

## СУЧАСНІ СИСТЕМИ ЗЕМЛЕРОБСТВА І НОВЕ ТРАКТУВАННЯ СІВОЗМІННОЇ ЦІННОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

**М. С. Шевченко, Л. М. Десятник, К. А. Деревенець-Шевченко, Н. В. Швець**

Державна установа Інститут зернових культур НААН, вул. Володимира Вернадського, 14, м. Дніпро, 49027, Україна

На основі широкого експериментального дослідження продуктивності сівозмін в різних зонах Степу розроблено корелятивну модель оцінки ролі попередників у формуванні урожайності культур, що йдуть після них. З'ясовано зв'язок між якістю агротехнологій і зміною ступеня сівозмінної конкурентоспроможності культур.

Ретроспективний аналіз ефективності систем землеробства та сівозмін показав, що постійне удосконалення сортів і гібридів сільськогосподарських культур, а також технологій їх вирощування стало основою для переоцінки значення попередників в сівозміні. Суть останнього полягає у тому, що в сучасних агросистемах за рахунок високопотенційних біотехногенних ресурсів можливо одержати вищу урожайність польових культур по гірших попередниках, ніж раніше по кращих.

З метою одержання універсальної оцінки ефективності сівозмін та моделювання їх продуктивності запропоновано ввести коефіцієнт сівозмінної депресії, який дає уявлення про частку зниження урожайності після окремих попередників порівняно з її базовим рівнем після чорного пару. При цьому найбільш сприятливі умови склалися після культур, коефіцієнт депресії яких вище 0,80 – до них належать: пшениця озима, ячмінь, ріпак, жито, ярий ячмінь, овес. В той же час суттєво пригнічується розвиток культур, що йдуть після соняшника, кукурудзи на зерно і силос, буряка, сорго, сої, їх коефіцієнт депресії становить 0,66–0,78.

Запропонована методологія системного аналізу оцінки попередників відкриває широкі можливості для формування адаптованих сівозмін, оптимізації набору польових культур відповідно до вимог ринку, внесення важливих коректив у сівозміни в екстремальних умовах, регулювання продуктивності сівозмін з урахуванням агротехнологічної модернізації.

**Ключові слова:** сівозміна, обробіток ґрунту, добрива, культури, зерно, попередники, урожай, мінімізація.

В історії розвитку землеробства жодного разу не було такого, коли б структура посівних площ і чергування культур в сівозміні повною мірою відповідали оптимальному навантаженню окремими культурами.

На початку ХХ ст. домінували ярі зернові культури. Згодом увагу зосередили на багаторічних бобових травах, далі зацікавилися просапною кукурудзою, але за рахунок

кормових культур досягти високого рівня продуктивності тваринництва не вдалося, в епоху економічних підходів домінуючими стали культури, що помітно виснажують ґрунт, а саме – кукурудза і соняшник з інтенсивною оборотністю фінансів.

Своєрідна структура посівних площ, характерна для кожної системи землеробства в історичному розрізі, на практиці показала

### Інформація про авторів:

**Шевченко Михайло Семенович**, доктор с.-г. наук, професор, завідувач відділу землеробства, e-mail: inst\_zerna@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-6779-0292>

**Десятник Лідія Модестовна**, канд. с.-г. наук, старший науковий співробітник, зав. лаб. сівозмін та природоохоронних систем обробітку ґрунту, e-mail: lidades1957@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4087-5146>

**Деревенець-Шевченко Катерина Анатоліївна**, канд. біол. наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник лаб. захисту рослин, e-mail: katia\_derevenets@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-0469-0972>

**Швець Наталія Володимирівна**, головний фахівець лаб. координації наукових досліджень та інтелектуальної власності, e-mail: inst\_zerna@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-3113-7689>

свої еколого-економічні недоліки. Так, в посівах ярих колосових культур внаслідок слабкої їх фітоценотичної стійкості збільшилася кількість специфічних видів бур'янів.

Надмірне захоплення багаторічними бобовими травами, поряд з ефективним регулюванням родючості ґрунтів, суттєво стримувало підвищення продуктивності ріллі і призвело до екстенсивного розвитку землеробства.

Розширення посівів кукурудзи на зерно і зелений корм стало передумовою для поширення бур'янів, введення до технології вирощування значних обсягів ручної праці, до того ж зазнав змін в гірший бік добір попередників.

В останні 25 років довелось поєднувати відмову від кормових культур та істотне збільшення посівів просапних культур – до 12 млн га з активним хімічним захистом і небезпекою накопичення залишків пестицидів в навколишньому природному середовищі.

Причиною радикальної трансформації структури посівних площ стали три фактори:

- *суттєве зниження поголів'я великої рогатої худоби;*
- *значний попит на світовому ринку на олію соняшника,*
- *розширення експортних можливостей для зернової продукції.*

Внаслідок такої реструктуризації складу сільськогосподарських культур посівні площі соняшника збільшилися з 1,7 до 6,0 млн га, кукурудзи з 2,0 до 4,9 млн га, але, з іншого боку, в структурі посівних площ суттєво скоротилися посіви кормових культур – з 31 до 4 %, ярого ячменю – з 9 до 3 %, гороху – з 5 до 2,5 %.

При вирішенні питання якості попередників, які негативно впливали на формування урожайності в сівозміні та погіршували становище, увагу почали зосереджувати на нових сортах польових культур, новітній ґрунтообробній техніці з високими показниками продуктивності праці, ефективних засобах захисту від шкідливих організмів та збільшенні тривалості вегетаційного періоду.

