
До проблеми аналітичної оцінки ефективності мінеральних добрив та екологічних обмежень їх норми



Суми
Університетська книга
2016

УДК 631.452:631.55

ББК

Д

Рекомендовано до друку вченою радою Сумського національного аграрного університету. Протокол № 5 від 30.11.2015 року

Рецензенти:

В.І. Лопушняк, доктор сільськогосподарських наук, професор Львівського національного аграрного університету

Г.М. Господаренко, доктор сільськогосподарських наук, професор Уманського національного університету садівництва

О.Г. Жатов, доктор сільськогосподарських наук, професор Сумського національного аграрного університету

Автори:

О. В. Харченко, В. І. Прасол, Е. А. Захарченко, Ю. М. Петренко (Сумський НАУ), М. Г. Собко (Інститут сільського господарства Північного Сходу НААН)

Д **До проблеми аналітичної оцінки ефективності мінеральних добрив та екологічних обмежень їх норми** / за ред. д.с.-г.н. О. В. Харченка, к.с.-г.н. М. Г. Собка. — Суми : Університетська книга, 2016. — 31 с.

ISBN 978-966-680-

У роботі розглядається проблема кількісної оцінки інтенсивності нових сортів чи гібридів сільськогосподарських культур та екологічних обмежень при встановленні норм мінеральних добрив за виносом врожаєм основних елементів живлення.

Для спеціалістів сільськогосподарського виробництва та фермерів. Може бути корисним магістрам та науковцям.

УДК 631.452:631.55

ББК

ISBN 978-966-680-

© Сумський національний аграрний університет, 2015

© Харченко О. В., Прасол В. І., Захарченко Е. А. та ін., 2015

© ТОВ «ВТД “Університетська книга”», 2015

Зміст

1. Методичні підходи щодо врахування інтенсивності сортів сільськогосподарських культур при аналітичному визначенні норм добрив	4
2. Оцінка особливостей визначення норм добрив на заплановану врожайність за виносом елементів врожаєм	12
Список літератури	31

1. Методичні підходи щодо врахування інтенсивності сортів сільськогосподарських культур при аналітичному визначенні норм добрив

Проблема аналітичної оцінки ефективності застосування добрив у наш час є досить актуальною й абсолютно необхідною. З одного боку, це зумовлено необхідністю планування застосування добрив, а оскільки їх ціна далеко не завжди забезпечує економічну доцільність внесення добрив при вирощуванні тих чи інших культур, то важливість цього не викликає сумніву. З іншого боку, проблема полягає в недопущенні погіршення якості ґрунтів за таким показником, як баланс основних елементів живлення, що так чи інакше має бути встановлено вже на етапі планування.

Наразі можна стверджувати, що основними методами визначення необхідних норм мінеральних добрив під заплановану врожайність є балансовий метод та метод їх нормативної окупності. Відомо, що в першому випадку основними показниками, які впливають на результат визначень, є коефіцієнт (відсоток) використання елементів із добрив, а в другому – нормативна окупність цих добрив. Зазначене є справедливим і правильним тільки для тих сортів, для яких були визначені ці показники в польових умовах, або для сортів і гібридів одного порядку урожайності, тобто одного порядку їх інтенсивності. Отже, у разі вирощування більш урожайних, тобто більш інтенсивних сортів чи гібридів, зазначені показники вимагають уточнення. Слід також зауважити, що факт постійності коефіцієнта використання елемента з добрив, як і їх нормативної окупності, є справедливим тільки для якогось незначного значення норм добрив. Це свідчить про те, що з підвищенням норм добрив їх ефективність буде зменшуватися.

Загалом можна стверджувати, що ефективність норм мінеральних добрив визначається дією такого закону землеробства, як закон спадної дохідності, суть якого, як відомо, полягає в тому, що кожна

наступна норма добрив призводить до зменшення її віддачі врожайністю культури. Тобто, характер залежності приросту врожайності (ΔY) від норм мінеральних добрив (X) має куполоподібну форму і може бути описаний рівнянням квадратичної параболи без вільного члена [1]:

$$\Delta Y = aX^2 + bX, \text{ ц/га} \quad (1.1)$$

де a і b – емпіричні коефіцієнти, які є індивідуальними для культур, ґрунтів та умов (сприятливі, середні або несприятливі).

Виходячи з наведеного маємо, що нормативна окупність мінеральних добрив ($O_{МД} = aX + b$, ц/ц д.р.) залежить від самої норми добрив (X), а враховуючи, що емпіричний коефіцієнт a в рівнянні (1.1) для всіх культур є від’ємним [1, 2], то ця залежність є зворотною, тобто з підвищенням норм добрив їх нормативна окупність зменшується [2].

