



Original researches

Agrobiological and Technological Methods of Increase of Erosion-Preventive Potential of Soils in Crop Rotation

 M. S. Shevchenko², S. M. Shevchenko¹, O. M. Shevchenko²,
 K. A. Derevenets-Shevchenko², N. V. Shvets²
¹Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine

²Institute of Grain Crops of National Academy of Agricultural Sciences of Ukraine, Dnipro, Ukraine

 Received: 24 April 2019
 Revised: 03 May 2019
 Accepted: 06 May 2019

Dnipro State Agrarian and Economic University, Serhii Efmov Str., 25, Dnipro, 49000, Ukraine

Institute of Grain Crops of National Academy of Agricultural Sciences of Ukraine, Vladimir Vernadsky Str., 14, Dnipro, 49027, Ukraine

 Tel.: +38-097-381-54-40
 E-mail: s.m.shevchenko@ukr.net

 Cite this article: Shevchenko, M. S., Shevchenko, S. M., Shevchenko, O. M., Derevenets-Shevchenko, K. A., & Shvets, N. V. (2019). Agrobiological and technological methods of increase of erosion-preventive potential of soils in crop rotation. *Agrology*, 2(2), 122–127. doi: 10.32819/019018

Abstract. The analysis of the experimental data obtained in stationary field experiments in the conditions of northern Steppe in the estimation of erosion-preventive resistance of various biotechnological systems is given. The main factors of the erosion-preventive regulation were 5-field grain-row crop rotation, different methods of base cultivation of soil and direct sowing, as well as plant mulch as a protective screen on the field surface. In the research the new methods and characteristics of reaction of the soil on the displays of water erosion which include the methods of packet monolith, traps and water absorption capacity of soil are used. Such a scientific instrument has allowed to estimate objectively and promptly the level of erosive safety at all stages of organogenesis of agricultural crops and at pauses between vegetation. It has been experimentally established that the greatest threat of erosive degradation of soils in the agrotechnological aspect represent the phytocenotic density of crops, the activity of soil tillage implements, the absence of mulching screen, the tread condition of soil surface. It has been proved that the application of chisel disk cultivation of soil and No-till under spring barley and winter wheat in comparison with the most erosion-dangerous element - plowing in bare fallow reduces the displays of water erosion in 2,4–3,3 times. On sowings of row crops with an increased level of erosion threat, soil protective methods of basic cultivation can reduce soil washoff by 1,5–2,2 times. The mechanics of soil movement in the arable layer have been discovered, depending on the design of the tools of the soil-cultivating units. A mobile way of determining the depth of precipitation moisture infiltration by means of differentiation of the arable layer in accordance with soil hardness index is proposed. Priority of erosion-preventive agro-technological measures should be maintained despite the reduction of grain yield by 5–11% and the need for some modernization of farm crop growing technologies.

Keywords: erosion; crop rotation; cultivation of soil; mulch; soil washoff; moisture.

Агробіологічні та технологічні методи підвищення протиерозійного потенціалу ґрунтів у сівозміні

 М. С. Шевченко², С. М. Шевченко¹, О. М. Шевченко², К. А. Деревенець-Шевченко², Н. В. Швець²
¹Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро, Україна

²Державна установа Інститут зернових культур Національної академії аграрних наук України, м. Дніпро, Україна

Анотація. Наведено аналіз експериментальних даних, отриманих у стаціонарних польових дослідах в умовах північного Степу, щодо оцінки протиерозійної стійкості різних біотехногенних систем. Основними факторами протиерозійного регулювання були п'ятипольна зернопросапна сівозміна, різні за інтенсивністю способи основного обробітку ґрунту та прямої сівби, а також рослинна мульча у вигляді захисного екрана на поверхні поля. У дослідженнях використані нові методи і характеристики реакції ґрунту на прояви водної ерозії, до яких відносяться методи пакетної монолітності, пасток та водовбирної здатності ґрунту. Такий науковий інструмент дозволив об'єктивно і оперативно оцінити рівень ерозійної безпеки на всіх етапах органогенезу сільськогосподарських культур та в міжвегетаційні паузи. Експериментально встановлено, що найбільшу загрозу ерозійної деградації ґрунтів в агротехнологічному аспекті являють фітоценотична щільність посівів, активність ґрунтообробних знарядь, відсутність мульчувального екрана, протекторний стан поверхні ґрунту. Доведено, що застосування чизельного дискового обробітку ґрунту та No-till під ячмінь ярий і пшеницю озиму, порівняно з найбільш ерозійно небезпечним елементом землеробства оранка в чорному парі, знижує прояви водної ерозії у 2,4–3,3 рази. На посівах просапних культур з підвищеним рівнем ерозійної небезпеки ґрунтозахисні способи основного обробітку дозволяють скоротити змив ґрунту в 1,5–2,2 рази. Розкрито механіку переміщення ґрунту в орному шарі залежно від конструкції робочих органів ґрунтообробних агрегатів. Запропоновано мобільний спосіб визначення глибини інфільтрації вологи опадів за допомогою диференціації орного шару по показниках твердості ґрунту. Пріоритетність протиерозійних агротехнологічних заходів повинна зберігатися, незважаючи на зниження врожайності зерна на 5–11% та необхідність проведення деякої модернізації технологій вирощування сільськогосподарських культур.

