



УДК 631/635:631.95:631.452
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.6.2023.9>

АГРОЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЕНЕРГОПОТЕНЦІАЛУ ҐРУНТІВ

В. О. Пінчук¹, Ю. В. Подоба²

Енергетична оцінка різних технологій виробництва продукції рослинництва і систем землеробства є актуальною, бо дозволяє провести аналіз складного процесу на основі застосування зведених даних, та порівняти різні процеси або етапи виробництва за уніфікованим розрахунковим показником або коефіцієнтом. Вона полягає у визначенні співвідношення енергетичних витрат на виробництво продукції рослинництва до кількості отриманої енергії з урожаєм на рівні агроєко-систем. Технологію виробництва доцільно вважати ефективною, якщо коефіцієнт енергетичної ефективності вище 1, оскільки вихід валової енергії перевищує витрачену сукупну непоновлювану енергію. Основною ідеєю цієї роботи є проведення агроєкологічної оцінки наслідків ведення сучасного землеробства впродовж тривалого часу на основі зміни енергопотенціалу ґрунтів як голо-вного засобу сільськогосподарського виробництва. Актуальність проведення агроєкологічних дослі-джень і представлених результатів полягає у визначенні витрат енергії ґумусу як природного резерву і ресурсу для формування і збереження енергопотенціалу ґрунтів України у процесі ви-рощування сільськогосподарських культур. Визначено баланс ґумусу орного шару ґрунту, валову енергію, накопичену господарсько-цінною частиною врожаю основних сільськогосподарських куль-тур, зміну енергоємності ґрунту за вмістом органічного вуглецю і кількість ґною, енергетично еквівалентну показнику зниження енергоємності ґрунту впродовж 1990–2021 рр. в масштабах країни і адміністративних областей. Запропоновано інформативний показник, що характеризує агроєкологічну ефективність землеробства – коефіцієнт зміни енергопотенціалу ґрунту відносно формування урожаю культур (КДег). Це відношення зміни енергоємності ґрунту до валової енергії урожаю досліджених культур, включаючи основну і побічну продукцію рослинництва, виражене у %. Також окремо виділено енергію основної і побічної продукції рослин, що виноситься з ґрунту. Встановлено, що нині у більшості регіонів України виробництво продукції рослинництва є

¹ кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, завідувач лабораторії екології тваринництва (Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ)
e-mail: pinchuk_vo@ukr.net
ORCID: 0000-0003-1000-7946

² кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник лабораторії екології тваринництва (Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ)
e-mail: yurpo@ukr.net
ORCID: 0000-0003-1000-7946

неефективним у контексті збереження енергопотенціалу ґрунту. Впродовж 2000–2021 рр. енергоємність ґрунтів в Україні щорічно знижується на 11,0–39,9 ГДж/га. Лише в 1990 р. виявлено позитивний баланс гумусу – 115,8 кг/га, або в енергетичному еквіваленті – 2,5 ГДж/га. Виявлено негативне значення $K\Delta_{eg}$ на формування урожаю досліджених культур в усіх адміністративних областях України. Найнижчий показник у Чернігівській (–48%), Житомирській (–45%) та Івано-Франківській (–39%) обл. Кількість гною, яка енергетично еквівалентна показнику зниження енергоємності ґрунтів, на одиницю площі становить 26,3–95,0 т/га/рік.

Ключові слова: аграрне виробництво, баланс гумусу, енергоємність ґрунту, валова енергія урожаю, коефіцієнт зміни енергопотенціалу ґрунтів, гній.

AGROECOLOGICAL ASSESSMENT OF ENERGY POTENTIAL OF SOILS

V. O. Pinchuk, Yu. V. Podoba

The energy assessment of various technologies for the production of crop products and agricultural systems is relevant, because it allows to conduct an analysis of a complex process based on the application of aggregated data, and to compare different processes or stages of production according to a unified calculation indicator or coefficient. It consists in determining the ratio of energy costs for the production of plant products to the amount of energy obtained with the harvest at the level of agroecosystems. The production technology should be considered effective if the energy efficiency ratio is higher than 1, since the output of gross energy exceeds the total non-renewable energy consumed. The main idea of this work is to carry out an agroecological assessment of the consequences of conducting modern agriculture for a long time based on the change in the energy potential of soils as the main means of agricultural production. The relevance of conducting agroecological research and the presented results is to determine the energy consumption of humus as a natural reserve and resource for the formation and preservation of the energy potential of the soils of Ukraine in the process of growing agricultural crops. The humus balance of the arable soil layer, the gross energy accumulated by the economically valuable part of the harvest of the main agricultural crops, the change in the energy intensity of the soil according to the content of organic carbon and the amount of manure, energetically equivalent to the indicator of the decrease in the energy intensity of the soil during 1990–2021 on the scale of the country and administrative regions, were determined. An informative indicator that characterizes the agroecological efficiency of farming is proposed – the coefficient of change in the energy potential of the soil in relation to the formation of crop yields ($K\Delta_{eg}$). This is the ratio of the change in the energy capacity of the soil to the gross energy of the crop of the studied crops, including the main and by-products of crop production, expressed in %. Also, the energy of the main and secondary products of plants, which is removed from the soil, is separately allocated. It has been established that currently in most regions of Ukraine, the production of crop products is ineffective in the context of preserving the energy potential of the soil. During 2000–2021, the energy density of soils in Ukraine decreases annually by 11.0–39.9 GJ/ha. Only in 1990, a positive balance of humus was found – 115.8 kg/ha, or in energy equivalent – 2.5 GJ/ha. The negative value of $K\Delta_{eg}$ on the formation of the crop of the studied crops was revealed in all administrative regions of Ukraine. The lowest rate is in Chernihiv (–48%), Zhytomyr (–45%) and Ivano-Frankivsk (–39%) regions. The amount of manure, which is energetically equivalent to the indicator of the decrease in energy intensity of the soils per unit area, is 26.3–95.0 t/ha/year.