На основі аналізу експериментальних даних для основних сільськогосподарських культур та основних типів ґрунтів держави були побудовані такі залежності для сприятливих, середніх та несприятливих умов [1]. Враховуючи, що ймовірність сприятливих і несприятливих умов приймається на рівні 25%, то, за твердженням авторів методики, розрахунки слід здійснювати на середні умови [1]. Так, наприклад, для пшениці озимої на темно-сірих опідзолених ґрунтах та чорноземах опідзолених Лісостепу в середніх за сприятливістю умовах ця залежність має вигляд [1, 2]:

$$\Delta Y = -1,20X^2 + 10,16X, \text{ ц/га.} \quad (1.1a)$$

Графічна ілюстрація цієї залежності наведена на рис. 1.

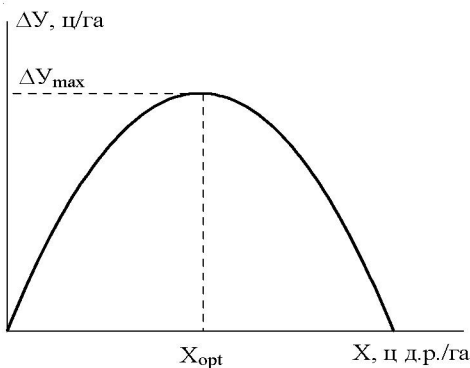


Рис. 1.1. Залежність приросту врожайності сільськогосподарської культури на конкретних ґрунтах в середніх за сприятливістю умовах

При цьому залежність повної урожайності від норм добрив може бути описана залежністю:

$$Y = aX^2 + bX + c, \text{ ц/га} \quad (1.2)$$

де c – урожайність культури, яка може бути сформована за рахунок природної родючості ґрунту.

Якщо урожайність пшениці озимої за рахунок природної родючості в нашому випадку становить 29,8 ц/га [1, 2], то залежність повної урожайності від норм добрив на цих ґрунтах визначиться як

$$Y = -1,20X^2 + 10,16X + 29,8 \text{ ц/га.} \quad (1.2a)$$

Графічна ілюстрація вказаної залежності наведена на рис. 1.2 (лінія 1).

Таке трактування ефективності мінеральних добрив цілком відповідає характеру залежності, однак має суттєвий недолік. Суть його полягає в тому, що всі вказані моделі, у тому числі й наведена, одержані для сорту чи групи сортів конкретного періоду часу.

У разі впровадження нових, більш продуктивних сортів чи гібридів необхідним є знання певних особливостей сортової агротехніки. На нашу думку, обов'язковим в цьому випадку є значення фактичної окупності мінеральних добрив даним сортом. Відсутність таких даних не дозволяє визначитися з залежністю впливу мінеральних добрив на урожайність даного сорту, однак така вимога є необхідною. Одним зі способів встановлення необхідної залежності може бути уточнення тієї, що отримана для базового сорту (див. залежність (1.1, 1.1a)). Критерієм такого уточнення є показник, який враховує зміну врожайності нового сорту чи гібриду відносно розрахованого за існуючими показниками живлення. Інакше кажучи, цей показник становить собою відношення фактичної врожайності до нормативної ($Ri = Y_{\phi} / Y_H$) і загалом кількісно оцінює інтенсивність сорту чи гібриду відносно сортів, для яких були вивчені ті чи інші показники ефективності використання добрив. Так, наприклад, якщо за останні три роки на даних ґрунтах новий сорт пшениці озимої за норми мінеральних добрив 150 кг д.р./га забезпечив урожайність 50,6 ц/га, а за залежністю (1.2a) розрахункова урожайність для базового сорту становить 42,2 ц/га, то рівень інтенсивності даного сорту становить 1,20 ($Ri = 50,6/42,2$). Це означає, що даний сорт є на

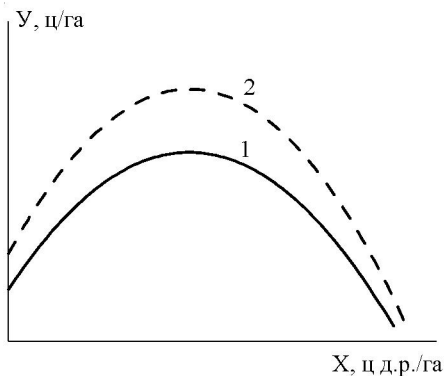


Рис. 1.2. Залежність повної врожайності пшениці озимої на темно-сірих опідзолених ґрунтах та чорноземах опідзолених Ліссестепу в середніх за сприятливістю умовах:
1 – базовий сорт; 2 – фактичний сорт

20% інтенсивнішим за базовий, а модель відгуку на мінеральні добрива на даних ґрунтах визначається з умови:

$$Y = Ri(aX^2 + bX + c) = -AX^2 + BX + C, \text{ ц/га.} \quad (1.3)$$

Для нашого випадку маємо (рис. 1.2):

$$Y = 1,20(-1,20X^2 + 10,16X + 28,0) = -1,44X^2 + 12,19X + 35,8, \text{ ц/га.} \quad (1.3a)$$

З метою практичної реалізації запропонованого підходу були здійснені розрахунки для визначення рівня інтенсивності деяких нових сортів та гібридів пшениці озимої, ячменю ярого й кукурудзи за останні три роки як середнє, за результатами польових дослідів в Інституті сільського господарства Північного Сходу (табл. 1.1). При цьому нормативне значення урожайності культури визначали за формулою (1.2), залежно від типу ґрунту для середніх за сприятливістю умов [2, 4]. Дослідження проводили на чорноземах типових, середньосуглинкових малогумусних. Для вказаних умов норми добрив та параметри базових моделей наведені в табл. 1.2.