Ключові слова: ерозія; сівозміна; обробіток ґрунту; мульча; змив ґрунту; волога.

Вступ

Ерозія ґрунтів – результат складної взаємодії комплексу факторів, основними з яких є рельєф місцевості, щільність рослинного покриву, ґрунтові, кліматичні та гідрометеорологічні умови (кількість опадів, характер промерзання ґрунту, розміри та інтенсивність поверхневого стоку талих та зливових вод), розміщення полів, робочих ділянок, польових доріг, технологія обробітку схилових земель тощо.

Унаслідок дії ерозійних процесів на поверхні утворюються різні за розмірами та формами розмиви орного шару ґрунту, при цьому втрачається значна кількість гумусу та поживних речовин, погіршується екологічний стан довкілля, зменшуються площі високоякісних за рівнем родючості та сприятливих за фізичними властивостями земельних угідь, виробнича діяльність на яких стає нерентабельною (Medvedev & Lisovuy, 2001; Faucon et al., 2016).

Методологія дослідження ерозійних процесів є однією з найбільш складних, оскільки механізми і характер руйнування цілісності ґрунтового покриву дуже неоднорідні за інтенсивністю прояву ерозії на окремих ділянках поля та періодичністю формування потоків води з-за опадів або танення снігу. Як результат, існуюча методологічна база вивчення проблем ерозії не здатна забезпечити адекватного відображення всієї багатогранності процесів деградації ґрунтів у площинному та часовому вимірах. За таких обставин виникає ризик отримати помилкові висновки щодо протиерозійної ефективності культур сівозміни, ландшафтів, мульчувального покриву ґрунту, обробітку ґрунту, водотривкості, прогнозів профільної деградації шарів і горизонтів.

За останні 25 років рівень уваги науки до ерозійної проблематики опустився нижче критичної позначки, цю проблему не помічають, вона відсутня в кошику пріоритетів (Balyuk & Medvedev, 2012; Prosdocimi et al., 2016; Zhang & Wang, 2017).

Сама природа ерозії несе в собі неприпустимий факт щорічної прогресії і розширення еродованих земель на 70 тис. га, але ще небезпечнішим є відсутність повноцінного наукового супроводження цієї проблеми (Pabat, 1992; Ochoa et al., 2016).

Метою досліджень передбачалося відновити експериментальні науково-дослідні роботи з вивчення протиерозійних агросистем на основі п'ятипольної сівозміни та різних способів основного обробітку ґрунту з використанням нових методів моніторингу, максимально наближених до об'єктивних процесів у реальному середовищі.

Одним із головних завдань наукової роботи було вивчити вплив тривалого системного застосування ґрунтозахисного обробітку та культур сівозміни з різними моделями біоценозів на протиерозійну стійкість чорнозему звичайного, масштаби його змиву та водовбирну здатність за допомогою оригінальних методик контролювання горизонтального руху ґрунту і води.

У комплексі накопичених проблем щодо сфери збереження ґрунтів і пов'язаних з тривалою паузою у їх науковому зондуванні планувалося встановити результати впливу новітніх технологій на процеси побудови протиерозійного бар'єра в модернізованому землеробстві (Quinton et al., 2010; Zhao et al., 2013).

Матеріал і методи досліджень

Польові стаціонарні дослідження проводили в 2016–2018 рр. на чорноземах звичайних малогумусових у зоні північного Степу на експериментальній базі Інституту зернових культур НААН України. Стаціонарна ділянка характеризувалася вмістом гумусу в орному шарі ґрунту 3,9%, щільністю в період механічного спокою 1,18–1,34 г/см³ та твердістю 13–36 кг/см². За рівнем агрохімічної забезпеченості чорнозем відносився до середнього та підвищеного класів: нітратний азот – 21 мг, рухомий фосфор 142 мг, обмінний калій 187 мг на 1 кг сухого ґрунту.