Key words: agricultural production, humus balance, soil energy capacity, gross crop energy, coefficient of change of soils energy potential, manure.

Вступ

Енергетична оцінка у землеробстві – це оцінка витрат природної і штучної енергії на виробництво продукції рослинництва та кількості отриманої енергії з урожаем, вираженої у джоулях або калоріях. До основних витрат штучної енергії слід віднести витрати енергії палива і електроенергії, які задіяні у виробничому процесі – механічна обробка ґрунту, внесення добрив, хімікатів та інших матеріалів, посів і збирання урожаю куль-

тур. Основним показником природних витрат енергії є енергоємність ґрунтів – кількість енергії органічної речовини, яка міститься в одиниці об'єму і є комплексним показником їх еколого-енергетичного стану. Технологію виробництва доцільно вважати ефективною, якщо коефіцієнт енергетичної ефективності вище 1, оскільки вихід валової енергії урожаю перевищує витрачену сукупну непоновлювану енергію (Тараріко та ін., 2012; Компанієць та ін., 2014).

Зміна енергоємності ґрунтів визначається на основі балансу гумусу, втрати якого є тим фактором, який примушує внести суттєві корективи в оцінку енергетичної ефективності технологій виробництва продукції рослинництва і в оцінку систем землеробства. Відомо, що в гумусі зосереджена основна частина енергії біогеоценозу. В шарі чорнозему 0–100 см запас енергії в гумусі складає 96% запасу енергії ґрунту (Кардашов і Шудренко, 1998).

Унікальність ґрунтів полягає в тому, що вони є надійним, екологічно безпечним джерелом поновлювальної енергії, яка в процесі сільськогосподарського виробництва зв'язується рослинами завдяки фотосинтезу. За раціонального використання земельних ресурсів значною мірою можна компенсувати дефіцит енергетичного балансу держави. Однак, нині, внаслідок інтенсивного використання родючості ґрунтів, а саме – неконтрольованого зменшення вмісту органічної речовини і біогенних елементів, землі сільськогосподарського призначення виснажуються, що супроводжується зниженням їхньої продуктивності та енергетичного потенціалу агроєкосистем (Кірілеско, 2019).

Однією із причин зменшення органічної речовини в ґрунтах України є низький рівень використання органічних добрив у землеробстві (Pinchuk et al., 2022).

Відома теза про збитковість сучасного тваринництва не враховує користі від унесення гною (посліду) у ґрунти. Органічний нітроген є важливим елементом процесу гумусоутворення у ґрунті. Разом з гноєм до ґрунту надходять і бактерії, роль яких не менша за удобрювальні речовини (Волкогон та ін., 2019).

Нині більшість земель в Україні використовуються для вирощування сільськогосподарських культур – щорічно виробляється до 85 млн т зерна, переважно пшениці, кукурудзи, ячменю, соняшнику, сої, ріпаку, тоді як тваринництво недостатньо розвинене і загалом впродовж останніх 30 років відбувається значне зниження загального поголів'я сільськогосподарських тварин. За даними Державної служби статистики впродовж 1990–2021 рр. поголів'я ВРХ знизилося у 9,3 раз, свиней – у 3,5 і птиці – у 1,2 раз. Ці фактори змінюють баланс між винесенням органіки та поверненням її у ґрунт. Україна, яка є третім світовим експортером зерна у світі, експортує більше половини всієї вирощеної продукції, наприклад пшениці – 56,2% і кукурудзи – 66,3%. Органічні речовини в зерні, яке

йде на експорт, ми назавжди втрачаємо, без можливості повернення у ґрунт. Дисбаланс кругообігу органічної речовини спричиняє мінералізацію гумусу та підвищує викиди вуглекислого газу із сільськогосподарських угідь України до 63 млн т/рік.

Загалом більшість останніх вітчизняних наукових публікацій присвячено як правило енергетичному і економічному аналізу різних технологій виробництва продукції рослинництва і систем землеробства чи окремих їх складових на рівні агроєкосистем (Слюсар та ін., 2008; Чучвага і Халеп, 2014; Центило та ін., 2019).

Закордонні дослідження з енергетичної оцінки землеробства здебільшого висвітлюють окремі локальні теми з акцентом на аналіз питомих енергетичних витрат ресурсів, таких як паливо, електроенергія, добрива та ін., необхідних для виробництва визначеної кількості продукції рослинництва або тваринництва (Vourdoubas & Dubois, 2016; Manoj et al., 2022). Такі дослідження здебільшого характеризують обмежені часові інтервали, окремі культури та не враховують енергетичні втрати ґрунтів.

Основною ідеєю цієї роботи є проведення агроєкологічної оцінки наслідків ведення сучасного землеробства впродовж тривалого часу на основі зміни енергопотенціалу ґрунтів як головного засобу сільськогосподарського виробництва. Актуальність проведення агроєкологічних досліджень полягає у визначенні витрат енергії гумусу як природного резерву і ресурсу для формування і збереження енергопотенціалу ґрунтів України у процесі вирощування сільськогосподарських культур.

Матеріал і методи

Енергетичну оцінку землеробства України проведено на основі загальноприйнятих методичних підходів (Гавриш та ін., 2011; Тараріко та ін., 2012; Антипова, 2017).

Розраховували баланс гумусу, зміну енергоємності орного шару ґрунту (25 см), валову кількість енергії на формування урожаю культур, кількість енергії, винесеної із ґрунту і накопиченої господарсько-цінною частиною урожаю пшениці, кукурудзи на зерно, сої, ріпаку, соняшнику, буяку цукрового, картоплі, овочів і баштанних культур та коефіцієнт зміни енергопотенціалу ґрунту відносно формування урожаю досліджених культур (КЛег) впродовж 1990–2021 рр. та на рівні адміністративних областей України (2021 р.).