Наведене вище дозволяє стверджувати, що при визначенні норм добрив під запланований рівень урожайності врахування сорту чи гібриду культури, а точніше його рівня інтенсивності, є обов'язковим. При цьому за будь-яким методом визначення норм добрив (балансовий чи метод окупності) у першому наближенні загальна схема визначень загалом є незмінною. Тобто, для заданого планового рівня врожайності (Y) і за відомого значення рівня інтенсивності

Таблиця 1.1. Оцінка рівня інтенсивності нових сортів деяких сільськогосподарських культур (R_i)

Сорт	Урожайність за роками, ц/га			Середня урожайність, Y_{ϕ} , ц/га	Нормативна (розрахункова) урожайність, Y_n , ц/га	Показник інтенсивності, $R_i = \frac{Y_{\phi}}{Y_n}$
	2011	2012	2013			
Пшениця озима						
Розкішна	79,0	116,0	88,4	94,4	41,20	2,29
Гордовита	65,0	102,0	60,8	75,9	41,20	1,84
Досконала	84,0	94,0	87,6	88,5	41,20	2,15
Волошкова	69,0	87,0	88,2	81,4	41,20	1,98
Епоха Одеська	65,0	89,0	87,0	77,3	41,20	1,88
Місія Одеська	63,0	89,0	78,7	76,9	41,20	1,87
Заграва Одеська	73,0	83,0	77,4	77,8	41,20	1,89
Ячмінь ярий						
Парнас	40,5	35,3	38,9	38,2	29,9	1,28
Святогор	35,7	48,7	36,8	40,4	29,9	1,35
Всесвіт	33,6	46,1	32,3	37,3	29,9	1,25
Командор	36,6	49,3	34,3	40,1	29,9	1,34
Геліос	25,8	45,1	36,6	35,8	29,9	1,20
Кукурудза на зерно (середньостигла)						
Харківський 329 МВ	73,0	99,4	106,0	92,8	63,4	1,46
PR38A79	92,0	88,0	91,4	90,5	63,4	1,43
Моніка 350МВ	93,0	104,0	99,2	98,7	63,4	1,56

Таблиця 1.2. Моделі відгуку культур на норму добрив для базового сорту (нормативна врожайність)

Культура	Норма добрив	Параметри базової моделі			Рівняння базової моделі
		a	b	c	
Пшениця озима	$N_{100} P_{30} K_{30}$	-0,98	8,26	30,5	$y = -0,98 X^2 + 8,26 X + 30,5$
Ячмінь ярий	$N_{60} P_{15} K_{15}$	-0,56	5,09	25,8	$y = -0,56 X^2 + 5,09 X + 25,8$
Кукурудза	$N_{100} P_{45} K_{45}$	-0,97	9,27	49,3	$y = -0,97 X^2 + 9,27 X + 49,3$

сорту (Ri) уточнюють необхідний (плановий) приріст урожайності від застосування добрив $\Delta Y_{ПЛ}$. Після цього визначають розрахункову величину цієї прибавки (ΔY_P), тобто таку величину, під яку розраховується норма добрив. За методом окупності маємо:

$$Y = Ri \cdot (B \cdot C_E + \Delta Y_P); \Delta Y_{ПЛ} = Ri \cdot \Delta Y_P; \Delta Y_P = \frac{Y - Ri \cdot B \cdot C_E}{Ri}. \quad (1.4)$$

Отже, у разі розрахунку необхідної норми добрив на розрахунковий приріст урожайності балансовим методом використовують відому залежність:

$$100 \cdot \Delta Y \cdot B_E = D_E \cdot K_E^D, \quad (1.5)$$

де ΔY – приріст урожайності культури від застосування норми добрив, ц/га;

B_E – винос того чи іншого елемента врожаєм культури, кг/ц;

D_E – норма добрив, що вноситься, кг д.р./га;

K_E^D – коефіцієнт використання культурою елемента з добрив, який встановлений 10–20 років назад для існуючих на той час сортів і наводиться в довідковій літературі, %.

У разі введення в розрахунок розрахункової величини приросту врожайності (ΔY_P) необхідна норма кожного з основних елементів визначається за формулою

$$D_E = \frac{\Delta Y_P \cdot B_E}{K_E^D} 100, \text{ кг д.р./га.} \quad (1.6)$$

Отримані в такий спосіб норми азоту, фосфору та калію (N, P, K) і відповідають необхідній умові формування врожайності (ΔY_P), а враховуючи відомий рівень інтенсивності сорту (Ri), слід очікувати величину приросту $\Delta Y_{ПЛ} = Ri \cdot \Delta Y_P$, ц/га.