Для того щоб визначити роль попередників в сівозміні, ми провели порівняння їх значення в різних системах землеробства: з одного боку, ті, що мали місце в 60-роках минулого століття з використанням менш продуктивних сортів і обмежених обсягів за-

собів хімізації, а з іншого – сучасні агротехнології (2016–2019 рр.).

Проведене нами порівняння особливостей реакції культур сівозміни на попередники в 1961–1968 рр. та в 2014–2019 рр. дало можливість поглибити уявлення про закон плодозміни, визначити його можливі модифікації та залежність від технічного рівня вирощування сільськогосподарських культур.

**Мета дослідження** – з'ясування шляхів досягнення високої продуктивності сівозміни при відхиленні від класичних нормативів чергування культур на основі технологічного корегування факторів життєздатності рослин.

#### **Матеріали та методи дослідження.**

Основну частину польових стаціонарних досліджень було виконано впродовж 2011–2019 рр. на базі Ерастівської та Розівської дослідних станцій, Державного підприємства «Дослідне господарство «Дніпро» Державної установи Інститут зернових культур, а також в дослідних установах НААН в межах координації програм з вирішення проблем землеробства степової зони. Стаціонарні сівозміни закладались відповідно до загальноприйнятих методик та їх спеціалізації з урахуванням агротехнологічних прийомів, таких як основний обробіток ґрунту, внесення органічних і мінеральних добрив, захист рослин.

Для створення моделі прогнозування продуктивності сівозміни залежно від якості попередників було проаналізовано 50 сівозмін в різних ґрунтово-кліматичних регіонах Степу, де річна кількість опадів коливається в межах 387–541 мм, середньорічні показники температур – 8,8–10,6 °С, а гідротермічний коефіцієнт дорівнює 0,54–1,28.

Ґрунтовий покрив представлений чорноземом звичайним та каштановим з вмістом гумусу в орному шарі 2,1–4,4 %. Агрохімічні показники наступні: азот, що легко гідролізується, – 9–22 мг/кг ґрунту,  $P_2O_5$  – 110–170 мг/кг та  $K_2O$  – 90–207 мг.

Для одержання коефіцієнта депресії урожайності залежно від попередника порівнювали сільськогосподарські культури попарно в різних зонах вирощування. Внаслідок такого групування було розроблено модель реакції польових культур в сівозмінному контакті.

В експерименті були задіяні такі основні культури, як пшениця озима, кукурудза на зерно, ячмінь ярий і соняшник, які

тестувались за реакцією на різні попередники (табл. 1).

Наведені дані свідчать про те, що су-

### 1. Оцінка попередників в сівозміні на різних етапах розвитку землеробства

Попередник	Культури сівозміни			
	пшениця озима	кукурудза	ячмінь ярий	соняшник
Пшениця озима	<u>4,21*</u>	<u>5,14</u>	<u>2,55</u>	<u>2,16</u>
	5,18	6,85	3,09	3,25
Кукурудза	<u>2,88</u>	<u>4,11</u>	<u>1,97</u>	<u>1,58</u>
	4,07	5,53	2,49	2,38
Ячмінь ярий	<u>4,37</u>	<u>5,25</u>	<u>2,37</u>	<u>2,16</u>
	4,91	6,50	2,84	3,10
Соняшник	<u>3,77</u>	<u>4,22</u>	<u>1,98</u>	<u>1,37</u>
	4,61	6,08	2,70	2,84
Озимий ріпак	<u>4,84</u>	<u>5,26</u>	<u>2,38</u>	<u>2,25</u>
	5,34	6,61	2,82	2,90
Горох	<u>4,29</u>	<u>5,48</u>	<u>2,66</u>	<u>2,41</u>
	4,96	6,83	3,17	3,30

Чисельник – урожайність за 1964–1969 рр., знаменник – урожайність за 2014–2018 рр.

часні технології, засоби хімізації і сорти забезпечили безперечну перевагу урожайності всіх перелічених в таблиці 1 сільськогосподарських культур над тією, яка була одержана 50 років тому при значно нижчому потенціалі селекційних досягнень і відсутності засобів захисту рослин з високим очисним ефектом.

Наприклад, по найкращому попереднику (горох) урожайність кукурудзи зернової збільшилася порівняно з минулим періодом з 5,48 до 6,83 т/га, а порівняно з найскладнішим (кукурудза по кукурудзі) – з 4,11 до 5,53 т/га.

Урожайність ячменю ярого як культури з високою реакцією на сівозмінні фактори залежно від попередника змінилася ще більш суттєво. Так, у разі екстенсивного землеробства з переходом від попередника пшениця озима до кукурудзи урожайність ячменю ярого зменшилась з 2,55 до 1,97 т/га, а на стадії інтенсифікації виробництва – відповідно з 3,09 до 2,49 т/га. Тобто тенденція щодо залежності від попередника залишилася, але при цьому показники урожайності культур були вже вищі.

**Результати дослідження.** Аналіз ряду попередників підтвердив існування тенденції до зниження урожайності окремих культур по мірі погіршення факторів життєзабезпечення. Послідовне зниження урожайності, наприклад, пшениці озимої залежно від попередників наступне: після ріпаку озимого

– 4,84 т/га, ячменю ярого – 4,37 т/га, гороху – 4,29 т/га, пшениці озимої – 4,21 т/га, соняшника – 3,77 т/га, кукурудзи на зерно – 2,88 т/га.