Баланс гумусу визначали розрахунковим шляхом на основі результатів досліджень

щодо рівня мінералізації гумусу в Україні за використання міжнародних та вітчизняних методичних документів: Методологія і довідник складання азотних бюджетів Євростату та Організації економічного співробітництва та розвитку (OECD), 2013; Керівництво з національних інвентаризацій парникових газів IPCC, 2006; Національний кадастр антропогенних викидів із джерел і абсорбції поглиначами парникових газів в Україні, 2022; ДСТУ ISO 14067:202_ (ISO 14067:2018, MOD); Методичні рекомендації з належної сільськогосподарської практики щодо скорочення втрат нітрогену у сільському господарстві, 2020 (Пінчук і Бородай, 2020).

Вихідні дані для розрахунків брали з електронного ресурсу Державної служби статистики України (<http://www.ukrstat.gov.ua>). Розрахунки і побудова картограм проводилися у середовищі програми MS Excel 2021.

Результати та обговорення

Впродовж 1990–2021 рр. виявлено негативний баланс гумусу у ґрунті за

виращування більшості досліджених сільськогосподарських культур. За даними Інституту охорони ґрунтів України середньозважений вміст гумусу на землях сільськогосподарського призначення за результатами агрохімічного обстеження земель впродовж 1986–1990 рр. становив 3,560%. За розрахунковими даними, впродовж останніх 31 року середній вміст гумусу на посівній площі досліджених культур (у середньому 45% від площі ріллі) сільськогосподарських підприємств України знизився до 2,734% в 2021 р. Найбільше зниження вмісту гумусу під посівами кукурудзи на зерно (–1,021%), буряку цукрового (–0,988%), і соняшнику (–0,544%) (рис. 1).

Негативний баланс гумусу за виращування досліджених культур у 2021 р. виявлено по всіх адміністративних областях України – від –0,024% до –0,090% (рис. 2).

Встановлено, що впродовж 2000–2021 рр. енергоємність ґрунтів в Україні щорічно

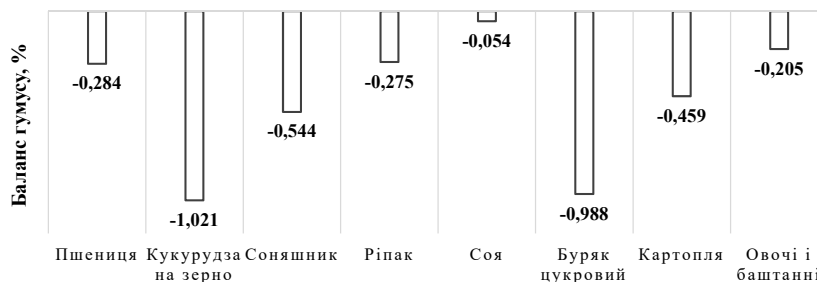


Рис. 1. Баланс гумусу орного шару ґрунту (25 см) під посівами сільськогосподарських культур підприємств України за 2010–2021 рр.

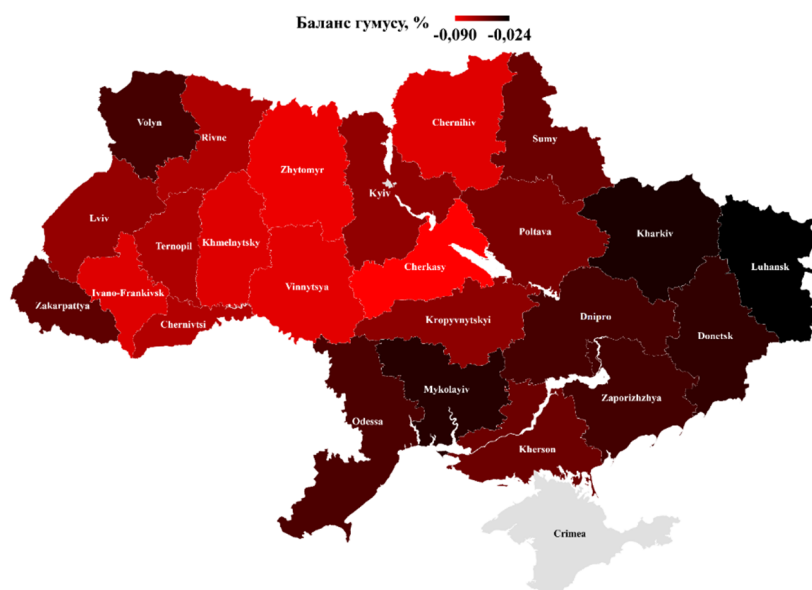


Рис. 2. Баланс гумусу орного шару ґрунту (25 см) під посівами с.-г. культур підприємств України за адміністративними обл. (2021 р.)

знижувалася на 11,0–39,9 ГДж/га. Лише в 1990 р. виявлено позитивний баланс гумусу – 115,8 кг/га, або в енергетичному еквіваленті – 2,5 ГДж/га (рис. 3).

Серед адміністративних областей за даними 2021 року енергоємність ґрунтів найінтенсивніше знижувалася у Чернігівській (–77,2 ГДж/га/рік), Житомирській (–67,4 ГДж/га/рік) та Івано-Франківській (–66,7 ГДж/га/рік) областях, менш інтенсивно – в Луганській (–15,3 ГДж/га/рік), Харківській (–21,8) і Миколаївській (–24,4 ГДж/га/рік) (рис. 4).

Розраховано валову енергію, накопичену господарсько-цінною частиною урожаю різ-

них груп сільськогосподарських культур на одиницю зібраної площі в Україні впродовж 1990–2021 рр. (рис. 5).