Зрозуміло, що у випадку, коли б при визначенні норм добрив (залежність 1.6) враховувалася планова прибавка врожайності ($\Delta Y_{ПЛ}$), то це не мало жодного стосунку до такого поняття, як «інтенсивність сорту», оскільки в цьому випадку відповідно зростали б норми добрив.

Отже, з формального погляду всі здійснені розрахунки не викликають сумніву і можуть бути прийнятними для використання. Однак для більш повного аналізу даної проблеми необхідним є

уточнення самого методичного підходу. Перш за все обов'язковим є дотримання умов балансу кожного з основних елементів в таких розрахунках, оскільки сам метод має назву балансового. При цьому, оскільки в залежності (1.5) винос того чи іншого елемента врожаєм культури (B_E) є величиною практично сталою для різних сортів культури, то уточненню підлягає коефіцієнт використання культурою основних елементів з добрив (K_{E1}^D), що, власне, і є основним показником інтенсивності сорту.

У цьому разі необхідним є уточнення цих коефіцієнтів для кожної культури залежно від рівня інтенсивності сорту (Ri):

$$K_{E1}^D = \frac{\Delta Y_{ПЛ} \cdot B_E}{D_E} 100, \% \quad (1.7)$$

Так, для вказаного прикладу (формула (1.1a)) розрахункова прибавка урожайності від 1,0 ц д.р./га добрив ($N = 40$ кг, $P = 20$ кг, $K = 40$ кг) становитиме:

$$\Delta Y_P = -1,20X^2 + 10,16X = -1,20 \cdot 1,0^2 + 10,16 \cdot 1,0 = 8,94 \text{ ц/га} \quad (1.8)$$

За рівня інтенсивності сорту (Ri) 1,20 плановий приріст урожайності від добрив слід очікувати 10,7 ц/га.

При відомому виносі основних елементів з основною продукцією ($N = 2,27$ кг, $P = 0,80$ кг, $K = 0,55$ кг) [3] та відомій кількості внесених елементів ($N = 40$ кг, $P = 20$ кг, $K = 40$ кг) за формулою (1.7) здійснюємо відповідні розрахунки:

$$K_{N1}^D = \frac{\Delta Y_{ПЛ} \cdot B_N}{D_N} 100 = \frac{10,7 \cdot 2,27}{40} 100 = 60,7 \%;$$

$$K_{P1}^D = \frac{\Delta Y_{ПЛ} \cdot B_P}{D_P} = \frac{10,7 \cdot 0,80}{20} 100 = 42,8 \%;$$

$$K_{K1}^D = \frac{\Delta Y_{ПЛ} \cdot B_K}{D_K} 100 = \frac{10,7 \cdot 0,55}{40} = 14,7 \%.$$

Для розрахункових умов, тобто при використанні базової моделі (формула 1.1a), що відповідає умові $Ri = 1,0$, ці коефіцієнти становитимуть:

$$K_N^D = \frac{\Delta Y_P \cdot B_N}{D_N} 100 = \frac{8,94 \cdot 2,27}{40} 100 = 50,6 \%;$$

$$K_P^D = \frac{\Delta V_P \cdot B_P}{D_P} = \frac{8,94 \cdot 0,80}{20} 100 = 35,7 \%;$$

$$K_K^D = \frac{\Delta V_P \cdot B_K}{D_K} 100 = \frac{8,94 \cdot 0,55}{40} = 12,3 \%.$$

Отже, наведене показує, що коефіцієнт використання елементів з добрив для того чи іншого сорту, що характеризується встановленим показником інтенсивності (Ri) визначається як:

$$K_{E1}^D = Ri \cdot K_E^D. \quad (9)$$

Слід наголосити, що якщо при визначенні нормативної урожайності використовувалися довідкові дані коефіцієнтів використання елементів з добрив, то й у подальшому ці коефіцієнти необхідно брати в розрахунок.

Особливу увагу слід звернути на таке: у деяких випадках можливі ситуації, що коефіцієнт використання окремих елементів, а особливо азоту, з добрив виявиться більшим ніж 100%, що означає тільки те, що в такому разі йдеться про підвищене використання цього елемента з ґрунту. Для забезпечення збалансованості цього елемента необхідним є підвищення його норми до умови, коли $K_{E1}^D \leq 100\%$.

Аналогічні, хоча й суттєво спрощенні розрахунки, проводять і для варіанту встановлення прибавки врожаю методом нормативної окупності.

У цій роботі детально наводиться використання методу спадної дохідності добрив.

Слід також зазначити, що при оцінці того чи іншого сорту за його інтенсивністю величина цього показника залежить від методу визначення нормативної врожайності, для різних методів вона може мати різні значення.

В завершення необхідно зауважити, що будь-яке підвищення ефективності застосування добрив, тобто підвищення значення Ri , призводить до збільшення виносу елементів живлення врожаем, що у свою чергу підвищує можливість формування дефіциту балансу цих елементів в ґрунті під тією чи іншою культурою.