Для проведення факторіального аналізу впливу організаційних і технологічних елементів землеробства проблеми ерозії вивчали в п'ятипольній сівозміні “чорний пар–пшениця озима–соняшник–ячмінь ярий– кукурудза на зерно”.

В оцінці протиерозійної стійкості агросистем важливим є фактор часу, тому позитивним для правильного наукового висновку є тривалість даного стаціонару, яка становить більше 5-ти ротаций (1991–2017 рр.). Тобто схема спостереження за трансформацією потенціалу протиерозійної стійкості відкрила можливість зрозуміти роль кожної культури сівозміни як безпосереднього фактора стримування руйнування ґрунту, так і післядію в пролонгованій перспективі.

Для досягнення моніторингового принципу в контролюванні характеру та інтенсивності ерозії, різнобічної оцінки протиерозійної здатності ландшафтів і біоценотичного покриття полів у дослідках використовували запропоновані нами методики пакетного аналізу, фіксованих пасток та промочування ґрунту. За методом пакетного аналізу відбирали ґрунтові моноліти з конкретного шару ґрунту, розміщували їх у бювети, які залишали в полі під впливом опадів. Частина ґрунту, яка залишалася непорушеною, не змивалася з бювета, й була показником потенційної протиерозійної стійкості ґрунту.

Метод фіксованих пасток являє собою сітку циліндричних поглиблень в ґрунті з посудинами відповідної форми для концентрації змитого ґрунту. Маса накопиченого ґрунту в посудині у відповідній водозбірній зоні показує величину переміщення ґрунту під впливом стоку.

Одним із методів, який доповнює механізми прояву ерозії, є спосіб оцінки глибини промочування орного шару ґрунту за допомогою твердоміра. Визначення межі сухим і зволженим ґрунтом у такий спосіб відкриває можливість проведення сканування водовбирної здатності фактично в необмеженій кількості експериментальних даних. Методологія і методи досліджень проблеми захисту ґрунтів від ерозії – це не тільки фізичні показники, а й передусім нові моделі, теорії і технології екологічно безпечної експлуатації ґрунтових ресурсів (Olson et al., 2016; Shevchenko et al., 2018).

Результати

Водна ерозія не може регулюватися виключно однією групою заходів використання землі. Наприклад, протиерозійний добір культур у сівозміні може нівелюватися внаслідок інтенсивного обробітку ґрунту, який здатний призвести до значних втрат його родючості. Щоб ефективно боротися з проявами водної ерозії, сівозміна і обробіток ґрунту мають посилювати протиерозійний вплив одне на одного. У цьому контексті вивчали способи основного обробітку ґрунту (оранку полицевою, чизельний, дисковий, комбінований, No-till), які принципово відрізняються за динамікою перемішування орного шару і захисним потенціалом.

Полицевою оранкою поєднує в собі багато протиріч, які впливають на розвиток ерозійних процесів. Цей спосіб обробітку надає руху всім структурним частинкам в орному шарі, перемішуючи їх на 25–30 см у горизонтальному і вертикальному напрямках. З одного боку, високий ступінь розпушеності ґрунту після оранки підвищує його вологовбирну здатність, а з іншого – посилює ризик змиву розпорошеного чорнозему, розмиву структурної його цілісності. На порядку денному в ерозійній тематиці оранка набуває актуальності, оскільки цей спосіб обробітку ґрунту, згідно з новими науковими позиціями, не можна викреслити зі сучасної системи землеробства. Проблема полягає в тому, щоб негативні сторони полицевої оранки спрямувати в підсумковий позитивний екологічний результат.

Чизельний обробіток ґрунту (консервуючий) є продуктом удосконалення методів експлуатації земельних ресурсів і найбільш удає поєднує позитивні ознаки глибокої полицевої оранки та ґрунтозахисних способів без обертання пласта. Та-

кий обробіток формує гребенисту поверхню поля і хвилясті внутрішньогрунтові контури з розпушеного ґрунту, мінімізує його за одночасного утворення поглиблень до 45 см по ходу плоскорізної лапи на стійці, що забезпечує ефективне регулювання стоку води і змиву ґрунту. Прийнято вважати, що чизельний обробіток забезпечує найкращі протиерозійні показники на схилових землях з максимально небезпечною прогресуючою ерозією.

Завдяки появі в арсеналі ґрунтообробних знарядь важких дискових борін і здатності їх обробляти ґрунт у будь-якому стані, з рослинними рештками сільськогосподарських культур на поверхні, цей спосіб використовується як основний. Послідовно спарені дискові батареї в тракторному агрегаті можуть забезпечити рівномірне розпушення шару ґрунту 0–10 см, подібнення органічної маси рослин та високу продуктивність роботи агрегатів (Prohorenko & Adamenko, 2011).

