

УДК 631.816.3

<https://doi.org/10.31713/vs220185>

**Господаренко Г. М., д.с.-г.н., Прокопчук І. В., к.с.-г.н.,
Стасіневич О. Ю., к.с.-г.н., Бойко В. П.** (Уманський національний
університет садівництва)

КОМПЛЕКСНЕ ОЦІНЮВАННЯ СИСТЕМИ ЗАСТОСУВАННЯ ДОБРИВ У ПОЛЬОВІЙ СІВОЗМІНІ

В статті наведено розрахунок індексу комплексного оцінювання (ІКО) системи удобрення в польовій сівозміні і на основі проведеного розрахунку встановлено, що найменшою величиною ІКО характеризувався варіант без застосування добрив – 1,17, а найвищим цей показник був у варіанті $N_{110}P_{60}K_{40}$ – 1,29.

Ключові слова: система застосування добрив, індекс комплексного оцінювання, стаціонарний дослід, баланс гумусу, інтенсивність балансу.

Вступ. Радикальна екологізація та інтенсифікація землеробства не можлива без оптимізації системи застосування добрив. На сучасному етапі інтенсифікації системи землеробства є не тільки отримання максимальних урожаїв сільськогосподарських культур, але й забезпечення їх стабільності, що вимагає збереження та подальшого підвищення родючості ґрунтів з метою нарощування ефективності господарювання [1; 2]. Зазвичай вважається, що найефективнішою системою удобрення є та, що забезпечує максимальний приріст урожаю сільськогосподарських культур. З економічного погляду це не завжди є доцільним у тривалій перспективі, тому що ціни на мінеральні добрива ростуть більшими темпами, ніж на продукцію рослинництва. Тому нині надають перевагу оптимізації системи удобрення за комплексним показником, що враховує рівень урожайності сільськогосподарських культур, прибутковість і енергоємність застосування добрив [3-8]. Проте за такого підходу не враховуються можливі зміни родючості ґрунту за різної інтенсивності балансу гумусу, азоту, фосфору і калію в сівозміні.

Аналіз останніх досліджень. Урожайність сільськогосподарських культур прийнято вважати одним з основних показників рівня родючості ґрунту. Але не завжди окремо взяті агрономічні заходи здатні його підвищити і, на жаль, не забезпечують тривалу післядію та можуть негативно впливати на спрямованість ґрунтоутворювального процесу [2; 9]. Тобто родючість ґрунту та ефективність системи



застосування добрив не можна охарактеризувати одним показником. Ефективність системи застосування добрив, крім урожайності, характеризується безліччю різноманітних ознак і обумовлює основні параметри ґрунтової родючості. Загальна характеристика ефективної системи застосування добрив можлива тільки через комплексне оцінювання. Це вказує на необхідність введення узагальненого показника – індексу комплексного оцінювання (ІКО), який дозволить об'єктивніше оцінити систему застосування добрив з урахуванням різних показників їхньої ефективності, еволюції родючості ґрунту та охорони навколишнього природного середовища.

Подібні проблеми виникають і в інших галузях науки і техніки, де процес характеризується багатьма, інколи взаємопротилежними ознаками [2], тому пропонуються різні «таксономічні показники» (в економіці), «комплексні показники якості» (в промисловості), «багатокритеріальні функції якості» (в теорії оптимізації та управління) тощо. Існує багато підходів до визначення узагальненого показника [10-12].

В агрономії були спроби вивести узагальнений показник родючості ґрунтів [2; 13-19]. Зазвичай він розраховувався як сума окремих показників у відносних величинах. При цьому нормування прив'язане до конкретної вибірки, що є істотним недоліком. Наприклад, оцінка родючості ґрунту, розрахована за системою величин Дж. Ацці [11], не зміниться, якщо значення всіх показників зменшиться, а це характерно вже для ґрунту з іншим рівнем родючості. Не усуває цей недолік і визначення коефіцієнтів кореляції урожайності сільськогосподарських культур з кожним із діагностичних показників [20].