2. Оцінка особливостей визначення норм добрив на заплановану врожайність за виносом елементів врожаєм

Вказане трактування підходу до оцінювання впливу добрив на урожайність культури може мати місце, проте не є остаточним. Суть такого обмеження полягає в тому, що воно жодним чином не узгоджується з методом, який останніми роками набуває широкого використання, особливо великими орендними підприємствами, і який полягає в реалізації такого закону землеробства, як закон повернення поживних речовин у ґрунт. Методично це означає, що норма добрив має відповідати кількості винесених основних елементів живлення з запланованим врожаєм культури, що й набуло в деяких випадках нормативності [3]. Виходячи з попередніх розрахунків, це означає, що норми добрив повинні бути такими, щоб коефіцієнт використання елементів становив 100%. Тобто, якщо вміст основних елементів живлення в зерні пшениці озимої, наприклад, становить 3,62 кг/ц ($N = 2,27$ кг, $P = 0,80$ кг, $K = 0,55$ кг) [3], то для формування врожайності, наприклад, у 35,0 ц/га необхідна норма добрив дорівнюватиме 126,0 кг/га ($3,62 * 35,0$). Звичайно, з погляду забезпечення умов бездефіцитності основних елементів таке трактування проблеми живлення рослин не викликає сумніву, однак при цьому не врахованими залишаються природна родючість ґрунту та її вплив на формування врожаю, з одного боку, і врахування встановленої раніше моделі відтуку культури на мінеральні добрива (формула (1.3)) – з іншого. Отже, за законом повернення елементів залежність між урожайністю культури (Y) та кількістю елементів, що виносяться нормою добрив (X), яку планується внести, має прямо-лінійний характер і виражається умовою:

$$Y = \frac{1}{\sum B_m} X, \text{ ц/га}, \quad (2.1)$$

де ΣB_m – сумарний вміст основних елементів живлення в основній продукції, ц д.р./ц.

Схема порівняння двох методичних підходів до удобрення та подальших визначень для прийняття рішень наведена на рис. 3.

Так, за норми добрив X_1 розрахована урожайність становить Y_1 , однак фактично очікувана буде на ΔY більшою, тобто становитиме Y_2 . Отже, ця різниця (ΔY) може вважатися урожайністю культури, що формується за рахунок природної родючості ґрунту на даному фоні удобрення (X_1). При цьому винос основних елементів з очікуваним врожаєм Y_2 буде суттєво більшим за надходження в ґрунт, оскільки це надходження може забезпечити урожайність тільки Y_1 . Сумарний дефіцит основних елементів при цьому становитиме ΔX , ц д.р./га (рис. 2.1).

Тому тільки за еквівалентної норми добрив (X_{EK}) має місце співпадіння врожайностей (точка С), а сама величина її є еквівалентною (Y_{EK}), при якій має місце бездефіцитний баланс основних елементів. У випадку підвищення норм добрив урожайність культури буде обмежуватися моделлю відгуку культури на добрива (рис. 2.1), а в ґрунті буде забезпечуватися профіцит основних елементів.

Математично еквівалентна норма добрив, що відповідає критичній точці (точка С), визначається з умови рівності урожайності за формулами (1.3)–(1.4) шляхом розв'язання рівняння:

$$-AX^2 + \left(B - \frac{1}{\Sigma B_m}\right)X + C = 0 \quad (2.2)$$

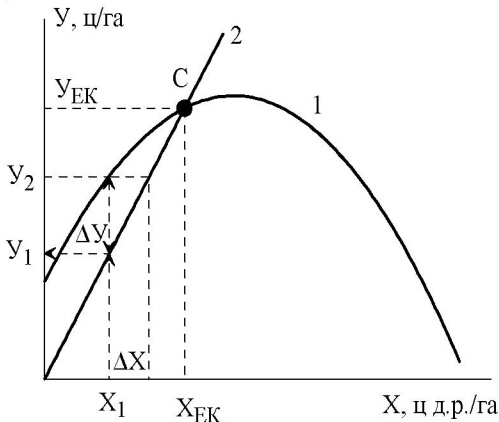


Рис. 2.1. Схема до визначення еквівалентної норми мінеральних добрив:
1 – модель відгуку урожайності культури на мінеральні добрива;
2 – винос основних елементів урожаєм культури

Для наведеного прикладу еквівалентна норма добрив становить 1,94 ц д.р./га, що дозволяє очікувати урожайність 53,6 ц/га (формула (1.3а)).

Отже, наведене вище дозволяє стверджувати, що екологічно обмеженою нормою добрив є її еквівалентна величина. У разі її зменшення ефективність добрив зростає, оскільки частина врожаю формується за рахунок природної родючості ґрунтів, та засвідчується дефіцит балансу основних елементів. При цьому чим вищою є природна родючість ґрунтів, тим більшою є ця різниця. Перевищення фактичної норми добрив над еквівалентною ($X > X_{EK}$) суттєво зменшує ефективність добрив, хоча зумовлює накопичення основних елементів. Отже, реалізація такого підходу по аналітичній оцінці ефективності добрив та прийняття обґрунтованого рішення полягає, перш за все, у визначенні кількісної моделі відгуку культури даного сорту на даних ґрунтах на мінеральні добрива з визначенням еквівалентної норми добрив, а отже, й очікуваного рівня врожайності. З іншого боку, застосування методу визначення норм мінеральних добрив за виносом основних елементів живлення є обґрунтованим тільки за планової урожайності, яка за величиною є не меншою ніж її еквівалентне значення, що визначається для кожного типу ґрунтів і кожного сорту чи гібриду.