Незважаючи на модернізацію агротехнологій, закономірності реакції сільськогосподарських культур на попередники в сівозміні зберігаються, про що свідчить динаміка зниження урожайності залежно від якості попередника. Проте радикалізм нової концепції погляду на побудову сівозмін полягає в тому, що сьогодні після гіршого попередника урожайність зерна є вищою, ніж після найкращих 40–50 років тому. Наприклад, після найскладнішого в ресурсному та агротехнологічному аспекті попередника – кукурудзи на зерно було одержано 5,55 т/га зерна (як наступної культури), що на 0,41 т/га більше, ніж після пшениці озимої в 1962–1967 рр., на 0,30 т/га – ячменю ярого, на 0,33 т/га – соняшника, на 0,29 т/га – ріпаку озимому, на 0,07 т/га – гороху. Разом з тим, слід врахувати, що урожайність вирощуваних культур при запровадженні сучасних сортів і гібридів у разі їх розміщення по кращих попередниках також підвищилася.

Проте, одночасно зі зменшенням регулятивної ролі чергування культур в сівозміні в інтенсивному землеробстві залишаються працювати закони плодозміни і розподілу культур на сприятливі та виснажливі. При цьому, зважаючи навіть на широкі функціо-

нальні можливості сучасних технологій щодо контролювання ступеня забур'яненості посівів, ураження рослин хворобами та пошкодження їх шкідниками, вологозабезпеченість агроценозів залежно від біологічних особливостей сільськогосподарських культур залишається найбільш проблемним питанням. Як результат – в стаціонарних сівоzmінах всі культури реагували на попередники відповідними показниками урожайності. Так, в широкому діапазоні попередників від гороху до соняшника урожайність ячменю ярого змінювалась в межах від 2,49 до 3,17 т/га, пшениці озимої – від 4,07 до 5,34 т/га, соняшника – від 2,38 до 3,25 т/га. Тобто, незважаючи на значний вплив сучасних засобів

виробництва на урожайність сільськогосподарських культур в сівоzmіні, не слід забувати, що попередники також відіграють значну роль у формуванні продуктивності безпосередньо залежних від них культур.

Проведені зональні стаціонарні дослідження в степовій зоні свідчать про значний діапазон коливання урожайності зернових культур залежно від сівоzmіни, добрив і обробітку ґрунту. Одержані експериментальні дані дають можливість оцінити технологічний і ґрунтово-кліматичний потенціал виробництва зерна в північному, південному, південно-східному та південно-західному Степу (табл. 2).

Як видно з наведених даних перше міс-

## 2. Діапазон урожайності вирощуваних культур в установах Степу, т/га (2019 р.)

Установа НААН	Культури						
	пшениця озима	ячмінь ярий	горох	соя	куку- рудза	сорго	соняш- ник
Інститут сільського господарства Степу	3,54–5,25	–	–	1,63–3,57	3,11–6,61	–	2,28–3,99
ДП «ДГ «Дніпро»*	4,07–4,81	2,18–2,92	–	–	4,82–6,51	–	2,07–2,91
Ерастівська дослідна станція	3,62–5,11	1,58–2,64	1,44–2,01	1,66–2,16	6,25–7,48	–	3,58–4,46
Розівська дослідна станція	5,95–6,74	1,58–4,77	2,61–3,07	–	4,77–6,21	–	2,90–4,04
Інститут зрошувального землеробства	4,12–6,04	2,07–4,41	–	–	–	5,11–6,01	2,12–3,31
Миколаївська дослідна станція	2,96–3,91 6,90–7,56 (жито озиме)	2,79–3,64 (озимий)	–	–	–	2,76–3,58	1,25–2,63
Асканійська державна с.-г. дослідна станція	2,05–2,78 (яра)	–	1,56–1,87	–	–	0,57–1,18	–
Одеська дослідна станція	2,02–5,54	–	–	–	–	–	–

\* Державне підприємство «Дослідне господарство «Дніпро».

це за продуктивністю посідають пшениця озима і кукурудза на зерно – відповідно 2,00–6,74 та 3,11–7,48 т/га. При цьому пшениця озима стабільно забезпечує наведений рівень урожайності в усіх зонах Степу, а вирощування кукурудзи на півдні пов'язане з великим ризиком. Проте слід зауважити, що пріоритет пшениці озимої за урожайністю зерна значною мірою визначається тим, що її переважно розміщують по кращих попередниках, в тому числі і по чорному пару. Якщо на Ерастівській дослідній станції по чорному пару було одержано 5,11 т/га зерна пшениці, то після сої – 4,01 т/га, в той час як

урожайність кукурудзи на зерно після сої становила майже 6,25 т/га. Таким чином, незважаючи на те, що кукурудза належить до числа задовільних попередників, її позитивна роль в сівоzmіні полягає в тому, що вона краще, ніж інші культури компенсує недоліки виснажливих попередників, що зумовлює підвищення продуктивності сівоzmін.

За рівнем урожайності зерна ячмінь ярий і горох не витримують конкуренції з пшеницею озимою і кукурудзою по всій географічній вертикалі степової зони. Так, урожайність ячменю ярого на Ерастівській дослідній станції на фоні без добрив після

кукурудзи на зерно становила 1,44 т/га, а на Розівській – при внесенні  $N_{45}P_{45}K_{45}$  по полицевій оранці – 4,77 т/га

Існує декілька причин того, що ранні ярі зернові культури регулярно поступають-ся озимим і кукурудзі – це короткий вегетаційний період, відсутність достатньої уваги з боку селекціонерів, висока чутливість до стресових факторів, недостатня економічна популярність на ринку.