Нині вважається перспективним для вирішення задач з декількома залежними змінними використання функції бажаності, під якою розуміють бажаний рівень оптимального значення певного показника. За цим методом показники перетворюють так, що оптимальному значенню відповідала одиниця (або 100), а найгіршому – нуль [2; 21]. На нашу думку, такий підхід до оцінювання ефективності системи застосування добрив більш раціональний, порівняно з відомими способами [19; 22; 23].

Мета статті – оцінити систему застосування добрив у польовій сівозміні з урахуванням низки окремих показників ефективності.

Методика досліджень. Дослідження проведено в умовах стаціонарного польового дослідження (атестат НААН № 87) [21], закладеному у 2011 році на дослідному полі Уманського НУС, розміщеному в Маньківському природно-сільськогосподарському районі Середньо-

Дніпровсько-Бузького округу Лісостепової Правобережної провінції з географічними координатами за Гринвічем 48°46' північної широти і 30°14' східної довготи. Схема досліду показана в таблиці. Розміщення варіантів у досліді послідовне. Дослід одночасно розгорнутий на чотирьох полях, що дає змогу щорічно отримувати дані врожайності всіх культур 4-пільної польової сівозміни (пшениця озима, кукурудза, ячмінь ярий, соя) і виявляти вплив агрометеорологічних чинників на їх продуктивність та ефективність добрив. Повторення досліду триразове. Загальна площа дослідної ділянки 110 м², облікова – 72 м². Фосфорні і калійні добрива вносили під зяблевий обробіток ґрунту, азотні – під передпосівну культивуацію та в підживлення. Технологія вирощування сільськогосподарських культур – загальноприйнята для умов Правобережного Лісостепу.

Після збирання врожаю нетоварна його частина (солома, листкостеблова маса) зароблялась у ґрунт. Агрохімічну, економічну та енергетичну ефективність застосування добрив, баланс гумусу та інтенсивність балансу азоту, фосфору й калію розраховували за загальноприйнятими методиками [23]. Для якісного оцінювання тісноти зв'язку між досліджуваними чинниками використовували коефіцієнт кореляції за шкалою R.E. Chaddock [24].

Виходячи з принципу функції бажаності, проводили функціональні перетворення окремих показників, що характеризують ефективність системи удобрення: за двохстороннього обмеження параметрів показників, коли відхилення від оптимального рівня в будь-який бік призводить до погіршення загального показника, і при однобічних обмеженнях, коли до погіршення показника призводить відхилення окремого показника від оптимального значення тільки в один бік.

Індекс комплексного оцінювання (ІКО) системи удобрення в польовій сівозміні розраховували за такою формулою:

$$\text{ІКО} = n \sqrt{\frac{\Phi_1}{O_1} + \frac{\Phi_2}{O_1} + \dots + \frac{D_1}{\Phi_1} + \frac{D_2}{\Phi_2} + \dots},$$

де Φ – фактичне значення показника;

O – оптимальне значення показника;

D – допустиме значення показника;

n – кількість показників.

Отже, ІКО відповідає середньому геометричному значенню вже перетворених показників – окремих складових ефективності. Він є єдиним показником оцінювання ефективності системи застосування добрив, замість багатьох.



Оптимальні та допустимі значення окремих показників визначали з урахуванням типових нормативів коефіцієнтів повернення елементів живлення від винесення врожайми і екологічно безпечних нормативів інтенсивності балансу фосфору та калію залежно від вмісту їх рухомих сполук у ґрунті [22]. При цьому, з урахування вмісту в ґрунті азоту лужногідролізованих сполук (за методом Корнфілда), рухомих сполук фосфору і калію (за методом Чирикова), вважали що екологічно безпечна інтенсивність балансу азоту, фосфору і калію відповідно становить 120; 130 і 70%.