Слабким місцем у системі дискового обробітку ґрунту є недостатня глибина активного водовбирного профілю та існування ризику змиву верхнього шару, який зазвичай значно розпорошений.

Нова тенденція в системі основного обробітку ґрунту – застосування комбінованих агрегатів, які мають у своєму складі плоскорізи, дискові, вирівнюючі і коткуючі робочі органи, спрямовані на виконання за один прохід трактора декількох технологічних операцій. Завдання тут полягає в забезпеченні за один робочий цикл такої агрофізичної і механічної якості ґрунту, яка відповідала б вимогам проведення сівби сільськогосподарських культур.

Хоча комбіновані агрегати і неповною мірою відповідають принципам мінімізації обробітку ґрунту, проте вони здатні забезпечити високий водокумулятивний і протиерозійний ефект за рахунок плоскорізного блока-комбінатора.

Прямую сівбу або систему No-till можна віднести до екстремальних видів обробітку ґрунту і в цілому технології вирощування сільськогосподарських культур, оскільки на економічному фланзі проявляються незаперечні переваги щодо суттєвого скорочення витрат палива, а на іншому виникає небезпечний ризик агрофізичної і фітосанітарної депресії рослин.

За системи No-till здійснюється мінімальний механічний вплив на ґрунтову масу, яка становить лише 2–6% від об'єму орного шару. Найбільшою загрозою тут є інтенсивний стік води, який можна нейтралізувати за рахунок рослинної мульчі (Zolina, 2012).

Для визначення потенційної протиерозійної стійкості за методом ерозійного пакета відбирали зразки ґрунту на варіантах досліду формою куба (10×10×10 см) і масою приблизно 1 кг. Наслідки руйнування ґрунтових монолітів спостерігали після дощу 45 мм протягом двох діб (29–30 липня). Кількість змитого ґрунту (%) до початкової маси і була характеристикою його протиерозійної стійкості. Тобто втрата монолітом 1% маси свідчить про те, що дощ здатний перемістити 100 т ґрунтової маси на одному гектарі земельної ділянки.

Достатньо широкий діапазон сільськогосподарських культур, їх фазового стану та способів основного обробітку ґрунту

дозволив одержати детальні характеристики протиерозійної стійкості фактично різних систем землеробства та варіацій елементів, що їх складають.

Наші дослідження підтвердили, що діапазон стійкості ґрунту до руйнівної сили дощу був достатньо широким і залежав від таких факторів, як щільність ґрунту, армованість його кореневою системою, проективного покриття рослинною мульчею або вегетуючими культурами. Найбільшого руйнування під впливом 45 мм дощу зазнав ґрунтовий моноліт, відібраний на фоні поля чорного пару після проведення оранки, де його маса зменшилася на 19,1%. Найсильнішою протидією дощовій ерозії характеризувалася за прямої сівби пшениця озима (5,3%). Підтримання ґрунту в полі чорного пару в стані інтенсивного механічного обробітку під час догляду за ним робить це поле найбільш уразливим з точки зору безпеки ерозії. Так, проведення в паровому полі чизельного, дискового і комбінованого обробітку викликає руйнування ґрунтового моноліту на 43–123% більше, ніж у посівах пшениці озимої.

До зони ерозійного ризику слід віднести також поля, на яких вирощуються кукурудза і соняшник; втрати ґрунту за методом ерозійного пакета досягають величин, наближених до чорного пару (6,8–15,7%).

Культури суцільного способу сівби (пшениця озима і ячмінь ярий) вигідно відрізняються від просапних за рахунок гальмування швидкості крапель дощу біологічною масою агроценозу, рівномірного розпорошення стоку по поверхні поля та зчеплення ґрунту кореневою системою в добре структуровану масу. Завдяки такій конструкції біогеоценозу рівень ерозійної небезпеки в посівах культур суцільного способу сівби знижується до 5,2–8,1%.

У системі боротьби з ерозією вагоміша роль належить сільськогосподарським культурам, аніж способам обробітку ґрунту (табл. 1). Такий висновок підтверджують експериментальні дані інших учених (Andraski & Lowery, 1992; Montgomery, 2007).