Тривалий час (близько 30 років) соняшник превалував в сівоzmінах внаслідок екстенсивного розширення його посівних площ, що йшло врозріз з науково обґрунтованими методиками дотримання поживного і фітосанітарного режимів. В складній ситуації були знайдені наукові рішення у сфері селекції, імунітету і захисту рослин, які полягали в суттєвому збільшенні урожайності насіння, підвищенні стійкості культури до вовчка та в застосуванні ефективних гербіцидів проти цього паразита.

Важливо відзначити, що рівень урожайності насіння соняшника в різних регіонах степової зони (Дніпропетровська, Кіровоградська, Запорізька обл.) коливається в межах 3,99–4,46 т/га. При цьому у виробничих умовах є ще значні резерви підвищення продуктивності цієї культури, оскільки в інших стаціонарних дослідках, внаслідок застарілого сортового складу і недостатнього використання мінеральних добрив, урожайність утримується на неприйнятному рівні – 1,25–2,12 т/га.

В умовах зонального потепління і прояву посушливості клімату актуальності для сівоzmін набувають посухостійкі культури, до яких в першу чергу належить сорго зернове. Однак розширення посівних площ цієї культури стримується через ряд господарських і технологічних чинників. В першу чергу – це відсутність ефективних гербіцидів і втрати урожаю від бур'янів, висока збиральна вологість зерна, нерівномірність сходів в сухому ґрунті. В південній посушливій частині Степу в різних сівоzmінах урожай зерна сорго становив 1,18 т/га зерна (Асканійська державна сільськогосподарська дослідна станція), а в Інституті зрошуваного землеробства – 6,0 т/га.

Як виявилось, між підвищенням урожайності сорго, як і інших зернових культур,

та поліпшенням вологозабезпеченості існує прямо пропорційна залежність. Важливо, що при ґрунтових і повітряних посухах рослини сорго призупиняють ростові процеси, але при настанні відповідних умов активно їх відновлюють.

Наведені в таблиці 2 показники дисперсії урожайності культур в сівоzmінах розкривають лише комплексну дію природних і технологічних факторів, тобто дають загальне уявлення про особливості формування урожаю. Застосована нами більш широка аналітична модель детермінації величини урожайності на основі факторіального розподілу елементів впливу на урожай уможливила встановити значення окремих технологічних прийомів та екологічних ресурсів. До групи контрольованих в стаціонарних сівоzmінах факторів були занесені зональні агробіологічні умови, попередники основних культур, системи удобрення та способи основного обробітку ґрунту. Як з'ясувалось, самі по собі сільськогосподарські культури своєрідно реагують на комплекс агроекологічних факторів внаслідок сівоzmінної сумісності з іншими культурами, синхронності фаз розвитку з гідротермічними умовами, тривалості накопичення вегетативної маси, інтенсивності транспірації. Теза про неоднорідність реакції окремих культур на зміну умов вирощування одразу підтверджується тим, що всі фактори агробіоценозу по-різному впливали на формування їх урожайності. Наприклад, фактор з найбільш високим детермінантним потенціалом, яким є зональні ґрунтово-кліматичні умови, визначав урожайність в межах від 42 % (пшениця озима) до 46 % (кукурудза) (табл. 3). Дещо нижчий рівень залежності пшениці озимої від зональних умов пояснюється кращим використанням цієї культурою пізньоосінніх та ранньовесняних запасів вологи, коли ярі культури або ще не використовують, або вже не використовують їх. При цьому формування урожаю соняшника і ячменю ярого залежало на 44 % від зональних умов, незважаючи на достатньо суттєві біологічні розходження між цими культурами, які стосуються в першу чергу обсягів використання ними вологи.

Слід пам'ятати, що комплекс зональних факторів також визначає ефективність попе-

редників, добрив і обробітку ґрунту.

Частка впливу на урожайність культур таких чинників, як агрохімічні показники ґрунту, вологозабезпеченість рослин, фітосанітарний стан посівів після різних попередників, коливається в межах 19–23 % і значно поступається за дією внесеним мінеральним добривам – 21–25 %.

Тому, виходячи із статистичної моделі, можна говорити про те, що з економічної точки зору оцінки сівозмін, попередники є більш ефективним способом регулювання процесами формування урожайності, ніж внесення мінеральних добрив. Таким чином, суть механізмів взаємодії попередників сівозміни з мінеральними добривами полягає в тому, що агробіологічні недоліки, викликані обтяжливими попередниками, частково можливо компенсувати шляхом використання добрив. Логічно така схема відома, але в даному випадку вона набуває більш конкрет-

ного обґрунтування.

Основний обробіток ґрунту, як і раніше, є визначальним базовим технологічним елементом, який прямо та опосередковано впливає на ефективність всіх технологічних операцій і регулює процеси формування урожайності. Незважаючи на те, що обробіток поступається за коефіцієнтом детермінації на 12–13 % добривам і попередникам, від нього залежить цілий комплекс водно-фізичних властивостей ґрунту, рівень фітосанітарної безпеки, локалізація добрив в орному шарі, інтенсивність ерозії та якість акумуляції органічних добрив рослинного походження. Тому поряд з математичною характеристикою обробітку ґрунту існує більш глибоке функціональне значення цього агрозаходу відносно часткового нівелювання негативного сівозмінного впливу ресурсозатратних культур.