Встановлено, що за найвищим рівнем накопичення енергії з ґрунту впродовж 1990–2021 рр. відносно зібраної площі угідь, досліджені групи культур знаходяться у такому ранжируваному порядку (ГДж/га/рік): коренеплоди – 61–182, зернові – 33–100, овочі з баштанними – 10–74 і олійні – 21–48.

Визначено валову енергію, накопичену господарсько-цінною частиною урожаю усіх досліджених сільськогосподарських культур на одиницю зібраної площі за адміністративними областями України в 2021 році (рис. 6).

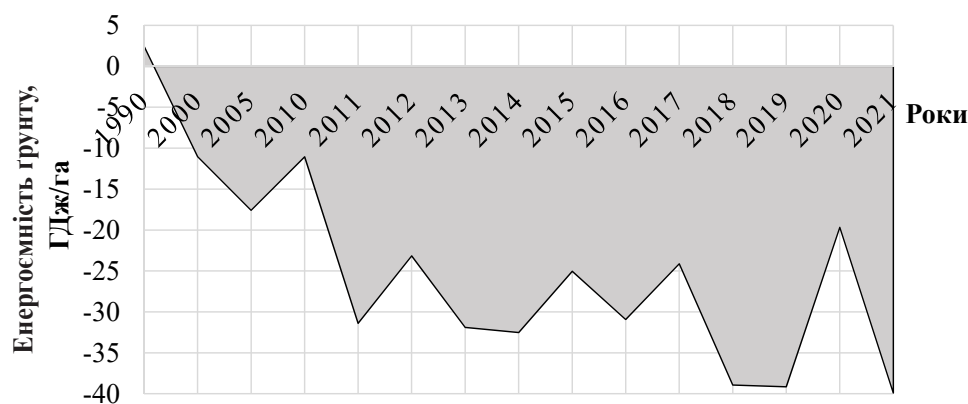


Рис. 3. Динаміка зміни енергоємності орного шару ґрунту в Україні (1990–2021 рр.)



Рис. 4. Енергоємність орного шару ґрунту за адміністративними областями України (2021 р.)

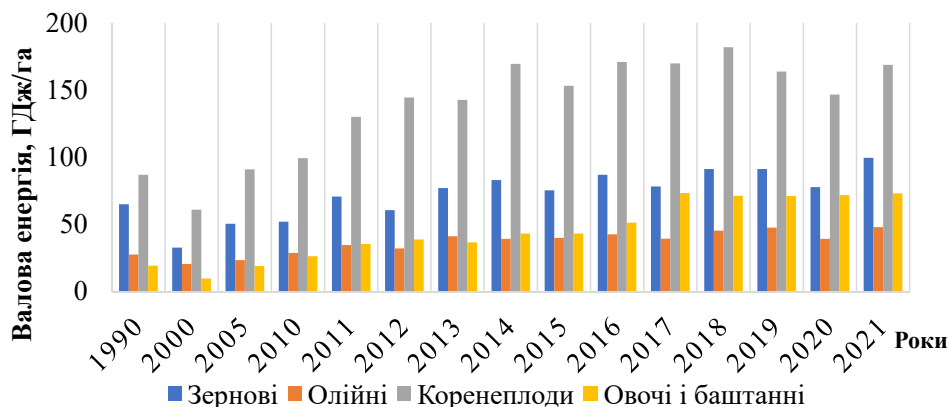


Рис. 5. Валова енергія, накопичена господарсько-цінною частиною урожаю різних груп с.-г. культур в Україні (1990–2021 рр.)

Показник валової енергії, накопиченої господарсько-цінною частиною урожаю усіх досліджених культур має значні коливання за адміністративними областями України – 45–107 ГДж/га/рік. За найвищим рівнем енергії, накопиченої господарсько-цінною частиною урожаю усіх досліджених культур, адміністративні області можна навести у такому ранжируваному порядку (ГДж/га/рік): Хмельницька – 107, Тернопільська – 105, Вінницька – 103. За найменшим рівнем (ГДж/га/рік): Луганська – 45, Донецька – 54, Запорізька – 55, що пов'язано з різними площами посіву окремих культур та рівнем їх урожайності.

Зміни енергопотенціалу ґрунту в енергобалансі агроєкосистеми відображає абсолютні величини накопичення або втрат поживних речовин і органічного вуглецю (Тараріко та ін., 2012). У зв'язку із цим пропонується інформативний показник, що характеризує агроєкологічну ефективність землеробства – коефіцієнт зміни енергопотенціалу ґрунту відносно формування урожаю досліджених культур (КДег). Це відношення зміни енергоємності ґрунту до валової енергії урожаю досліджених культур, включаючи основну і побічну продукцію рослинництва, виражене у %. Також окремо виділено енергію основної і побічної продукції рослин, що виноситься з ґрунту (рис. 7).