Наприклад, у посівах пшениці озимої діапазон розбіжності показників протиерозійної стійкості, залежно від способу основного обробітку, становить лише 5,2–7,5%. Того ж часу для просапних культур вибір способу обробітку ґрунту має суттєве значення, оскільки інтенсивність руйнування цілісності ґрунту від оранки до системи No-till змінюється в межах від 7,0% до 15,7%. Зрозуміло, що особливий статус в системі протиерозійної організації технологій мають оранка та No-till, які характеризуються протилежними можливостями в збереженні ґрунтів від ерозійної деградації.

Способи основного обробітку ґрунту в різній мірі включають елементи мінімізації (чизельний, дисковий, комбінований), посилюють протиерозійну стійкість в основному за рахунок рослинних решток на межі контакту з водою.

Таким чином, ґрунтозахисні способи основного обробітку ґрунту з мульчувальним органічним шаром на поверхні поля є більш ефективними при вирощуванні просапних культур.

Якщо метод ерозійного пакета дає уявлення про збереження монолітності, структурності і форми ґрунту під тиском до-

Таблиця 1. Протиерозійна стійкість ґрунту залежно від щільності біоценозу і основного обробітку за методом ерозійного пакета, %

Культура	Обробіток ґрунту				
	оранка	чизельний	дисковий	комбінований	No-till
Пар чорний	19,4	10,1	12,2	14,4	7,3
Пшениця озима	7,5	7,0	6,5	6,3	5,2
Соняшник	15,7	10,5	9,3	9,9	7,0
Ячмінь ярий	8,4	8,1	7,2	7,0	6,4
Кукурудза	13,6	8,6	8,0	8,9	6,8

щової води, то метод ерозійних пасток свідчить про площинне переміщення ґрунту у водному розчині.

Проведені дослідження показали, що розвиток процесів водної ерозії здебільшого залежить від комплексу технологічних заходів експлуатації землі. Основними конструктивними елементами, які забезпечують протиерозійну стійкість і попередження змиву ґрунту, є водовбирна здатність ріллі, наявність протиударної органічної мульчі, тривалість вегетації польових культур та інтенсивність дощів або потоків талої води.

Встановлено, що в найбільш агресивному ерозійному середовищі – чорному пару – застосування чизельного, дискового і комбінованого обробітку та системи No-till у наших дослідках знижує, стосовно оранки, змив ґрунту в пастки від 61 до 19–37 г/м² (табл. 2). У перерахунку втрат ґрунту внаслідок змиву це означає, що на фоні оранки в чорному пару чорноземна маса з одного гектара площі зменшується на 1220 кг, а у випадку впровадження ґрунтозахисних способів обробітку на 380–740 кг. Підкреслимо, що така інтенсивність ерозії проявляється за випадіння 45 мм дощу протягом двох діб.

Протиерозійні захисні функції агросистеми значно зростає в посівах зернових колосових культур. Так, після збирання врожаю пшениці озимої і ячменю ярого за наявності стерні і подрібнених органічних решток змив ґрунту був мінімальним (15–25 г), а фон основного обробітку ґрунту за своїми регулювальними можливостями відходив на другий план.

Ступінь протиерозійної безпеки при вирощуванні кукурудзи і соняшнику, через проведення додаткового механічного догляду за посівами, виявився в 1,5 раза нижчим, ніж у сусідніх агроценозах. Міжрядний обробіток посівів нівелював різницю між способами основного обробітку ґрунту на стадії молочної стиглості зерна пізніх культур до 7–8 г (13–15%) різниці.

Якщо перевести отримані результати досліджень на загальноукраїнські масштаби, то прогноз розвитку водної ерозії буде таким: впровадження ґрунтозахисних технологій дозволить знизити обсяги розширення площ еродованих земель на 30–50%.

У проблемі водна ерозія ще одним важливим вектором взаємодії факторів її регулювання є водовбирна здатність ґрунту, яка характеризує не лише його вбирну здатність, а й перерозподіл води у вертикальному напрямку. Очевидно, що обсяг

акумульованої вологи ріллею суттєво блокує інтенсивність площинного змиву і стоку. Акумулятивну здатність і глибину фільтрації опадів поверхнею поля, створеною під впливом сільськогосподарських культур та способів основного обробітку, визначали за допомогою твердоміра шляхом встановлення горизонту переходу від зволоженого розуцільненого шару до більш твердого з нижчою вологістю. Цей спосіб забезпечує високий ступінь адекватності процесів водопоглинення.

У контексті взаємодії площинної ерозії та вертикальної інфільтрації води відзначимо, що найвища акумуляція вологи забезпечувалася при застосуванні довготривалої полицевої оранки в сівозміні. Так, на фоні глибокої оранки глибина промочування ґрунту була максимальною і становила в чорному пару і просапних культурах 30,6–25,3 см (табл. 3).