Багаторічна історія вивчення агробіо-

### **3. Модель коефіцієнта детермінації урожайності сільськогосподарських культур в системі зональних і технологічних факторів, %**

Культура	Фактори формування урожаю			
	загальні гідротермічні умови	попередники	удобрєння	обробіток ґрунту
Пшениця озима	42	21	25	12
Кукурудза на зерно	46	19	22	13
Соняшник	44	23	21	12
Ячмінь ярий	44	20	23	13

логічних елементів в сівозмінах залежно від біологічних особливостей і господарських властивостей культур всебічно розкрита. Принципово встановлено групу кращих показників, строки повернення різних культур на попереднє місце в сівозміні, особливості водного і поживного режимів та закономірності міграції шкідливих організмів.

На даному етапі розвитку землеробства, коли важливо враховувати сівозмінну цінність всіх ресурсів, при моделюванні достовірного прогнозу виробництва зерна вже недостатньо знати закономірності спрямування процесів, тут важливо з'ясувати, які результати можна одержати в ході реалізації конкретної сівозмінної моделі.

Поряд з цим слід відмітити, що класична теоретична база функціонування сівозмін побудована на сортових ресурсах і технологіях минулого століття, що унеможливило використати потенціал землеробства належ-

ним чином. За сучасного технологічного оснащення цієї галузі суттєво змінились не тільки параметри ефективності сівозміни, але й самі по собі закономірності формування агроценозів і продуктивності ріллі.

Ще одним вагомим аргументом на користь моделювання агросистем на основі коефіцієнтів сівозмінної депресії урожайності сільськогосподарських культур залежно від попередників є необхідність оцінки валових зборів зерна та окупності матеріальних ресурсів, вкладених у виробництво (табл. 4).

Запропонований механізм оцінки продуктивності сівозміни дозволяє встановити вихід зернової продукції на будь-якому етапі корегування ротаційної сівозміни і обирати при цьому найбільш оптимальні варіанти чергування культур.

Для того щоб вирішити проблему визначення цінності попередників, було використано узагальнюючу рейтингову модель,

#### 4. Коефіцієнт сівозмінної депресії урожайності сільськогосподарських культур

Культура попередник	Коефіцієнт сівозмінної депресії	Коефіцієнт сівозмінної депресії за повторного розміщення культури	Діапазон коефіцієнта сівозмінної депресії
Пар	1	—	—
Зайнятий	0,91	—	—
Сидерати	0,87	—	—
Пшениця озима	0,80	0,77	0,74–0,86
Ячмінь озимий	0,84	0,81	0,74–0,87
Жито	0,81	0,80	—
Озимий ріпак	0,86	0,82	0,79–0,88
Ячмінь ярий	0,87	0,79	0,82–0,88
Горох	0,92	0,87	0,87–0,94
Овес	0,89	0,90	0,86–0,93
Просо	0,84	0,86	0,79–0,87
Гречка	0,88	0,89	0,80–0,91
Кукурудза зерно	0,72	0,67	0,69–0,80
Кукурудза силос	0,76	0,73	0,72–0,83
Буряк	0,78	0,73	0,73–0,80
Соняшник	0,66	0,64	0,63–0,78
Сорго	0,65	0,60	0,60–0,75
Трави	0,85	0,80	0,80–0,89
Соя	0,78	0,74	0,75–0,84

яка дає уявлення про частку зниження урожайності культур сівозміни порівняно з базовим показником, тобто чорним паром.

В даному випадку механізм розрахунків полягав у тому, що за одиницю приймається урожайність будь-якої культури по чорному пару, а зниження її продуктивності після інших попередників оцінюється відносно часткою недобору урожаю від одиниці (1). Наприклад, якщо урожайність пшениці озимої по чорному пару становить 6,0 т/га, а після попередника кукурудза вона знижується до 4,32 т/га, коефіцієнт сівозмінної депресії становить 0,72 (табл. 4). Важливо відмітити, що розрахунки коефіцієнтів сівозмінної депресії розроблено на унікальній експериментальній базі, яка включала 50 сівозмін в різних наукових установах степової зони за програмної координації науково-дослідних робіт Державною установою Інститут зернових культур НААН.

З метою розширення інформаційної бази та у зв'язку з універсальністю даного аналітичного методу поряд з узагальненим коефіцієнтом сівозмінної депресії в статистичну модель введено показники коефіцієнта на випадок, коли культури доводиться розміщувати повторно, а також окреслено діапазон можливої їх реакції на попередник за

різних гідротермічних умов. Такий багатоваріантний аналіз агробіологічного значення культур в сівозміні більш глибоко і достовірно розкриває вплив попередників на умови життєзабезпечення рослин. На прикладі соняшника як попередника видно, що він знижує урожайність згідно з коефіцієнтом депресії до 0,72 в середньому по масиву даних, при повторній сівбі його продуктивність продовжує знижуватись до відмітки 0,64, а з урахуванням дисперсії, яка мала місце в різні роки досліджень, коефіцієнт може коливатися в межах від 0,63 до 0,78. Тобто за різних технологічних і кліматичних умов вирощування соняшника простежується зниження урожайності наступних культур на 37–22 % порівняно з чорним паром.

Для зручності користування і проведення системного аналізу результатів досліджень коефіцієнти сівозмінної депресії доцільно розподілити на такі категорії: 0,91–1,00 – максимально сприятливі умови для росту і розвитку сільськогосподарських культур; 0,81–0,90 – добрі попередники у разі достатнього рівня вологозабезпечення; 0,71–0,80 – суттєве зниження урожайності (до 34 %); нижче 0,70 – критичне зниження урожайності.