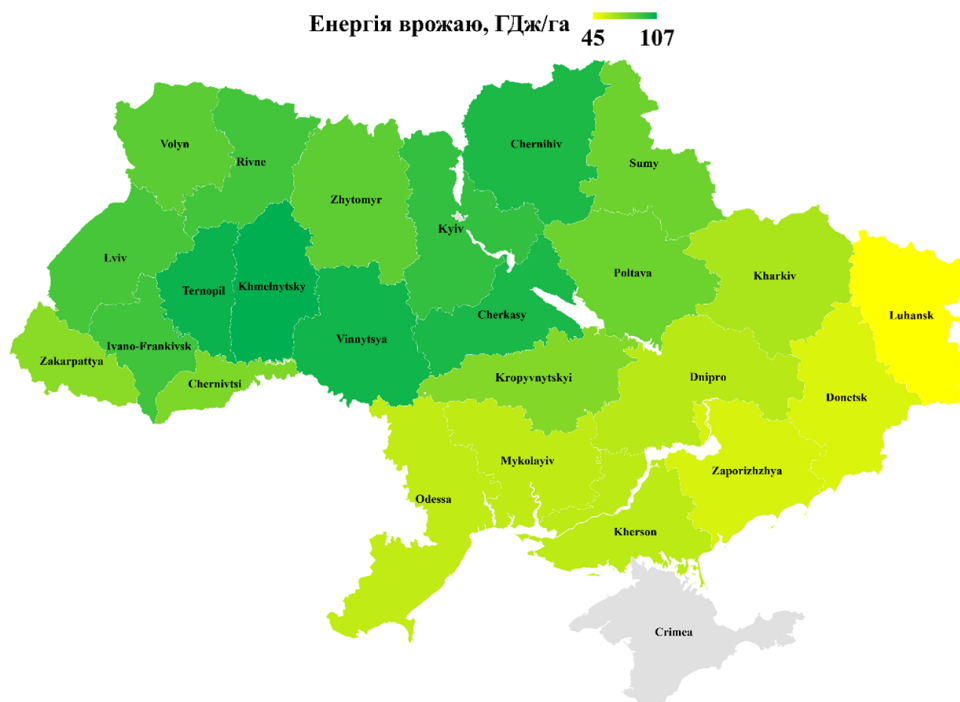


Рис. 6. Валова енергія, накопичена господарсько-цінною частиною врожаю досліджених культур за адміністративними областями України (2021 р.)

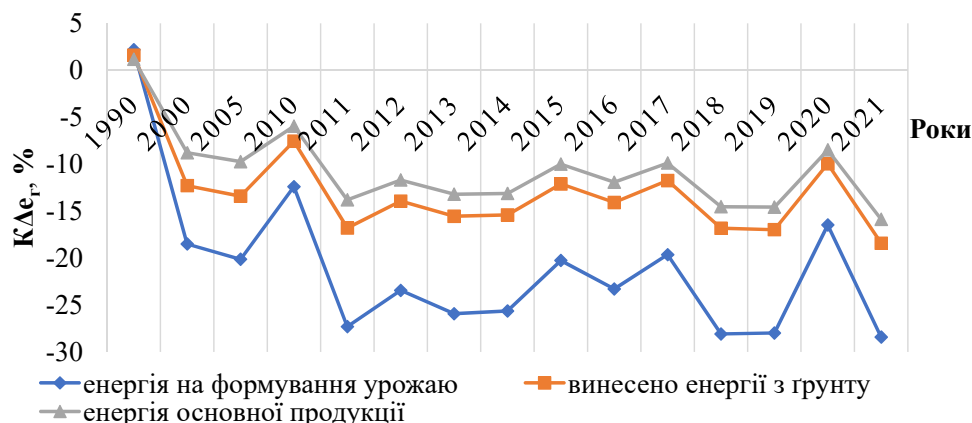


Рис. 7. Коефіцієнт зміни енергоємності ґрунту ($K\Delta e_r$) відносно формування урожаю досліджених культур (1990–2021 рр.)

Від’ємне значення $K\Delta e_r$ вказує на те, що виробництво продукції рослинництва призводить до прямопропорційного зниження рівня органічних речовин у ґрунті і відповідно зниження енергоємності ґрунту, тобто не відбувається відтворення родючості ґрунту. Така тенденція спостерігається в Україні з 2000 року. Наприклад, $K\Delta e_r$ на формування урожаю у 2021 р. = $-28,4\%$, тобто така кількість урожаю досліджених культур в енергетичному еквіваленті формується за рахунок зниження енергоємності ґрунту, частина

енергії урожаю – $18,4\%$ виноситься з ґрунту, у т.ч. $15,9\%$ з основною продукцією. Решта енергії урожаю – $12,6\%$ залишається у ґрунті із рослинними рештками.

Негативне значення $K\Delta e_r$ на формування урожаю досліджених культур спостерігається в усіх адміністративних областях України. Найнижчий показник виявлено у Чернігівській (-48%), Житомирській (-45%) та Івано-Франківській (-39%) обл. (рис. 8).