Багатофакторний аналіз наукових результатів щодо впливу елементів землеробства на ерозію дозволив зробити два важливих теоретичних і практичних висновки: 1) глибока полицева оранка має тривалу позитивну післядію на водовбирну здатність ґрунту; 2) механічний догляд за посівами просапних культур є ефективним засобом акумуляції вологи в ґрунті, який збільшує поглинання дощової води на 18–22%.

Із технологічної точки зору на інтенсивність поглинання води найбільш впливала глибина обробітку ґрунту, а з агрофізичної – щільність орного шару. Таку закономірність підтверджують отримані експериментальні дані; глибина промокання ґрунту корелятивно зменшувалася зі застосуванням ґрунтозахисних способів обробітку з меншою глибиною розпушення ріллі.

Особливо яскраво зниження водовбирної здатності ґрунту проявилася з використанням системи No-till, яка поступалася за активністю акумуляції дощової води полицевій оранці (21–43%).

Зафіксований історичний факт, який сьогодні є робочою моделлю в теорії і практиці землеробства, свідчить про те, що останні 150 років чорноземні ґрунти постійно деградують і втрачають родючість внаслідок масового застосування полицевих плугів. Але 30-річні стаціонарні дослідження доводять надзвичайно потужний потенціал родючості чорноземів, який ще нецілковито використав свій ресурс для того, щоб отримувати високі врожаї сільськогосподарських культур. Вагомим

Таблиця 2. Змив ґрунту в системі землеробства методом ерозійних пасток, г

Культура	Обробіток ґрунту				
	оранка	чизельний	дисковий	комбінований	No-till
Пар чорний	61	31	35	37	19
Пшениця озима	22	20	18	18	15
Соняшник	34	27	29	26	23
Ячмінь ярий	25	23	21	20	18
Кукурудза	31	26	27	24	21

Таблиця 3. Глибина промокання ґрунту після опадів 45 мм (29–30.08.2017 р.), см

Культура	Обробіток ґрунту				
	оранка	чизельний	дисковий	комбінований	No-till
Пар чорний	30,6	30,1	29,2	28,9	16,8
Пшениця озима	21,5	20,0	17,8	18,4	15,3
Соняшник	27,5	26,1	25,1	24,0	23,4
Ячмінь ярий	19,4	18,2	15,7	15,3	14,2
Кукурудза	25,3	24,3	22,7	22,0	19,6

аргументом в цьому контексті слугують результати наших досліджень в сівозміні, які демонструють, що глибока оранка, як і значно раніше, ефективно мобілізує потенціал родючості і забезпечує більш високий урожай, ніж способи мінімального обробітку ґрунту.

Наприклад, на фоні оранки врожайність пшениці озимої становила 5,37 т/га, кукурудзи 4,72 т/га з мінусовою реакцією на No-till – 0,46 т/га. Зниження інтенсивності обробітку на основі мінімальних його способів (чизельний, дисковий, комбінований) також супроводжувалося зниженням урожайності таких культур, як пшениця озима, ячмінь ярий, кукурудза на 0,21–0,45 т/га, тобто 4–15%, порівняно з оранкою.

Обговорення

Неймовірно висока багатовекторність впливу технобіогенних систем на виробниче середовище в аграрному секторі виробництва все помітніше приводить до колізій між зростанням виробничих витрат і збереженням родючості ґрунтів, рівнем урожайності сільськогосподарських культур і окупністю вкладень, скороченням енергетичних витрат у землеробстві і ступенем фітосанітарної загрози, насиченням структури посівних площ технологічно і біологічно однорідними культурами і збитковою динамікою поживних речовин (Pimentel et al., 1995; Balyuk et al., 2010; Zolina, 2012).

Про значний вплив факторів, що вивчалися в стаціонарному досліді, свідчить великий розрив у показниках рентабельності виробництва між діаметрально протилежними комбінаціями систем землеробства: горох – No-till – $N_{45}P_{45}K_{45}$ – 5,5% (рентабельність мінімальна) і соняшник – безполицевий – без добрив – 245,5% (рентабельність максимальна).

Із економічної точки зору переконливі аргументи мали такі культури, як соняшник, рентабельність виробництва якого залежала від способів основного обробітку ґрунту і мінеральних добрив у межах 126,2–245,5%, пшениця озима – 124,5–202,8% та кукурудза на зерно – 110,9–165,2%.

