інших регіонів, а також передзабійну відгодівлю чистими кормами.

Сценарій № 5 «М'ясне скотарство» (інтенсивний тваринницький напрямок). Модельований сценарій передбачає збільшення поголів'я тварин удвічі 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.

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).

Обробіток ґрунту мінімальний та нульовий за можливості використовується для таких культур як пшениця озима і овес. Традиційний обробіток ґрунту використовується для культур, які потребують глибокого обробітку ґрунту, це такі культури 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. Доцільно поряд із традиційним органо-мінеральним удобренням використовувати біологічні препарати.

Застосування інноваційних технологій доступне за умови значних інвестицій – система точного землеробства, застосування ГІС-технологій, біогазові установки, автоматизація процесу годівлі і доїння худоби тощо. Фіторе mediaція ґрунту та біодеградація можливі за необхідності завдяки коригуванню набору культур та застосування біопрепаратів.

ВИСНОВКИ

Проведене дослідження доводить, що розвиток агроєкосистем на радіоактивно забруднених землях Українського Полісся потребує індивідуалізованого підходу, що враховує специфічні умови кожного господарства. Жоден із запропонованих сценаріїв агровиробництва не може вважатися універсальним, оскільки їх ефективність суттєво залежить від рівня радіоактивного забруднення, ступеня деградації ґрунтів, кліматичних особливостей та наявності інфраструктури.

Ключовим результатом дослідження стало обґрунтування оптимальних стратегій ведення сільськогосподарського виробництва, які поєднують традиційні та інноваційні підходи. Зокрема, доведено ефективність ресурсозберігаючих технологій (мінімальний обробіток ґрунту, сівозміни з бобовими культурами) та методів фіторе mediaції (використання соняшнику, гірчиці та міскантусу) для поступового відновлення продуктивності земель. Одночасно підкреслюється важливість інтеграції рослинництва з тваринництвом, що дозволяє підвищити економічну ефективність господарств при дотриманні радіологічних норм.

Воєнні наслідки значно ускладнили процес реабілітації забруднених територій, спричинивши додаткову деградацію ґрунтів та руйнування інфраструктури. Однак у деяких випадках вони створили умови для

застосування інноваційних підходів до відновлення земель, зокрема через контурні насадження та створення нових агроландшафтів.

Перспективним напрямом подальших досліджень є розробка інтегрованих моделей агровиробництва, які оптимально поєднуюватимуть екологічну безпеку з економічною ефективністю. Особливу увагу варто приділити адаптації сільськогосподарських практик до змін клімату, а також вдосконаленню методів моніторингу стану ґрунтів і рослин на забруднених територіях. Це дозволить створити більш гнучкі та ефективні системи ведення сільського господарства в умовах множинних стресових факторів.

АНОТАЦІЯ

У межах дослідження проаналізовано актуальну проблему розвитку агроєкосистем на радіоактивно забруднених територіях Українського Полісся, що потребує диференційованого підходу до ведення сільського господарства. Результати дослідження показали, що ефективність ведення агровиробничої діяльності значною мірою залежить від рівня радіоактивного забруднення, стану ґрунтів, кліматичних умов та наявної інфраструктури, що виключає можливість застосування універсальних сценаріїв. Обґрунтовано доцільність впровадження комбінованих стратегій, які включають як традиційні, так і інноваційні технології. Встановлено ефективність використання ресурсозберігаючих методів (мінімальний обробіток ґрунту, сівоzmіни з бобовими культурами) та фіторе mediaційних заходів із залученням культур-аккумуляторів (соляшник, гірчиця, міскантус). Важливим аспектом стало інтегрування рослинництва і тваринництва для підвищення економічної стабільності господарств за умов дотримання радіологічних норм. Зазначено, що наслідки воєнних дій посилили деградацію земель та ускладнили їх відновлення, водночас відкривши можливості для впровадження нових агроєкологічних практик. У перспективі запропоновано розробку інтегрованих моделей агровиробництва, що поєднують екологічну безпеку, адаптацію до змін клімату та економічну ефективність.