Враховуючи виявлені високі показники мінералізації гумусу і відповідно зниження

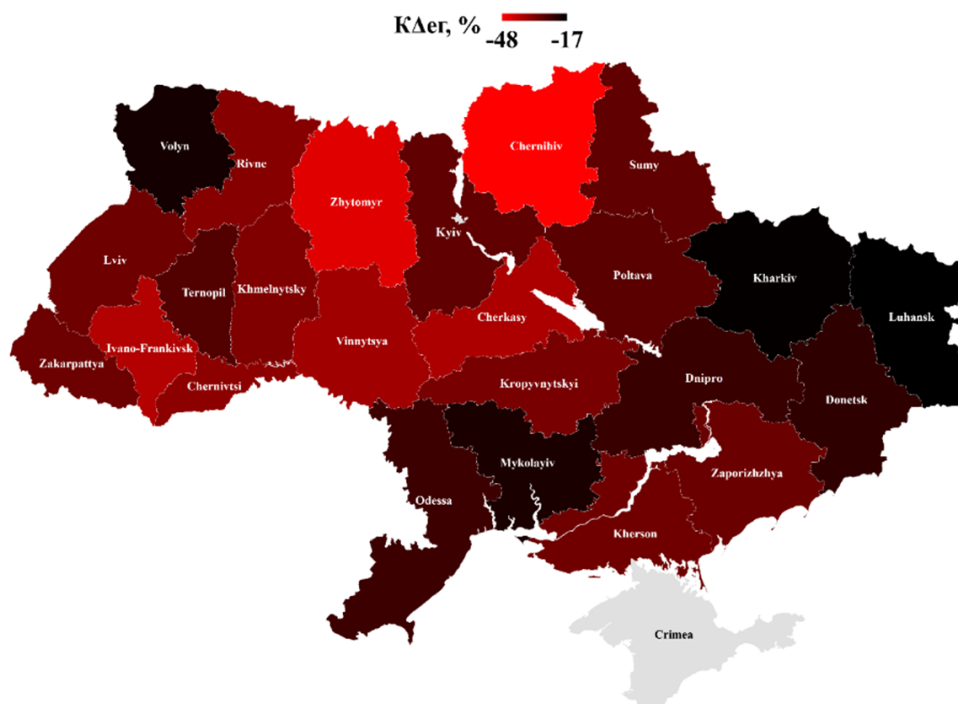


Рис. 8. Коефіцієнт зміни енергоємності ґрунту ($K\Delta e_r$) відносно формування урожаю досліджених культур за адміністративними областями України (2021 р.)

енергоємності ґрунту, необхідно також мати уявлення і про рівень органічних добрив, необхідних на відновлення початкового рівня енергоємності ґрунту. Тому визначено кількість гною, яка енергетично еквівалентна показнику зниження енергоємності ґрунту на одиницю площі впродовж 2000–2021 рр. – 26,3–95,0 т/га/рік. Лише в 1990 р. виявлено позитивний баланс енергоємності ґрунту – 2,5 ГДж/га, що відпові-

дає енергетичному еквіваленту 5,9 т/га гною (рис. 9).

За адміністративними областями в 2021 р. найвищу кількість гною, енергетично еквівалентну показнику зниження енергоємності ґрунту, виявлено у Чернігівській (183,7 т/га), Житомирській (160,6) та Івано-Франківській (158,7 т/га) обл. Найменшу кількість – у Луганській (36,5 т/га), Харківській (51,9) і Миколаївській (58 т/га) обл. (рис. 10).

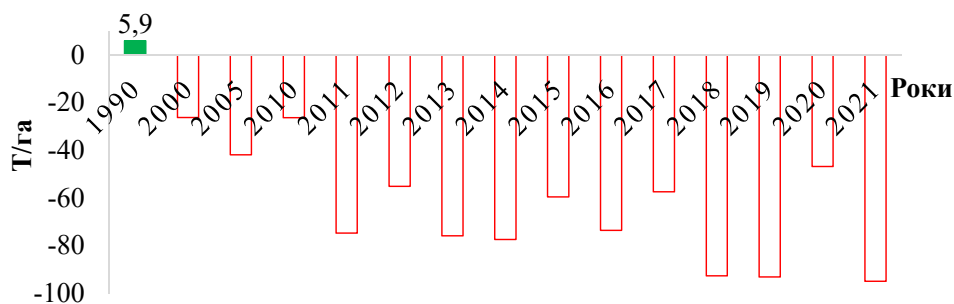


Рис. 9. Кількість гною, енергетично еквівалентна показнику зниження енергоємності ґрунту (1990–2021)

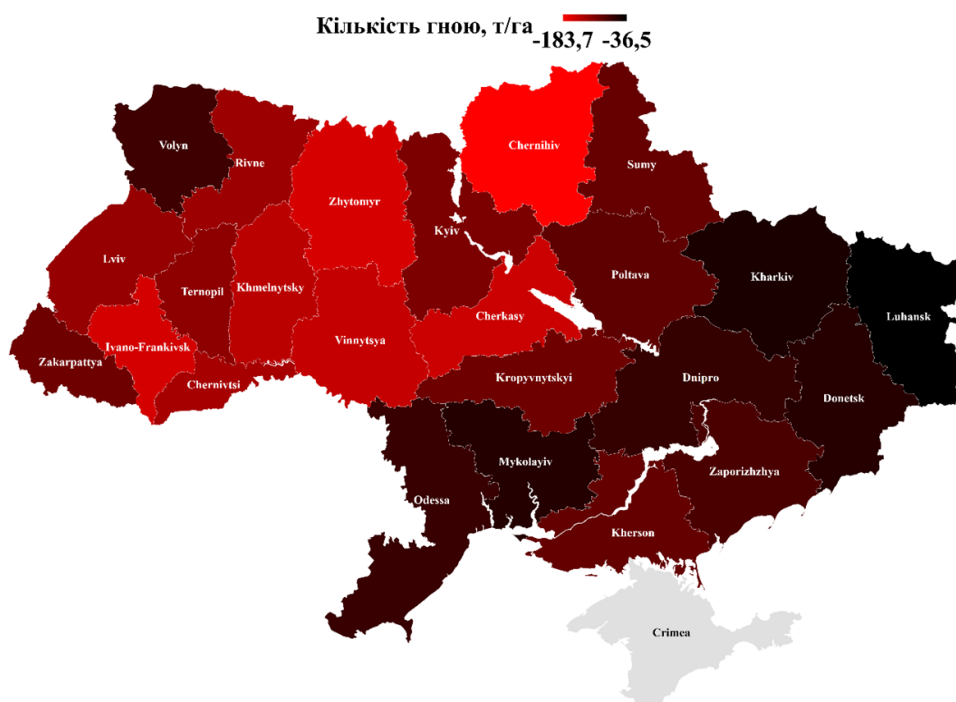


Рис. 10. Кількість гною, енергетично еквівалентна показнику зниження енергоємності ґрунту за адміністративними областями України (2021 р.)

Висновки

1. Проаналізовано екологічні наслідки багаторічного ведення сучасного землеробства, зокрема за останні два десятиріччя виявлено зниження енергетичного потенціалу ґрунтів на основі комплексу показників – балансу гумусу, зміни енергоємності орного

шару ґрунту, валової енергії на формування урожаю різних культур та кількості енергії, винесеної із ґрунту господарсько-цінною частиною урожаю.