Отже, за такого підходу було враховано сім показників: окупність 1 кг д. р. мінеральних добрив; додатково умовно чистий прибуток; чистий енергетичний прибуток; баланс гумусу та інтенсивності балансу азоту, фосфору й калію.

Результати досліджень. Як видно з даних таблиці, за окупністю одиниці добрив кращими були варіанти дослідів N_{55} і N_{110} , тоді як за економічною та енергетичною баланс гумусу – варіанти $N_{110}P_{60}K_{40}$ і $N_{110}P_{60}K_{80}$. З економічного погляду за інтенсивністю балансу основних елементів живлення доцільніше застосовувати варіант дослідів $N_{110}P_{60}K_{40}$.

Отже, за різними показниками ефективності системи застосування добрив у польовій сівозміні можуть значно різнитися.

Таблиця

Показник ефективності системи застосування добрив у польовій сівозміні, 2011–2018 рр.

Варіант дослідів (насиченість 1 га площі сівозміни)	Окупність 1 кг д. р. мінеральних добрив, кг з. од.	Додатково умовно чистий прибуток, грн/га	Чистий енергетичний прибуток, ГДж/га	Баланс гумусу, т/га	Інтенсивність балансу, %		
					N	P	K
N_{55}	26,3	5748	19,20	1,04	85	–	–
N_{110}	19,5	7103	24,87	1,33	126	–	–
$P_{60}K_{80}$	8,6	2709	19,21	0,91	30	194	336
$N_{110}K_{80}$	13,4	7926	31,30	1,51	120	–	261
$N_{110}P_{60}$	17,3	9346	38,11	1,67	112	133	–
$N_{55}P_{30}K_{40}$	18,4	8934	33,62	1,39	77	79	137
$N_{110}P_{60}K_{80}$	15,5	12763	53,16	2,05	100	117	212
$N_{110}P_{30}K_{40}$	17,7	11263	43,07	1,79	107	69	121
$N_{110}P_{60}K_{40}$	17,0	12023	48,66	1,93	103	122	111
$N_{110}P_{30}K_{80}$	15,2	11142	44,91	1,84	105	67	232

Як видно з даних рис. 1, найнижчий ІКО системи застосування добрив у польовій сівозміні був у варіанті досліді з внесенням лише азотних, сумісно азотних і калійних або фосфорних і калійних добрив – 1,14–1,20. Найвищим це показник був у варіанті досліді $N_{110}P_{60}K_{40}$ – 1,29. Дещо йому уступали варіанти $N_{110}P_{60}K_{80}$ і $N_{110}P_{30}K_{40}$. Розрахунки показують, що систему застосування добрив з внесенням на 1 га площі сівозміни $N_{110}P_{30}K_{40}$ тимчасово, впродовж двох ротацій 4-пільної сівозміни, можна застосовувати у господарствах з недостатнім фінансовим забезпеченням.