Слід зазначити, що в разі відчуження соломи виноситься з ґрунту суттєво більше елементів (ΣCB_M), ніж тільки з основною продукцією. Ця величина визначається з умови:

$$\Sigma CB_M = \Sigma B_M + (K_{CB} \cdot K_C \cdot \Sigma v_M), \text{ кг д.р./га}, \quad (2.3)$$

де K_{CB} – коефіцієнт виходу сумарної кількості побічної продукції;

K_C – частка соломи в побічній продукції;

Σv_M – сумарний вміст основних елементів живлення в соломі.

Усі необхідні дані для таких розрахунків наведені в табл. 2.1.

Для спрощення можливих подальших розрахунків нами проведені визначення для різних рівнів інтенсивності сорту основних сільськогосподарських культур на ґрунтах Лісостепової зони країни (табл. 2.2–2.7).

Отже, для відомого типу ґрунтів, культури і варіанту використання побічної продукції за даними табл. 2.2–2.7 будується графік $X_{EK} = f(Ri)$ та $Y_{EK} = f(Ri)$ і для встановленого рівня інтенсивності для нашого сорту чи гібриду (Ri) визначається необхідне значення та

Таблиця 2.1. Вихідні дані до розрахунків вносу основних елементів живлення з врожаєм основних сільськогосподарських культур [3, 4]

Культура	K _{св}	K _с	В основній продукції, кг/ц				У побічній продукції, кг/ц				ΣСВ _м , кг/ц
			N	P	K	ΣВ _м	N	P	K	ΣВ _м	
Пшениця озима	1,4	0,53	2,27	0,80	0,55	3,62	0,45	0,20	0,80	1,45	4,70
Ячмінь ярий	1,1	0,51	1,84	0,76	0,53	3,13	0,50	0,20	1,00	1,70	4,08
Кукурудза на зерно	1,5	0,58	1,53	0,59	0,42	2,64	0,75	0,30	1,64	2,69	4,88
Соняшник	2,0	0,50	2,37	1,04	0,84	4,25	1,56	0,76	5,25	7,57	11,82
Горох	1,3	0,54	3,34	0,84	1,30	5,48	1,26	0,41	0,63	2,30	7,96
Бурак цукровий	0,13	0,60	0,21	0,08	0,22	0,51	0,30	0,10	0,85	1,25	0,59

еквівалентна норма добрив ($X_{ЕК}$) і відповідного чи еквівалентного рівня урожайності. Як приклад, на рис. 2.2 наведено порядок таких визначень для прийнятого раніше прикладу (пшениця озима, ґрунти темно-сірі опідзолені та чорноземи опідзолені, побічна продукція загортається в ґрунт). Так, якщо рівень інтенсивності сорту (R_i) встановлений як 1,25, то з рис. 2.2 маємо, що в цьому разі еквівалентна норма добрив становить близько 2,10 ц д.р./га, а еквівалентна урожайність – близько 58,0 ц/га.

Для наведеного в табл. 1.2 прикладу для вказаних культур і сортів чи гібридів були здійснені деякі уточнення (табл. 2.8).

Одержані дані показують, що під всі культури норми добрив були меншими за екологічно доцільні, і після кожної з культур чи сорту утворюється дефіцит основних елементів у ґрунті. При цьому найбільше значення цього дефіциту зафіксовано під пшеницею озимого, а найменше – під ячменем ярим.

Згідно з логікою всіх попередніх визначень (див. рис. 2.1) можна з деяким наближенням стверджувати, що для пшениці озимого фактична норма мінеральних добрив (1,60 ц д.р./га) могла забезпечити урожайність культури тільки на рівні 44,2 ц/га (формула (2.1)), яку можна вважати такою, яка забезпечена внесеними добривами (Y_3). Отже, за рахунок природної родючості ґрунту або його бонітету (Y_B) формується урожайність, яка становить собою різницю між фактичною і забезпеченою ($Y_B = Y_\phi - Y_3$). Зрозуміло, що для різних сортів ця величина є різною і залежить від рівня їх інтенсивності. За

Таблиця 2.2. Значення еквівалентної норми мінеральних добрив (X_{EK}) та відповідного рівня врожайності (Y_{EK}) пшениці озимої в умовах Лісостепу України залежно від типу ґрунту та рівня інтенсивності сорту (Ri)