Література

1. Tarariko, O. H., Cruse, R. M., Ilienکو, T. V., Kuchma, T. L., Kozlova, A. O., Andereiev, A. A., Yatsiuk, V. M., & Velychko, V. A. Impact of climate changes on aggroresources of Ukrainian Polissia based on geospatial data. *Agricultural Science and Practice*, 11(2), 2024. 3-29. DOI: <https://doi.org/10.15407/agrisp11.02.003>

2. Галабурда С.О. Адаптація сільського господарства до глобальних кліматичних змін. *Тенденції та виклики сучасної аграрної науки: теорія і практика*: матеріали III Міжнар. наук.-практ. онлайн конф. (Київ, НУБіП, 20–22 жовтня 2021 р.). Київ : НУБіП, 2021. С. 72–74.

3. Rajib Karmakar, Indranil Das, Debashis Dutta and Amitava Rakshit. Potential Effects of Climate Change on Soil Properties: A Review. *Science International*, Vol. 4. 2016. 51–73. URL: <https://scialert.net/abstract/?doi=sciintl.2016.51.73>
4. Shourie, A., Singh, A. Impact of Climate Change on Soil Fertility. In: Choudhary, D.K., Mishra, A., Varma, A. (eds) *Climate Change and the Microbiome. Soil Biology*, vol 63. 2021. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-76863-8_4
5. Tripathi, A., Pandey, V., Ranjan, M.R. Climate Change and Its Impact on Soil Properties. In: Choudhary, D.K., Mishra, A., Varma, A. (eds) *Climate Change and the Microbiome. Soil Biology*, vol 63. 2021. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-76863-8_7
6. Ali, M. Effects of Climate Change on Vegetation. In: *Climate Change Impacts on Plant Biomass Growth*. 2013. Springer, Dordrecht. DOI https://doi.org/10.1007/978-94-007-5370-9_4
7. World Bank. (2023). New World Bank Study Analyzes Climate Change Impact in Ukraine. URL: <https://www.worldbank.org/ext/en/home> (дата звернення 20.03.2025).
8. AgroTimes. Перспективи Полісся. Retrieved August 27, 2024, from <https://agrotimes.ua/article/perspektyvy-polissya/> (дата звернення 26.04.2022).
9. National Academy of Sciences of Ukraine. Вчені НАН України дослідили вплив зміни клімату на сільське господарство. URL: <https://www.nas.gov.ua/UA/Messages/Pages/View.aspx?MessageID=7830> (дата звернення 27 серпня 2024).
10. Ukrainian Grain Association. (n.d.). Як впливає зміна клімату на ведення сільського господарства в Україні. URL: <https://uga.ua/meanings/yak-vplivaye-zmina-klimatu-na-vedennya-sil'skogo-gospodarstva-v-ukrayini/> (дата звернення 27 серпня 2024).
11. Ukrinform. Через зміни клімату на Поліссі почали вирощувати південні культури. Retrieved. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3102052-cerez-zmini-klimatu-na-polissi-pocali-virosuvati-pivdenni-kulturi.html> (дата звернення 27 серпня 2024).
12. Cao X, Cheng Y, Jiao J, Jian J, Bai L, Li J, Ma X. Impact of Land Use/Cover Changes on Soil Erosion by Wind and Water from 2000 to 2018 in the Qaidam Basin. *Land* 2023; 12(10):1866. DOI: <https://doi.org/10.3390/land12101866>
13. Lal R. Restoring Soil Quality to Mitigate Soil Degradation. *Sustainability*. 2015; 7(5):5875-5895. DOI: <https://doi.org/10.3390/su7055875>
14. Mandal D., Roy T. Climate Change Impact on Soil Erosion and Land Degradation. In: Pathak, H., Chatterjee, D., Saha, S., Das, B. (eds) *Climate Change Impacts on Soil-Plant-Atmosphere Continuum. Advances in Global Change Research*, vol 78. 2024. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-7935-6_5

15. Tripathi A., Pandey V., Ranjan M.R. Climate Change and Its Impact on Soil Properties. In: Choudhary, D.K., Mishra, A., Varma, A. (eds) *Climate Change and the Microbiome. Soil Biology*, vol 63. 2021. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-76863-8_7