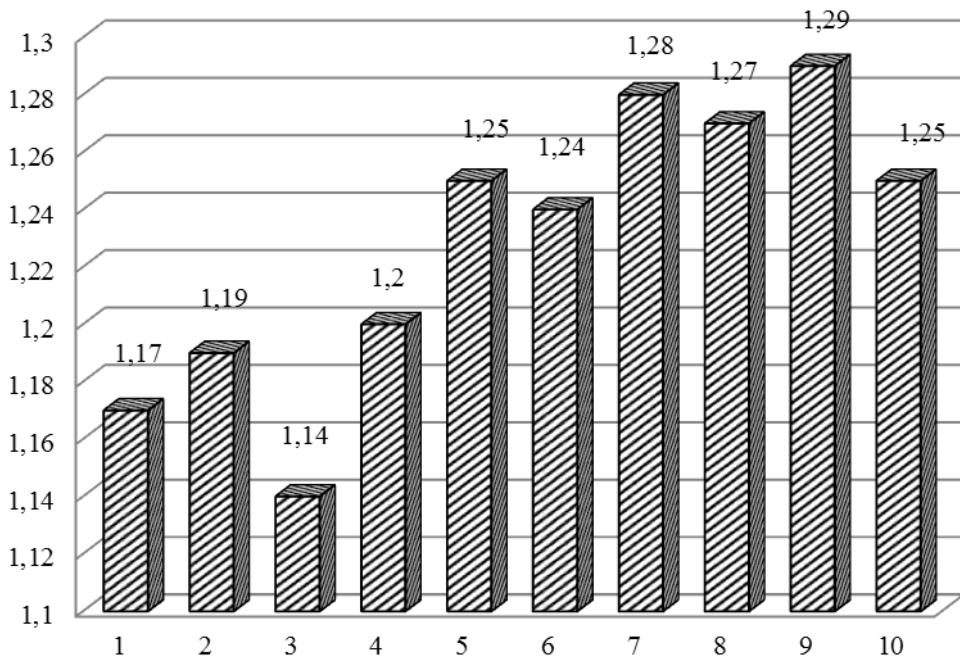


Рис. 1. Індекс комплексного оцінювання систем удобрення в польовій сівозміні, 2011–2018 рр.: 1) N_{55} ; 2) N_{110} ; 3) $P_{60}K_{80}$; 4) $N_{110}K_{80}$; 5) $N_{110}P_{60}$; 6) $N_{55}P_{30}K_{40}$; 7) $N_{110}P_{60}K_{80}$; 8) $N_{110}P_{30}K_{40}$; 9) $N_{110}P_{60}K_{40}$; 10) $N_{110}P_{30}K_{80}$

Встановлено, що ІКО найбільше залежить від показників додатково умовно чистого прибутку, чистого енергетичного прибутку та балансу гумусу, а найменше – від інтенсивності балансу фосфору і калію в сівозміні (рис. 2).

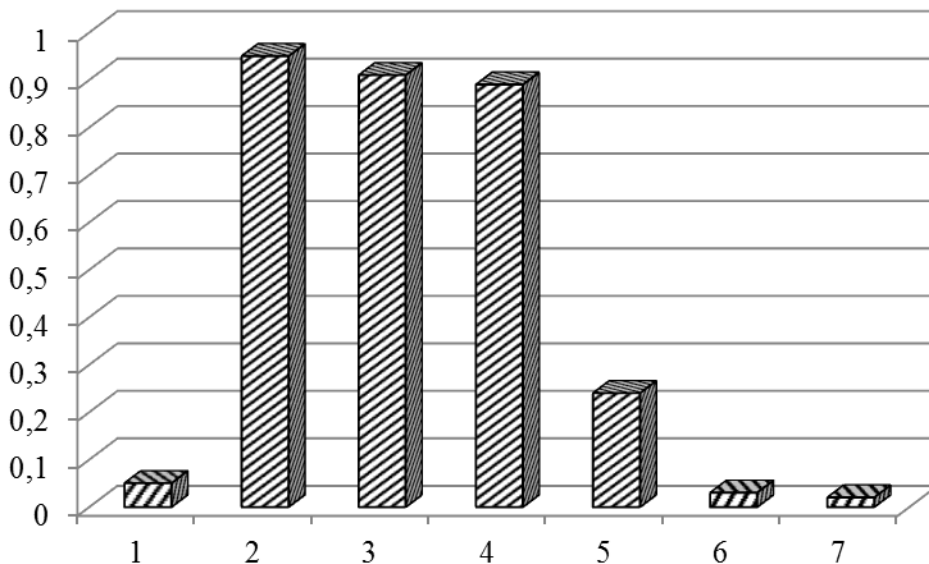


Рис. 2. Кореляційна залежність між ІКО та показниками ефективності систем застосування добрив у польовій сівозміні (2011–2018 рр.): 1) окупність 1 кг д. р. мінеральних добрив, кг з. од.; 2) додатково умовно чистий прибуток, грн/га; 3) чистий енергетичний прибуток, ГДж/га; 4) баланс гумусу, т/га; 5) інтенсивність балансу азоту, %; 6) інтенсивність балансу фосфору, %; 7) інтенсивність балансу калію, %