Показник	Рівень інтенсивності сорту (гібриду), Ri						
	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Тип ґрунту	Темно-сірі опідзолені та чорноземи опідзолені						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$Y = -1,20 X^2 + 10,169X + 29,8$, ц/га						
Еквівалентна норма добрив (X_{EK}), ц д.р./га	1,17	1,54	1,94	2,39	2,84	3,27	3,70
Еквівалентний рівень урожайності (Y_{EK}), ц/га	32,4	42,6	53,6	66,1	78,4	90,1	101,9
Тип ґрунту	Темно-сірі опідзолені та чорноземи опідзолені глейові						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$Y = -0,74 X^2 + 6,27X + 29,5$, ц/га						
Еквівалентна норма добрив (X_{EK}), ц д.р./га	1,01	1,33	1,64	1,98	2,32	2,67	3,02
Еквівалентний рівень урожайності (Y_{EK}), ц/га	28,0	36,5	45,4	54,6	64,1	73,8	83,4
Тип ґрунту	Чорноземи типові реградвані та вилуговані середньо- і легкосуглинкові						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$Y = -0,98 X^2 + 8,26X + 30,5$, ц/га						
Еквівалентна норма добрив (X_{EK}), ц д.р./га	1,12	1,47	1,84	2,23	2,63	3,03	3,42
Еквівалентний рівень урожайності (Y_{EK}), ц/га	30,8	40,5	50,8	61,7	72,7	83,8	94,6
Тип ґрунту	Чорноземи типові реградвані та вилуговані супіщані й важкосуглинкові						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$Y = -0,82 X^2 + 6,94X + 32,8$, ц/га						
Еквівалентна норма добрив (X_{EK}), ц д.р./га	1,15	1,50	1,86	2,24	2,63	3,01	3,40
Еквівалентний рівень урожайності (Y_{EK}), ц/га	31,8	41,4	51,5	61,9	72,6	83,2	93,8

Таблиця 2.2а Значення еквівалентної норми мінеральних добрив (X_{EK}) та відповідного рівня врожайності (Y_{EK}) пшениці озимої в умовах Лісостепу України залежно від типу ґрунту та рівня інтенсивності сорту (Ri) (при відчуженні соломи)

Показник	Рівень інтенсивності сорту (гібриду), Ri						
	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Тип ґрунту	Темно-сірі опідзолені та чорноземи опідзолені						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$Y = -1,20 X^2 + 10,16X + 29,8, \text{ ц/га}$ $(X_{MAX} = 4,23 \text{ ц д.р./га})$						
Еквівалентна норма добрив (X_{EK}), ц д.р./га	1,64	2,16	2,70	3,25	3,78	4,26	4,81
Еквівалентний рівень урожайності (Y_{EK}), ц/га	34,9	46,5	58,6	70,7	82,3	93,1	103,0
Тип ґрунту	Темно-сірі опідзолені та чорноземи опідзолені глейові						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$Y = -0,74 X^2 + 6,27X + 29,5, \text{ ц/га}$ $(X_{MAX} = 4,23 \text{ ц д.р./га})$						
Еквівалентна норма добрив (X_{EK}), ц д.р./га	1,23	1,81	2,24	2,66	3,11	3,52	3,94
Еквівалентний рівень урожайності (Y_{EK}), ц/га	29,4	38,3	47,6	57,2	66,9	76,4	85,6
Тип ґрунту	Чорноземи типові реградовані та вилуговані середньо- і легкосуглинкові						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$Y = -0,98 X^2 + 8,26X + 30,5, \text{ ц/га}$ $(X_{MAX} = 4,21 \text{ ц д.р./га})$						
Еквівалентна норма добрив (X_{EK}), ц д.р./га	1,46	1,93	2,42	2,92	3,41	3,88	4,32
Еквівалентний рівень урожайності (Y_{EK}), ц/га	32,4	42,8	53,7	64,8	75,6	86,1	95,8
Тип ґрунту	Чорноземи типові реградовані та вилуговані супіщані й важкосуглинкові						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$Y = -0,82 X^2 + 6,94X + 32,8, \text{ ц/га}$ $(X_{MAX} = 4,23 \text{ ц д.р./га})$						
Еквівалентна норма добрив (X_{EK}), ц д.р./га	1,49	1,95	2,45	2,90	3,38	3,84	4,28
Еквівалентний рівень урожайності (Y_{EK}), ц/га	33,0	43,2	54,3	64,3	75,0	85,2	95,0

Таблиця 2.3. Значення еквівалентної норми мінеральних добрив (X_{EK}) та відповідного рівня врожайності (Y_{EK}) ячменю ярого в умовах Ліссостепу України залежно від типу ґрунту та рівня інтенсивності сорту (Ri)