Найбільше попередників – ячмінь озимий, жито, ріпак озимий, ячмінь ярий, овес,

просо, гречка, багаторічні трави – занесено до категорії добрих у разі достатнього зволоження з коефіцієнтом сівозмінної депресії 0,81–0,90.

До групи попередників, які викликають суттєве зниження урожайності наступних культур з коефіцієнтом депресії 0,71–0,80, включені кукурудза на зерно і силос, соя, буряк.

В зону критичної сівозмінної післядії з коефіцієнтом депресії нижче 0,70 потрапляють соняшник і сорго, за надмірної концентрації їх в структурі посівних площ продуктивність всієї сівозміни суттєво знижується. Однак в даній ситуації не слід бути надто категоричними, оскільки практично всі культури залежно від рівня забезпечення факторами росту і розвитку, як правило, можуть переміщатися в інші категорії. Наприклад, кукурудза на зерно за різних обставин може перебувати в групі як критичної піс-

лядії (коефіцієнт дигресії 0,69), так і сприятливого впливу на урожай ( $K = 0,80$ ).

Коефіцієнт сівозмінної депресії відкриває широкі можливості для визначення не тільки очікуваного рівня урожайності наступних культур в сівозміні, але й для порівняння продуктивності повноротаційних сівозмін залежно від впливу різних попередників. При цьому вже на стадії моделювання сівозмін, спираючись на коефіцієнт депресії, можна встановити, яка сівозміна буде більш перспективною щодо виходу продукції з одиниці площі ріллі. Зважаючи на коефіцієнт сівозмінної депресії, можна об'єктивно оцінити наслідки реконструкції сівозміни на будь-якому етапі ротаційної схеми.

Як спрацьовує механізм розрахунку цінності за коефіцієнтом депресії можна побачити на прикладі порівняння двох умовних сівозмін з відповідними значеннями його величини.

1.	Чорний пар 1,00	Пшениця озима 0,80	Кукурудза на зерно 0,72	Ячмінь ярий 0,87	Пшениця озима 0,80	Соняшник 0,66
----	--------------------	--------------------------	-------------------------------	------------------------	--------------------------	------------------

В даному випадку середній коефіцієнт депресії по сівозміні становить 0,70. При цьому із суми наведених коефіцієнтів виклю-

чається показник 0,66, який характеризує соняшник, оскільки ця культура є попередником чорного пару, який не дає продукції.

2.	Кукурудза 0,72	Пшениця озима 0,80	Соняшник 0,66	Ячмінь ярий 0,87	Пшениця озима 0,80	Соняшник 0,66
----	-------------------	--------------------------	------------------	------------------------	--------------------------	------------------

Щодо другої сівозміни, коефіцієнт депресії зупинився на позначці 0,72, що свідчить про комплекс агробіологічних переваг над паровою сівозміною. Це вказує на те, що в 6-пільній сівозміні навіть з виснажливими культурами (3 поля соняшника і кукурудзи) вихід зернових одиниць з одного гектара ріллі буде вищим за варіант з паровим полем. Тобто запаси вологи і поживних речовин, які накопичуються за рахунок чорного пару, є недостатніми для компенсації втрат урожаю за рахунок останнього.

Звичайно, що запропонована модель порівняльного аналізу сівозмін за їх продуктивністю, як і всіх складних агросистем, може мати деякі відхилення від прогнозованого результату і одержаних фактичних даних, але в той же час є підставою для того, щоб чітко сформулювати основні закономірності

зміни показників виходу зернових одиниць залежно від складу культур в сівозміні.

Більш об'єктивну оцінку ролі попередників можливо одержати шляхом з'ясування їх впливу на кожну культуру окремо, аналізу реакції спарингу культур на умови зволоження, встановлення компенсаційного значення поживного режиму, врахування фітосанітарного стану посівів у разі критичного насичення сівозмін монокультурами.

### Висновки

Ретроспективний аналіз ефективності систем землеробства і сівозмін показав, що постійне удосконалення сортів та гібридів сільськогосподарських культур, технологій їх вирощування стало підставою для переоцінки значення попередників в сівозміні. оскільки в сучасних агросистемах високопотенційні біотехногенні ресурси дають мож-



ливість по гірших попередниках одержувати вищу урожайність культур, ніж по кращих впродовж минулого періоду.

Статистично встановлено, що серед факторів землеробства, які регулюють агробіологічні режими за впливом на рівень урожайності, основними виявилися гідротермічні умови з коефіцієнтом детермінації 42–46 %, попередники – 19–23 %, мінеральні добрива – 21–25 % та способи основного обробітку ґрунту – 12–13 %. Реакція окремих сільськогосподарських культур на фактори життєзабезпечення оцінювалась мінімальною різницею коефіцієнта детермінації за показниками урожайності.

З метою одержання універсальної оцінки ефективності сівозмін та моделювання їх продуктивності запропоновано ввести коефіцієнт сівозмінної депресії, який дає уявлення про частку зниження урожайності пе-

вної культури після окремих попередників порівняно з її базовим рівнем по чорному пару. При цьому найбільш сприятливі умови склалися після культур з коефіцієнтом сівозмінної депресії понад 0,80 – озима пшениця, ячмінь, ріпак, жито, ярий ячмінь, овес. В той же час суттєво погіршувався розвиток культур, що йдуть після соняшнику, кукурудзи на зерно і силос, буряків, сорго, сої, їх коефіцієнт депресії становив 0,66–0,78.