Висновки. Отже, комплексне оцінювання ефективності застосування добрив у польовій сівозміні дозволяє оцінити її не лише з економічного та енергетичного поглядів, але й передбачити напрямок розвитку культурного ґрунтоутворювального процесу під впливом різних антропогенних чинників і відповідно до цього розробити інтегровані заходи щодо окультурення ґрунту, отримання стабільно високих урожаїв і зменшення хімічного навантаження на навколишнє природне середовище. З урахуванням різних показників ефективності та перспектив відновлення родючості ґрунту найкращим за дві ротації польової сівозміни було система застосування мінеральних добрив з середньорічним внесенням $N_{110}P_{60}K_{40}$ на тлі залишення на полі на добриво нетоварної частини врожаю (соломі і листкостеблової маси).

1. Васенев И. И., Букреев Д. А. Способ оценки качества почвенного покрова экосистем. *Почвоведение*. 1993. № 9. С. 82–86. 2. Атлас 50-річного моніторингу комплексної оцінки родючості ґрунтів Харківської області (1966–2015 рр.) / Гринченко Т. О., Винник О. Ф., Балюк С. А. та ін. ; за ред. Т. О. Гринченка. Харків : Право, 2018. 248 с. 3. Доценко О. В. Вплив тривалого застосування

добрив на агрохімічні показники чорнозему типового та ефективність ресурсоощадних систем удобрення : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 25.04.2013. Харків, 2013. 23 с. **4.** Жученко А. А., Казанцев Е. Ф., Афанасьев Е. Н. Энергетический анализ в сельском хозяйстве. Кишинев : Штиинца, 1983. 75 с. **5.** Мартиненко В. М. Вплив систем удобрення і обробітку чорнозему типового на його родючість та продуктивність короткоротаційної сівозміни : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 23.11.2017. Харків, 2017. 20 с. **6.** Нормативы затрат минеральных удобрений для повышения плодородия дерново-подзолистой почвы / Платонов И. Г., Сафанова А. Ф., Полин В. Д. и др. *Агрехимический вестник*. 2010. № 5. С. 9–11. **7.** Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановський Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. Москва : Наука, 1975. 656 с. **8.** Новик Ф. С. Математические методы планирования экспериментов в металловедении. Раздел III. Выбор параметров оптимизации и факторов. Москва : Ми-СиИ, 1971. 107 с. **9.** Плюта В. Сравнительный многомерный анализ в экономических исследованиях. Москва : Статистика, 1980. 149 с. **10.** Кэррол Л. История с узелками. Москва : Мир, 1973. 408 с. **11.** Ацци Дж. Сельскохозяйственная экология. Москва – Ленинград, 1959. 480 с. **12.** Лактионов Н. И. Способ прогнозирования плодородия почв в процессе их окультуривания по гумусу. АС СССР № 398870, G01 33/24. 1974. Бюл. № 2. **13.** Никитин Б. А. Плодородие почвы, его виды и методы оценки. Горький : Горьков. СХИ, 1981. 84 с. **14.** Реппо Э. Способ определения плодородия почв. АС СССР № 94776, G01 33/24. 1982. Бюл. № 28. **15.** Семенов В. А. Итоги и задачи исследований по разработке комплексов показателей, характеризующих уровень плодородия почв северо-западной зоны. *Регулирование плодородия почв, круговорота и баланса питательных веществ в земледелии СССР* : тез. докл. Пушкино, 1981. С. 175–182. **16.** Тайчинов С. Н. Бонитировка почвы и качественная оценка земель. *Сборник научных трудов Ульяновского СХИ*. Ульяновск, 1977. С. 80–85. **17.** Оценка эволюции плодородия почв на основе сводного показателя качества / Гринченко Т. А., Григорьев Е. И. и др. *Агрехимия*. 1991. № 1. С. 52–60. **18.** Богдевич И. М. Интегральная оценка агрохимических показателей плодородия почв. *Оптимальные параметры плодородия почв*. Москва : Колос, 1984. С. 239–246. **19.** Теоретические основы и методы определения оптимальных параметров свойств почв / Кулаковская Т. Н., Богдевич И. М., Ярошевич М. И. и др. *Научные труды Почвенного института им. В. В. Докучаева*. Москва, 1980. С. 5–15. **20.** Юхнин А. А. Оценка почв Нечерноземной зоны Российской Федерации. *Агрехимический вестник*. 1999. № 1. С. 6–8. **21.** Заришняк А. С., Балюк С. А., Лісовий М. В. Стаціонарні польові досліді України. Реєстр атестатів. Київ : Аграрна наука, 2014. 146 с. **22.** Господаренко Г. М. Система застосування добрив. Київ : СІК ГРУП Україна, 2018. 376 с. **23.** Балюк С. А., Греков М. В., Лісовий М. В., Комариста А. В. Розрахунок балансу гумусу і поживних речовин у землеробстві України на різних рівнях управління. Харків : КП «Міська друкарня», 2011. 30 с. **24.** Chaddock R. E. *Exercises in statistical methods*. Houghton, 1952. 166 p.