2. Встановлено, що впродовж 2000–2021 рр. енергоємність ґрунтів в Україні щорічно знижувалася на 11,0–39,9 ГДж/га,

а на рівні адміністративних областей України (2021 р.) – від –15,3 до –77,2 ГДж/га/рік.

3. Згідно запропонованого коефіцієнта зміни енергопотенціалу ґрунту відносно формування урожаю культур (KDe_r) встановлено, що нині 28,4% урожаю досліджених культур в енергетичному еквіваленті формується за рахунок зниження енергоємності ґрунту, 18,4% енергії урожаю виноситься з ґрунту, у т. ч. 15,9% з основною продукцією і 12,6% енергії урожаю залишається у ґрунті із рослинними рештками. Негативне значення KDe_r на формування урожаю досліджених культур спостерігається в усіх адміністративних областях України.

4. Показник валової енергії, накопиченої господарсько-цінною частиною урожаю досліджених культур має значні коливання за адміністративними областями України – 45–107 ГДж/га/рік: Хмельницька – 107, Тернопільська – 105, Вінницька – 103, Запорізька – 55, Донецька – 54, Луганська – 45. Така варіабельність даних вочевидь обумовлена різною потенційною родючістю ґрунтів, природно-кліматичними умовами

і кількістю опадів у різних природно-кліматичних зонах України.

5. Внаслідок зміни балансу речовин у ґрунті за останні два десятиліття в Україні, земля сільськогосподарського призначення щорічно, у середньому за дослідженими культурами, втрачає від 0,6 до 2,0 т/га (0,017–0,059 %) гумусу.

6. Встановлено, що нині у більшості регіонів України виробництво продукції рослинництва є таким, що спричиняє втрату частини енергопотенціалу ґрунту, і це відображається безпосередньо на родючості ґрунту. Для вирівнювання енергетичного балансу у ґрунті необхідно компенсувати втрати органіки та інших поживних речовин ґрунту, зокрема за рахунок внесення органічних добрив.

7. Аналіз енергетичного балансу ґрунтів дозволив розрахувати кількість гною, необхідного для компенсації втрати ґрунтом органічної речовини, що енергетично еквівалентна показнику зниження енергоємності ґрунту на одиницю площі – 26,3–95,0 т/га/рік.

Список використаної літератури

- Антипова Л.К. Кормовиробництво та лукивництво. Методичні рекомендації. Миколаїв: Миколаївський національний аграрний університет, 2017. 48 с.
- Гавриш В.І., Завірюха М.В., Пилип В.Є. Енергозберігаючі та екологічні технології в АПК. Методичні рекомендації. Миколаїв: Миколаївський державний аграрний університет, 2011. 67 с.
- Екологічні аспекти систем удобрення сільськогосподарських культур / В.В. Волкогон та ін.; за ред. В.В. Волкогона. Київ: Аграрна наука, 2019. 264 с.
- Кардашов А.Т., Шудренко І.В. Енергетичний баланс агроєкосистеми: проблеми теорії і практики. *Вісник ДААУ*. 1998. № 2. С. 39–43.
- Кірілеско О.Л. Ефективність систем удобрення у короткоротаційній сівозміні лісостепу західному України. *Корми і кормовиробництво*. 2019. № 87. С. 93–101. <https://doi.org/10.31073/kormovuyrobnytstvo201987-14>.
- Компанієць В.О., Желязков О.І., Кулик А.О. Методика енергетичної оцінки ефективності технологій виробництва зерна. *Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України*. 2014. № 6. С. 118–124. [Електронний ресурс] URL: <https://journal-grain-crops.com/uk//arhiv/view/594ba747947ff.pdf> (дата звернення 10.11.2023).
- Методика біоенергетичної оцінки систем землеробства / Ю.О. Тараріко та ін. Київ: ДІА, 2012. 33 с.
- Пінчук В.О., Бородай В.П. Методичні рекомендації з належної сільськогосподарської практики щодо скорочення втрат нітрогену у сільському господарстві; за наук. ред. О.І. Фурдичка. Київ: ДІА, 2020. 47 с.
- Слюсар І.Т., Левковська Г.В., Ткачов О.І. Енергетичний аналіз системи землеробства на меліорованих землях. *Збірник наукових праць ННЦ «Інститут землеробства УААН»*. 2008. Вип. 3–4. С. 56–61.
- Центило Л.В., Цюк О.А., Мельник В.І. Енергетична ефективність систем удобрення і обробітку ґрунту. *Біоресурси і природокористування*. 2019. Т. 11. № 3–4. С. 90–96. <https://doi.org/10.31548/bio2019.03.010>.
- Чучвага І.Г., Халеп Ю.М. Економічна та енергетична ефективність застосування діазобактерину та мінеральних добрив у технології вирощування жита озимого. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2014. Т. 19. С. 53–60. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.19.53-60>.

Manoj K.N., Shekara B.G., Sridhara S. et. al. Carbon Footprint Assessment and Energy Budgeting of Different Annual and Perennial Forage Cropping Systems: A Study from the Semi-Arid Region of Karnataka, India. *Agronomy*. 2022. Vol. 12. Is. 8. P. 1783. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081783>.

Pinchuk V., Tertychna O., Parfenyuk A. Use of nitrogen manure in agriculture of Ukraine and the European Union. *Conference of Ecosystems: Abstracts 12-th International Conference* (Chicago, June 3–5. 2022). Chicago, Illinois. USA, 2022. P. 55.

Vourdoubas J., Dubois O. Energy and agri-food systems: production and consumption. *Zero Waste in the Mediterranean: Natural Resources, Food and Knowledge. Mediterra 16*. Paris: Presses de Sciences Po, 2016. P. 155–174. [Електронний ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/362846600_ENERGY_AND_AGRIFOOD_SYSTEMS_PRODUCTION_AND_CONSUMPTION (дата звернення 10.11.2023).