Запропонована методологія системного аналізу оцінки якості попередників відкриває більш широкі можливості для формування адаптованих сівозмін шляхом оптимізації набору культур відповідно до ринкових вимог, внесення важливих коректив в сівозміни у разі екстремальних умовах, регулювання їх продуктивності з урахуванням агротехнологічної модернізації.

### Використана література

1. Малярчук М. П. Вплив ґрунтозахисних систем обробітку в сівозміні на родючість ґрунту, забур'яненість посівів та продуктивність с.-г. культур. *Зрошуване землеробство*. Київ: Урожай, 1992. 37. 13–18.
2. Медведєв В. В. Нульовий обробіток ґрунту в європейських країнах. Харків: ТОВ ЕДЕНА, 2010. 202 с.
3. Наукові основи агропромислового виробництва в зоні Степу України / Є. М. Лебідь та ін. Київ: Аграр. наука, 2010. 430 с.
4. Охорона ґрунтів / М. К. Шикла та ін. Київ: Тов. Знання, 2004. 398 с.
5. Екологічні проблеми землеробства / І. Д. Прима та ін. Київ: Центр учбової л-ри, 2010. 456 с.
6. Шикла М. К. Ґрунтозахисна біологічна система землеробства в Україні. Київ: Оранта, 2000. 389 с.
7. Медведєв В. В. Твердість ґрунту як критерій для обґрунтування технологій і технічних засобів з його обробітку. *Вісн. аграр. науки*. 2010. № 4. 14–18.
8. Методи аналізу ґрунтів і рослин: метод. посібник / Булигін С. Ю. та ін. Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О. Н. Соколовського. Харків, 1999. 157 с.
9. Методичні рекомендації і програма досліджень з обробітку ґрунту / А. М. Малієнко та ін. Київ (Чабани): ВД ЕКМО, 2008. 86 с.
10. Поелементні нормативи затрат на виконання технологічних операцій при вирощуванні та збиранні зернових культур в зоні Степу України і методичні рекомендації по їх розробці та застосуванні / В. С. Рибка та ін. Дніпропетровськ: Ін-т сіл. госп-ва степ. зони НААН України, 2012. 172 с.
11. Шпичак О. М. Формування нормативних витрат і доходів та баланси сільськогосподарської продукції в Україні та інших країнах світу. Київ: ІАЕ, 2003. 484 с.
12. No-till на чорноземах степової зони / М. С. Шевченко та ін., *Farmer*, 10 (118). 51–55.
13. Шевченко М. С. Професійний діалог хлібороба і природи. *Пропозиція*. 2019. № 4 (283). 32–37.
14. Організаційно-технологічні методи наукового забезпечення освоєння ґрунтозахисних систем землеробства (Методична концепція) / А. В. Черенков та ін. ДУ ІЗК, Роял Прінт, 2018. 8 с.

### References

1. Maliarchuk, M. P. (1992). Influence of soil protection systems of crop rotation on soil fertility, weediness of crops and productivity of agricultural crops/cultures. *Zroshuvane zemlerobstvo* [Irrigated agriculture], 37, 13–18. [in Ukrainian]
2. Medvediev, V. V. *Nuliovyyi obrobitek hruntu v jevropeiskikh krajinaх* [No-till in European countries]. Kharkiv: TOV EDENA. 202 p. [in Ukrainian]
3. Lebid, Ye. M., Shevchenko, M. S., Cherenkov, A. V. et al. (2010). *Naukovi osnovy ahropromyslovoho vyrobnystva v zoni Stepu Ukrayiny* [Scientific basis of agro-industrial production in Steppe zone of Ukraine]. Kyiv: Ahrarna nauka. 430 p. [in Ukrainian]
4. Shykula, M. K., Hnatenko, O. F., Petrenko, L. P. et al. (2004). *Okhorona hruntiv* [Soil protection]. Kyiv: Znannia. 398 p. [in Ukrainian]
5. Prymak, I. D., Manko, Yu. P., Ridei, N. M. et al. (2010). *Ekologichni problemy zemlerobstva* [Environmental problems of agriculture]. Kyiv: Center for Educational Literature. 456 p. [in Ukrainian]
6. Shykula, M. K. (2000). *Hruntozakhystna biolohichna systema zemlerobstva v Ukrayini* [Soil protective bio-