Ярі ранні зернові і зернобобові культури суттєво поступалися групі озимих і пізніх форм унаслідок того, що відрізнялися нижчою врожайністю. У наших дослідженнях простежується виразна тенденція до зниження рентабельності виробництва зерна зі застосуванням мінеральних добрив на фоні родючості ґрунту, який зберігається в сучасному землеробстві (Zhao et al., 2013; Shevchenko et al., 2018). У такому випадку виникає еколого-економічна дилема: відмовитися від мінеральних добрив, оскільки вони не окупаються приростом урожаю, чи все-таки вносити добрива, зберігаючи при цьому родючість ґрунту і його еволюційну відновлюваність?

Економічна закономірність щодо зниження показників рентабельності при внесенні мінеральних добрив проявилася по всій вертикалі багатофакторної схеми дослідів. Оскільки внесення $N_{45}P_{45}K_{45}$ супроводжувалося підвищенням виробничих витрат у технологічному циклі вирощування культур сівозміни на 2378 грн/га – горох і 2552 грн/га – на зерновій кукурудзі, то показники рентабельності негайно відреагували зниженням їх від 35,7% до 20,7% та від 164,4% до 141,7%, відповідно.

В економічному форматі важливим є показник прибутковості виробничої діяльності, який характеризує ефективність використання землі. Аналіз комплексу економічних показників підтвердив наше припущення, що розрахований умовно чистий прибуток позитивно відреагує на внесення мінеральних добрив. Так, при вирощуванні пшениці озимої на фоні полицевої оранки внесення $N_{45}P_{45}K_{45}$ забезпечило зростання прибутку від 13158 грн до 13732 грн/га, а кукурудзи – від 13194 грн до 14926 грн/га.

Глибокий аналіз отриманих результатів наших досліджень в умовах стрімкої модернізації технологічних і сортових ресурсів у землеробстві, диверсифікація засобів виробництва, наростання протиріччя між експлуатаційною і екологічною части-

нами показують, що нетрадиційні теоретичні положення дають раціональне пояснення процесам, які проявляються в сучасних агробіоценозах під впливом глобальних проблем суспільства.

Підступність водної ерозії полягає в тому, що її негативна дія на ґрунт працює як фактор уповільнення дії, яким на початкових фазах розвитку, здавалося, можна було б знехтувати, проте практика переконує: така неухвага до цієї проблеми може повернутися невідновлювальними втратами родючості ґрунту.

Натепер ще не існує більш ефективного методу боротьби з ерозією, ніж системне впровадження ґрунтозахисних способів обробітку ґрунту та добір сільськогосподарських культур з високим ступенем його протиерозійної структуризації.

Висновки

Такі напрями в аграрному виробництві, як структурна реорганізація землеробства шляхом розширення посівів просапних культур, скорочення обсягів кормових культур, порушення строків проведення прийомів обробітку ґрунту та інтенсифікація всіх технологічних елементів на фоні послаблення наукової уваги до проблем ерозії загрожують деградацією і втратою родючості чорноземів.

Найбільш ефективними методами підвищення протиерозійного потенціалу ґрунтів та попередження їх змиву є використання сільськогосподарських культур суцільного способу розпушення і застосування захисного мульчувального екрана.

Порівнюючи з найбільш ерозійно небезпечною ланкою сівозміни – оранкою в полі чорного пару – чизельний, дисковий, комбінований обробітки і система No-till під пшеницю озиму і ячмінь ярий значно підвищують потенціал протиерозійної стійкості ґрунту та знижують інтенсивність змиву чорнозему.

Для просапних культур планку ерозійного ризику їх посівних площ важливо утримувати в межах науково обґрунтованих норм застосовувати ґрунтозахисні способи основного обробітку ґрунту, які могли б посилювати протидію ерозії більш ніж удвічі.

Захищати ґрунти від ерозії і деградації якісної структури шляхом впровадження мінімального, мілкого, безполицевого обробітку є перспективним і безальтернативним напрямом, незважаючи на зниження врожайності зернових культур (5–11%) і виникнення технологічних незручностей, пов'язаних з використанням добрив і засобів захисту рослин.