References (translated & transliterated)

Antypova, L.K. (2017). Kormovyrobnytstvo ta lukivnytstvo. Metodychni rekomendatsiyi [Fodder production and onion cultivation. Guidelines]. Mykolaiv National Agrarian University [in Ukrainian].

Havrysh, V.I., Zaviryukha, M.V., & Pylyp, V.Ye. (2011). Enerhozberihayuchi ta ekolohichni tekhnolohiyi v APK. Metodychni rekomendatsiyi [Energy-saving and ecological technologies in agriculture. Guidelines]. Mykolaiv: Mykolaiv State Agrarian University [in Ukrainian].

Volkohon, V.V. (ed.) (2019). Ekolohichni aspekty system udobrennya sil's'kohospodars'kykh kul'tur [Ecological aspects of agricultural crop fertilization systems]. Kyiv: Agrarian Science [in Ukrainian].

Kardashov, A.T., & Shudrenko, I.V. (1998). Enerhetychnyy balans ahroekosystemy: problemy teorii i praktyky [Energy balance of the agroecosystem: problems of theory and practice]. *Visnyk Derzhavnoyi ahroekolohichnoyi akademiyi Ukrayiny* [Bulletin of the State Agroecological Academy of Ukraine], 2, 39–43 [in Ukrainian].

Kirilesko, O.L. (2019). Efektyvnist system udobrennya u korotkorotatsiyniy sivozmini lisostepu zakhidnomu Ukrayiny [Effectiveness of fertilization systems in short-rotational crop rotation of the forest-steppe of western Ukraine]. *Kormy i kormovyrobnytstvo* [Fodder and fodder production], 87, 93–101. <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo201987-14> [in Ukrainian].

Kompaniyets', V.O., Zhelyazkov, O.I., & Kulyk, A.O. (2014). Metodyka enerhetychnoyi otsinky efektyvnosti tekhnolohiy vyrobnytstva zerna [Methodology of energy efficiency assessment of grain production technologies]. *Byuleten Instytutu sil's'koho hospodarstva stepovoyi zony NAAN Ukrayiny* [Bulletin of the Institute of Agriculture of the Steppe Zone of the National Academy of Sciences of Ukraine], 6, 118–124. [Electronic resource] URL: <https://journal-grain-crops.com/uk//arhiv/view/594ba747947ff.pdf> (access date 10.11.2023) [in Ukrainian].

Tarariko, Yu.O. (2012). Metodyka bioenerhetychnoyi otsinky system zemlerobstva [Methodology of bioenergy assessment of the agriculture systems]. Kyiv: DIA [in Ukrainian].

Pinchuk, V.O., & Boroday, V.P. (2020). Metodychni rekomendatsiyi z nalezhnoyi sil's'kohospodars'koyi praktyky shchodo skorochennya vtrat nitrohenu u sil's'komu hospodarstvi [Guidelines for good agricultural practice to reduce nitrogen losses in agriculture]. Kyiv: DIA [in Ukrainian].

Slyusar, I.T., Levkovs'ka, H.V., & Tkachov, O.I. (2008). Enerhetychnyy analiz systemy zemlerobstva na meliorovanykh zemlyakh [Energy analysis of the agriculture systems on reclaimed lands]. *Zbirnyk naukovykh prats Natsional'noho naukovoho tsentru "Instytut zemlerobstva UAAN"* [Collection of scientific works of the National Scientific Center "Institute of Agriculture the Ukrainian Academy of Sciences"], 3–4, 56–61 [in Ukrainian].

Tsentylo, L.V., Tsyuk, O.A., & Mel'nyk, V.I. (2019). Enerhetychna efektyvnist system udobrennya i obrobittu gruntu [Energy efficiency of fertilization and tillage systems]. *Bioresursy i pryrodokorystuvannya* [Biological Resources and Nature Management], 11, 3–4, 90–96. <https://doi.org/10.31548/bio2019.03.010> [in Ukrainian].

Chuchvaha, I.H., & Khalep, Yu.M. (2014). Ekonomichna ta enerhetychna efektyvnist zastosuvannya diazobakterynu ta mineral'nykh dobryv u tekhnolohiyi vyroshchuvannya zhyta ozymoho [Economic and energy efficiency of the use of diazobacterin and mineral fertilizers in the technology of growing winter rye]. *Sil's'kohospodars'ka mikrobiolohiya* [Agricultural microbiology], 19, 53–60 <https://doi.org/10.35868/1997-3004.19.53-60> [in Ukrainian].

Manoj, K.N., Shekara, B.G., & Sridhara, S., et. al. (2022). Carbon Footprint Assessment and Energy Budgeting of Different Annual and Perennial Forage Cropping Systems: A Study from the Semi-Arid Region of Karnataka, India. *Agronomy*, 12 (8) 1783. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081783> [in English].

Pinchuk, V., Tertychna, O., & Parfenyuk, A. (2022). Use of nitrogen manure in agriculture of Ukraine and the European Union. *Conference of Ecosystems: Abstracts 12-th International Conference* (p. 55). Chicago, Illinois. USA [in English].

Vourdoubas, J., & Dubois, O. (2016). Energy and agri-food systems: production and consumption. *Zero Waste in the Mediterranean: Natural Resources, Food and Knowledge. Mediterra 16*. Paris: Presses de Sciences Po, 155–174. [Electronic resource] URL: https://www.researchgate.net/publication/362846600_ENERGY_AND_AGRI-FOOD_SYSTEMS_PRODUCTION_AND_CONSUMPTION (access date 10.11.2023) [in English].

Отримано: 17.11.2023

Прийнято: 04.12.2023