16. Weng, X.; Zhang, B.; Zhu, J.; Wang, D.; Qiu, J. Assessing Land Use and Climate Change Impacts on Soil Erosion Caused by Water in China. *Sustainability* 2023, 15, 7865. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15107865>

17. Dzombak R. 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> (дата звернення 21 червня 2022 р.).

18. Greenaway R. and Beacon L. Polluted soil from Ukrainian battlefields analysed. *BBC News*. <https://www.bbc.com/news/uk-england-gloucestershire-66743257> (дата звернення 7 вересня 2023 р.)

19. Climate Nexus. RCP 8.5: Business-as-usual or a worst-case scenario? URL: <https://climatenexus.org/climate-change-news/rcp-8-5-business-as-usual-or-a-worst-case-scenario/> (дата звернення 27 березня 2025 р.).

20. Hausfather Z. Explainer: The high-emissions 'RCP8.5' global warming scenario. *Carbon Brief*. Retrieved from <https://www.carbonbrief.org/explainer-the-high-emissions-rcp8-5-global-warming-scenario> (дата звернення 27 березня 2025 р.).

21. Riahi, K., Rao, S., Krey, V., Cho, C., Chirkov, V., Fischer, G., Kindermann, G., Nakicenovic, N., & Rafaj, P. RCP 8.5—A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. *Climatic Change*, 109, 33. 2011. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-011-0149-y>

22. Snizhko S., Shevchenko O., Didovets I., Krukivska A., Kostyrko I. Assessment of changes in the main climatic parameters over the territory of Ukraine during the XXI century according to scenarios based on representative concentration pathways (RCP). *Monitoring 2020. EAGE*. URL: https://eage.in.ua/wp-content/uploads/2020/11/32PosterMonitoring2020_32.pdf

23. Representative Concentration Pathway. (n.d.). In Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Representative_Concentration_Pathway (дата звернення 27 березня 2025 р.).

24. Cergibozan, R., Akusta, E. Energy, Economic Growth, and Ecological Collapse. In: Ari, A. (eds) *Capitalism at a Crossroads. Springer Studies in Alternative Economics*. Springer, Cham. 2023. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-23257-2_3

25. United Nations. (n.d.). Food Systems Summit. United Nations. URL: <https://www.un.org/en/food-systems-summit> (дата звернення 3 вересня 2024 р.).

26. Тараріко М. Ю. Оцінювання балансу елементів живлення в зерно-картопляній сівозміні за традиційної та альтернативної систем

удобрення. *Вісник аграрної науки*. Київ, 2015. 93(7). 71–74. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201507-15>

27. Тараріко М.Ю. Еколого-економічне обґрунтування, імітаційних моделей аграрного виробництва на радіоактивно забруднених землях Полісся. *Економіст*. Київ, 2015. 10. С. 43–45.

28. Тараріко М.Ю. Економічна ефективність в системі відтворення агроекологічних функцій радіоактивно забруднених дерново-підзолистих ґрунтів. *Таврійський науковий вісник*. 2015. Вип. 93. С. 260–265.

29. Тараріко М.Ю. Економічна та енергетична ефективність систем відтворення агроекологічних функцій радіоактивно забруднених дерново-підзолистих ґрунтів. *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*. Львів: ПВБ НЛТУ України, 2015. Вип. 25.7. С. 278–284.

Information about the authors:

Raichuk Liudmyla Anatoliivna,

Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher,
Institute of Agroecology and Environmental Management of the
National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine
12, Metrologichna str., Kyiv, 03143, Ukraine

Shvydenko Iryna Kostiantynivna,

Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher,
Institute of Agroecology and Environmental Management of the
National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine
12, Metrologichna str., Kyiv, 03143, Ukraine

Chobotko Hryhorii Mykhalovych,

Doctor of Biological Sciences, Professor,
Institute of Agroecology and Environmental Management of the
National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine
12, Metrologichna str., Kyiv, 03143, Ukraine