- logical system of agriculture in Ukraine]. Kyiv: Oranta. 389 p. [in Ukrainian]
7. Medvediev, V. V. (2010). Soil hardness as a criterion for substantiation of technologies and technical means for its cultivation. *Visnyk ahrarynoy inauky* [Bulletin of agrarian science], 4, 14–18. [in Ukrainian]
  8. Bulyhin, S. Yu., Baliuk, S. A., Mikhnovska, A. D. et al. (1999). *Metody analizu hruntiv i roslyn* [Methods of analysis of soils and plants]. Kharkiv: Instytut hruntознаvstva ta ahrokhimiji im. O. N. Sokolovskoho. 157 p. [in Ukrainian]
  9. Malijenko, A. M., Tarariko, N. M., Havrilov, S. O., Brukhal, F. Y. et al. (2008). *Metodychni rekomendaciji i prohrama doslidzen z obrobittu hruntu* [Methodical recommendations and research program on tillage]. Kyiv (Chabany): VD EKMO. 86 p. [in Ukrainian]
  10. Rybka, V. S., Cherenkov, A. V., Shevchenko, M. S. et al. (2012). *Poelementni normatyvy zatrat na vykonannya tekhnologichnykh operatsij pry vyroshchuvanni ta zbyranni zernovykh kultur v zoni Stepu Ukrainy i metodychni rekomendaciji po jikh rozrobiti ta zastosuvanni* [Element-by-element standards of costs for the implementation of technological operations in the cultivation and harvesting of grain crops in the steppe zone of Ukraine and guidelines for their development and application]. Dnipropetrovsk: Institut silskoho hospodarstva stepovoji zony NAAN. 172 p. [in Ukrainian]
  11. Shpychak, O. M. (2003). *Formuvannia normatyvnykh vytrat i dokhodiv ta balansy silskohospodarskoji produkciji v Ukraini ta inshykh krajinakh svitu* [Formation of regulatory costs and revenues and balances of agricultural products in Ukraine and other countries]. Kyiv: IAE. 484 p. [in Ukrainian]
  12. Shevchenko, M. S., Desiatnyk, L. M., Shevchenko, O. M., Shevchenko, S. M., Shvets, N. V. (2019). No-till on the chernozems of the Steppe zone. *Farmer* [Farmer], 10 (118), 51–55. [in Ukrainian]
  13. Shevchenko, M. S. (2019). Professional dialogue between the farmer and nature. *Propozytsija* [Proposal], 4 (283), 32–37. [In Ukrainian]
  14. Cherenkov, A. V., Gyrka, A. D., Cherchel, V. Yu. et al. (2018). *Orhanizatsijno-tekhnologichni metody naukovo zabezpechennia osvojenня hruntozakhysnykh system zemlerobstva (Metodychna kontseptsija)* [Organizational and technological methods of scientific support of the development of soil protection systems of agriculture (Methodical Concept)]. Dnipropetrovsk: DU IZK, Royal Print. 8 p. [in Ukrainian]

УДК 631.5

**Шевченко М. С., Десятник Л. М., Деревенец-Шевченко Е. А., Шве́ц Н. В. Современные системы земледелия и новая трактовка севооборотной ценности сельскохозяйственных культур.**

*Зерновые культуры. 2020. Т. 4. № 2. С. 319–329.*

Государственное учреждение Институт зерновых культур НААН, ул. Владимира Вернадского 14, г. Днепр, 49027, Украина

На основе широкого экспериментального изучения продуктивности севооборотов в различных зонах Степи разработана коррелятивная модель оценки роли предшественников в формировании урожайности культур, которые следуют за ними. Установлена связь между качеством агротехнологий и сменой степени севооборотной конкурентоспособности культур.

Ретроспективный анализ эффективности систем земледелия и севооборотов показал, что постоянное усовершенствование сортов и гибридов сельскохозяйственных культур и технологий их выращивания создало объективные агробиологические предпосылки для переоценки предшественников в севообороте. Основной мотив такой трансформации заключался в том, что в современных агросистемах высокопотенциальные биотехногенные ресурсы позволяют получить урожайность культур по худшим предшественникам выше, чем в прошлые годы по лучшим.

С целью универсализации оценки эффективности севооборотов и моделирования их продуктивности предложено ввести коэффициент севооборотной депрессии, который показывает долю урожайности, которая остается после отдельных предшественников по сравнению с его базовым уровнем по черному пару. При этом наиболее благоприятные условия складывались после культур с коэффициентом депрессии выше 0,80 – озимая пшеница, ячмень, рапс, рожь, яровой ячмень, овес. В то же время значительно угнеталось развитие культур, которые шли после подсолнечника, кукурузы на зерно и силос, свеклы, сорго, сои, их коэффициент депрессии составлял 0,66–0,78.

Предложенная методология системного анализа оценки предшественников открывает более широкие возможности для формирования адаптированных севооборотов, оптимизации набора культур под рыночные условия, внесения важных корректив в севообороты в экстремальных условиях, регулирования продуктивности севооборотов с учетом агротехнологической модернизации.

**Ключевые слова:** севооборот, обработка почвы, удобрения, культуры, зерно, предшественники, урожай, минимализация.

Based on a broad experimental study of crop rotation productivity in different locations of the Steppe zone, a correlative model for estimating the role of predecessors in the formation of post-crop yields has been developed. The connection between quality of agrotechnologies and change of degree of crop rotation competitiveness of culture is presented.

A retrospective analysis of the efficiency of farming and crop rotation systems showed that the constant improvement of varieties and hybrids of crops and technologies for their cultivation created objective agrobiological grounds for reassessment of predecessors in crop rotation. The main motive for this transformation was that in modern agricultural systems, high-potential biotechnological resources allow to obtain higher crop yields on the worst predecessors than on the best in the past.

In order to universalize the evaluation of crop rotation efficiency and model their productivity, it is proposed to introduce a crop rotation depression coefficient, which shows the share of yield remaining after individual predecessors compared to its baseline level after black fallow. The most favorable conditions developed after crops with a coefficient above 0,80 – winter wheat, barley, rape, rye, spring barley, oats. At the same time, the development of post-rotational crops was significantly inhibited by sunflower, corn for grain and silage, beets, sorghum and soybeans, their depression coefficient was 0,66–0,78.

The proposed methodology of system analysis for the assessment of predecessors opens wider opportunities for the formation of adapted crop rotations, optimization the set of crops to market requirements, formation important adjustments to crop rotations in extreme conditions, regulation crop rotation productivity taking into account agrotechnological modernization.

***Keywords:*** *crop rotation, tillage, fertilizers, crops, grain, predecessors, harvest, minimization.*