REFERENCES:

1. Vasenev Y. Y., Bukreev D. A. Sposob otsenki kachestva pochvennoho pokrova ekosistem. *Pochvovedenye*. 1993. № 9. S. 82–86.
2. Atlas 50-richnoho monitorynhu kompleksnoi otsinky rodiuchosti gruntiv Kharkivskoi oblasti (1966–2015 rr.) / Hrynchenko T. O., Vynnyk O. F., Baliuk S. A. ta in. ; za red. T. O. Hrynchenka. Kharkiv : Pravo, 2018. 248 s.
3. Dotsenko O. V. Vplyv tryvaloho zastosuvannia dobryv na ahrokhimichni pokaznyky chornozemu typovoho ta efektyvnist resursooshchadnykh system udobrennia : avtoref. dys. ... kand. s.-h. nauk : 25.04.2013. Kharkiv, 2013. 23 s.
4. Zhuchenko A. A., Kazantsev E. F., Afanasev E. N. Enerheticheskii analiz v selskom khoziaistve. Kishinev : Shtiintsa, 1983. 75 s.
5. Martynenko V. M. Vplyv system udobrennia i obrobittu chornozemu typovoho na yoho rodiuchist ta produktyvnist korotkorotatsiinoi sivozminy : avtoref. dys. ... kand. s.-h. nauk : 23.11.2017. Kharkiv, 2017. 20 s.
6. Normativy zatrat mineralnykh udobrenii dlia povyseniia plodorodiia dernovo-podzolistoi pochvy / Platonov I. H., Safanova A. F., Polin V. D. y dr. *Ahrokhimicheskii vestnik*. 2010. № 5. S. 9–11.
7. Adler Yu. P., Markova E. V., Hranovskii Yu. V. Planirovanie eksperementa pri poiske optimalnykh uslovii. Moskva : Nauka, 1975. 656 s.
8. Novik F. S. Matematicheskie metody planirovaniia eksperimentov v metallovedenii. Razdel III. Vybory parametrov optimizatsii i faktorov. Moskva : Mi-Sil, 1971. 107 s.
9. Pliuta V. Sravnitelnyi mnohomernyi analiz v ekonomicheskikh issledovaniiah. Moskva : Statistika, 1980. 149 s.
10. Kerrol L. Istoriia s uzelnkami. Moskva : Mir, 1973. 408 s.
11. Atstsi Dzh. Selskokhoziaistvennaia ekolohiia. Moskva – Lenynhrad, 1959. 480 s.
12. Laktionov N. I. Sposob prohozirovaniia plodorodiia pochv v protsesse ikh okulturivaniia po humusu. AS SSSR № 398870, G01 33/24. 1974. Biul. № 2.
13. Nikitin B. A. Plodorodie pochvy, eho vidy i metody otsenki. Horkii : Horkov. SKhI, 1981. 84 s.
14. Reppo E. Sposob opredeleniia plodorodiia pochv. AS SSSR № 94776, G01 33/24. 1982. Biul. № 28.
15. Semenov V. A. Itohy i zadachi issledovaniia po razrabotke kompleksov pokazatelei, kharakterezuiushchikh uroven plodorodiia pochv severo-zapadnoi zony. *Rehulirovanie plodorodiia pochv, kruhovorota i balansa pitatelnykh veshchestv v zemledelii SSSR* : tez. dokl. Pushchino, 1981. S. 175–182.
16. Taichinov S. N. Bonitirovka pochvy i kachestvennaia otsenka zemel. *Sbornik nauchnykh trudov Ulianovskoho SKhI*. Ulianovsk, 1977. S. 80–85.
17. Otsenka evoliutsii plodorodiia pochv na osnove svodnoho pokazatelja kachestva / Hrynchenko T. A., Hrihorev E. I. i dr. *Ahrokhimiiia*. 1991. № 1. S. 52–60.
18. Bohdevich I. M. Intehralnaia otsenka ahrokhimicheskikh pokazatelei plodorodiia pochv. *Optimalnye parametry plodorodiia pochv*. Moskva : Kolos, 1984. S. 239–246.
19. Teoreticheskie osnovy i metody opredeleniia optimalnykh parametrov svoistv pochv / Kulakovskaia T. N., Bohdevich I. M., Yaroshevich M. I. i dr. *Nauchnye trudy Pochvennoho instituta im. V. V. Dokuchaeva*. Moskva, 1980. S. 5–15.
20. Yukhnin A. A. Otsenka pochv Nechernozemnoi zony Rossiiskoi Federatsii. *Ahrokhimicheskii vestnik*. 1999. № 1. S. 6–8.
21. Zaryshniak A. S., Baliuk S. A., Lisovy M. V. Statsionarni polovi