References

- Andraski, B. J., & Lowery, B. (1992). Erosion effects on soil water storage, plant water uptake and corn growth. *Soil Science Society of America Journal*, 56, 1911–1919. doi: [10.2136/sssaj1992.03615995005600060044x](https://doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600060044x)
- Balyuk, S. A., & Medvedyeva, V. V. (2012). Strategiya zbalansovanogo vykorystannya, vidtvorennya i upravlinnya gruntovoyi resursamy Ukrainy [Strategy of balanced use, management of soil resources of Ukraine]. *Agrarian science*, Kyiv (in Ukrainian).
- Balyuk, S. A., Medvedyev, V. V., Tarariko, O. G., Grekov, V. O., & Balajev, A. D. (2010). Nacionalna dopovid pro stan rodyuchosti gruntiv Ukrainy [National report on soil fertility status in Ukraine]. Ministry of Agrarian Policy, State Technological Center for Soil Fertility Protection, National Academy of Sciences of Ukraine, National Scientific Center “O. N. Sokolovsky Institute of Soil Science and Agrochemistry”, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv (in Ukrainian).
- Faucon, M., Houben, D., & Lambers, H. (2016). Plant Functional Traits: Soil and Ecosystem Services. *Trends in plant science*, 5, 385–394. doi: [10.1016/j.tplants.2017.01.005](https://doi.org/10.1016/j.tplants.2017.01.005).
- Medvedyev, V. V., & Lisovyy, M. V. (2001). Stan rodyuchosti gruntiv Ukrainy ta prognoz jogo zmin za umov suchasnoho zemlerob-

- stva [The state of soil fertility in Ukraine and the forecast of its changes in the conditions of modern agriculture]. Shtrix, Harkiv (in Ukrainian).
- Montgomery, D. R. (2007). Soil erosion and agricultural sustainability. *National Academy of Sciences*, 104(33), 13268–13272. doi: [10.1073/pnas.0611508104](https://doi.org/10.1073/pnas.0611508104)
- Ochoa, P. A., Fries, A., Mejía, D., Burneo, J. I., & Ruiz-Sinoga, J. D. (2016). Effects of climate, land cover and topography on soil erosion risk in a semiarid basin of the Andes. *Geomorphology*, 140, 31–42. doi: [10.1016/j.catena.2016.01.011](https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.01.011)
- Olson, K. R., Al-Kaisi, M. A., Lal, R., & Cihacek, L. (2016). Impact of soil erosion on soil organic carbon stocks. *Journal of Soil and Water Conservation*, 71(3), 61A–67A.
- Pabat, I. A. (1992) Gruntozahysna systema zemlerobstva [Soil conservation system]. Harvest, Kyiv (in Ukrainian).
- Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., Crist, S., Shpritz, L., Fitton, L., Saffouri, R., & Blair, R. (1995). Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science*, 267, 1117–1123. doi: [10.1126/science.267.5201.1117](https://doi.org/10.1126/science.267.5201.1117)
- Prohorenko, O. T., & Adamenko, T. I. (2011) Agroklimatychnyj dovidn'k po Dnipropetrovskij oblasti (1986–2005 rr.) [Agroclimatic guide to the Dnipropetrovsk region (1986–2005)]. Dnipropetrovsk (in Ukrainian).
- Prosdocimi, M., Tarollia, P., & Cerdà, A. (2016). Mulching practices for reducing soil water erosion: A review. *Earth-Science Reviews*, 161, 191–203. doi: [10.1016/j.earsci-rev.2016.08.006](https://doi.org/10.1016/j.earsci-rev.2016.08.006)
- Quinton, J. N., Govers, G., Oost, K. V., & Bardgett, R. D. (2010). The impact of agricultural soil erosion on biogeochemical cycling. *Nature Geoscience*, 3, 311–314. doi: [10.1038/ngeo838](https://doi.org/10.1038/ngeo838)
- Shevchenko, M. S., Desyatnyk, L. M., Shvets, N. V., & Shevchenko, S. M., (2018) Metodyka vyznachennya vologosti gruntu: klasychni pomylyky i obyektivni fizychni parametry [Methodology for determination of soil moisture: classical errors and objective physical parameters]. *Grain Crops*, 2(2), 309–313. doi: [10.31867/2523-4544/0041](https://doi.org/10.31867/2523-4544/0041)
- Zhang, X. C., & Wang, Z. L. (2017). Interrill soil erosion processes on steep slopes. *Journal of Hydrology*, 548, 652–664. doi: [10.1016/j.jhydrol.2017.03.046](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.03.046)
- Zhao, G., Mu, X., Wen, Z., Wang, F., & Gao, P. (2013). Soil erosion, conservation, and eco-environment changes in the Loess Plateau of China. *Land Degradation & Development*, 24, 499–510. doi: [10.1002/ldr.2246](https://doi.org/10.1002/ldr.2246)
- Zolina, O. (2012). Change in intense precipitation in Europe. In: Z. W. Kundzewicz (Ed.), *Changes in Flood Risk in Europe* (pp. 97–120). IAHS Press, Wallingford, Oxfordshire. doi: [10.1201/b12348-8](https://doi.org/10.1201/b12348-8)