doslidy Ukrainy. Reiestr atestativ. Kyiv : Ahrarna nauka, 2014. 146 s.
22. Hospodarenko H. M. Systema zastosuvannia dobryv. Kyiv : SIK HRUP
Ukraina, 2018. 376 s. **23.** Baliuk S. A., Hrekov M. V., Lisovyi M. V., Komarysta A. V.
Rozrakhunok balansu humusu i pozhyvnykh rehovyn u zemlerobstvi Ukrainy
na riznykh rivniakh upravlinnia. Kharkiv : KP «Miska drukarnia», 2011. 30 s.
24. Chaddock R. E. Exercises in statistical methods. Houghton, 1952. 166 p.

Рецензент: д.с.-г.н., професор Клименко М. О. (НУБГП)

**Hospodarenko H. M., Doctor of Agricultural Sciences, Prokopchuk I. V.,
Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Stasinievych O. Yu.,
Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Boiko V. P. (Uman National
University of Horticulture)**

COMPLEX EVALUATION OF THE USE SYSTEM USED IN THE FIELD OF FIELD

In the article the calculation of the integrated assessment index (ICO) of the fertilizer system in the field crop rotation is considered, since it is believed that the most effective fertilizer system is that which provides the maximum increase in the crop yield of agricultural crops. From the economic point of view, this is not always feasible in the long run, as mineral fertilizer prices grow at a higher pace than crop production. Therefore, nowadays it is preferable to optimize the fertilizer system by a complex indicator that takes into account the level of crop yields, profitability and energy consumption of fertilizers. However, this approach does not take into account possible changes in soil fertility at different intensity levels of humus, nitrogen, phosphorus and potassium in crop rotation. The optimal and permissible values of individual indicators were determined taking into account the standard norms of return factors of nutrients from yielding and ecologically safe norms of the intensity of balance of phosphorus and potassium, depending on the content of their mobile compounds in the soil. In this approach, seven indicators were taken into account: payback of 1 kg of fertilizer of mineral fertilizers; additionally conditionally net profit; net energy income; the balance of humus and the intensity of the balance of nitrogen, phosphorus and potassium. On the basis of the conducted research, it was found that the lowest IQO fertilizer application in the field crop rotation was in the version of the experiment with the addition of nitrogen, nitrogen and potassium and phosphorus and potassium fertilizers – 1.14-1.20.



This indicator was the highest in the experimental version $N_{110}P_{60}K_{40} - 1.29$. Somewhat inferior to the variants $N_{110}P_{60}K_{80}$ and $N_{110}P_{30}K_{40}$. Calculations show that the system of fertilizer application with the introduction of 1 hectare of crop rotation $N_{110}P_{30}K_{40}$ temporarily, during two rotations of 4-way crop rotation, can be used in farms with insufficient financial support. However, taking into account agrochemical and energy efficiency and prospects for soil fertility restoration, the average annual rotation of crop rotation was the average annual $N_{110}P_{60}K_{40}$ (ICO = 1,29).

Keywords: fertilizer application system, integrated evaluation index, stationary experiment, humus balance, balance intensity.

Господаренко Г. Н., д.с.-х.н., Прокопчук И. В., к.с.-х.н.,
Стасиневич А. Ю., к.с.-х.н., Бойко В. П. (Уманский национальный
университет садоводства)

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА СИСТЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ В ПОЛЕВОМ СЕВООБОРОТЕ

В статье приведен расчет индекса комплексной оценки (ИКО) системы удобрения в полевом севообороте поскольку считается, что наиболее эффективной системой удобрения является та, что обеспечивает максимальный прирост урожая сельскохозяйственных культур. С экономической точки зрения это не всегда является целесообразным в длительной перспективе, так как цены на минеральные удобрения растут большими темпами, чем на продукцию растениеводства. Поэтому сейчас предпочитают оптимизации системы удобрения за комплексным показателем, учитывающим уровень урожайности сельскохозяйственных культур, доходность и энергоёмкость применения удобрений. Однако при таком подходе не учитываются возможные изменения плодородия почвы при различной интенсивности баланса гумуса, азота, фосфора и калия в севообороте. Оптимальные и допустимые значения отдельных показателей определяли с учетом типовых нормативов коэффициентов возврата элементов питания от выноса урожаями и экологически безопасных нормативов интенсивности баланса фосфора и калия в зависимости от содержания их подвижных соединений в почве. За такого подхода было учтено семь показателей: окупаемость 1 кг д. в. минеральных удобрений; дополнительно условно чистая прибыль; чистый энергетический доход; баланс гумуса и интенс-

вность баланса азота, фосфора и калия. На основе проведенных исследований было установлено, что самый низкий ИКО системы применения удобрений в полевом севообороте был в варианте опыта с внесением только азотных, азотных и калийных и фосфорных и калийных удобрений – 1,14–1,20. Самым высоким этот показатель был на варианте опыта $N_{110}P_{60}K_{40}$ – 1,29. Немного ему уступали варианты $N_{110}P_{60}K_{80}$ и $N_{110}P_{30}K_{40}$. Расчеты показывают, что систему применения удобрений с внесением на 1 га площади севооборота $N_{110}P_{30}K_{40}$ временно, в течение двух ротаций 4-польного севооборота, можно применять в хозяйствах с недостаточным финансовым обеспечением. Однако с учетом агрохимической и энергетической эффективности и перспектив восстановления плодородия почвы лучшим за две ротации севооборота было среднегодовое внесение $N_{110}P_{60}K_{40}$ (ИКО = 1,29).

Ключевые слова: система применения удобрений, индекс комплексной оценки, стационарный опыт, баланс гумуса, интенсивность баланса.