Показник	Рівень інтенсивності сорту (гібриду), Ri						
	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Тип ґрунту	Темно-сірі опідзолені та чорноземи опідзолені						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$Y = -1,02X^2 + 9,28X + 25,5$, ц/га						
Еквівалентна норма добрив (X_{EK}), ц д.р./га	0,81	1,07	1,36	1,67	2,00	2,34	2,70
Еквівалентний рівень урожайності (Y_{EK}), ц/га	25,9	34,3	43,5	53,5	64,0	74,9	86,2
Тип ґрунту	Темно-сірі опідзолені та чорноземи опідзолені глейові						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$Y = -0,86 X^2 + 7,88X + 24,3$, ц/га						
Еквівалентна норма добрив (X_{EK}), ц д.р./га	0,74	0,96	1,23	1,50	1,79	2,08	2,41
Еквівалентний рівень урожайності (Y_{EK}), ц/га	23,7	31,0	39,2	47,8	57,2	66,5	76,9
Тип ґрунту	Чорноземи типові реградовані та вилуговані середньо- і легкосуглинкові						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$Y = -0,56 X^2 + 5,09X + 25,6$, ц/га						
Еквівалентна норма добрив (X_{EK}), ц д.р./га	0,74	0,93	1,15	1,38	1,62	1,87	2,12
Еквівалентний рівень урожайності (Y_{EK}), ц/га	23,7	29,9	36,9	44,2	51,8	59,7	67,7
Тип ґрунту	Чорноземи типові реградовані та вилуговані супіщані й важкосуглинкові						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$Y = -0,41 X^2 + 3,79X + 24,9$, ц/га						
Еквівалентна норма добрив (X_{EK}), ц д.р./га	0,68	0,87	1,07	1,27	1,48	1,70	1,92
Еквівалентний рівень урожайності (Y_{EK}), ц/га	21,8	27,8	34,2	40,7	47,4	54,4	61,3

Таблиця 2.3а. Значення еквівалентної норми мінеральних добрив ($X_{ЕК}$) та відповідного рівня врожайності ($Y_{ЕК}$) ячменю ярого в умовах Лісостепу України залежно від типу ґрунту та рівня інтенсивності сорту (Ri) (при відруженні соломи)

Показник	Рівень інтенсивності сорту (гібриду), Ri						
	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Тип ґрунту	Темно-сірі опідзолені та чорноземи опідзолені						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$y = -1,02 X^2 + 9,28X + 25,5, \text{ ц/га}$ $(X_{\text{MAX}} = 4,55 \text{ ц д.р./га})$						
Еквівалентна норма добрив ($X_{ЕК}$), ц д.р./га	1,13	1,52	1,94	2,39	2,85	3,30	3,75
Еквівалентний рівень урожайності ($Y_{ЕК}$), ц/га	27,7	37,2	47,6	58,6	69,9	81,0	91,9
Тип ґрунту	Темно-сірі опідзолені та чорноземи опідзолені глейові						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$y = -0,86 X^2 + 7,88X + 24,3, \text{ ц/га}$ $(X_{\text{MAX}} = 4,58 \text{ ц д.р./га})$						
Еквівалентна норма добрив ($X_{ЕК}$), ц д.р./га	1,03	1,36	1,73	2,11	2,53	2,94	3,37
Еквівалентний рівень урожайності ($Y_{ЕК}$), ц/га	25,2	33,4	42,5	51,8	62,4	72,0	82,6
Тип ґрунту	Чорноземи типові реградовані та вилуговані середньо- і легкосуглинкові						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$y = -0,56 X^2 + 5,09X + 25,6, \text{ ц/га}$ $(X_{\text{MAX}} = 4,54 \text{ ц д.р./га})$						
Еквівалентна норма добрив ($X_{ЕК}$), ц д.р./га	1,01	1,27	1,58	1,90	2,26	2,57	2,91
Еквівалентний рівень урожайності ($Y_{ЕК}$), ц/га	24,8	31,2	38,7	46,6	55,3	63,0	71,3
Тип ґрунту	Чорноземи типові реградовані та вилуговані супіщані й важкосуглинкові						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$y = -0,41 X^2 + 3,79X + 24,9, \text{ ц/га}$ $(X_{\text{MAX}} = 4,62 \text{ ц д.р./га})$						
Еквівалентна норма добрив ($X_{ЕК}$), ц д.р./га	0,91	1,17	1,45	1,73	2,01	2,31	2,61
Еквівалентний рівень урожайності ($Y_{ЕК}$), ц/га	22,4	28,8	35,4	42,3	49,4	56,6	64,0

Таблиця 2.4. Значення еквівалентної норми мінеральних добрив (X_{EK}) та відповідного рівня врожайності (Y_{EK}) кукурудзи на зерно в умовах Лісостепу України залежно від типу ґрунту та рівня інтенсивності сорту (Ri)

Показник	Рівень інтенсивності сорту (гібриду), Ri						
	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Тип ґрунту	Темно-сірі опідзолені та чорноземи опідзолені						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$Y = -1,21 X^2 + 11,56X + 36,6, \text{ ц/га}$ $(X_{\text{MAX}} = 4,77 \text{ ц д.р./га})$						
Еквівалентна норма добрив (X_{EK}), ц д.р./га	1,02	1,35	1,71	2,10	2,50	2,91	3,33
Еквівалентний рівень урожайності (Y_{EK}), ц/га	37,7	50,0	63,4	77,8	92,7	108,0	123,3
Тип ґрунту	Темно-сірі опідзолені та чорноземи опідзолені глейові						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$Y = -1,46 X^2 + 13,85X + 37,5, \text{ ц/га}$ $(X_{\text{MAX}} = 4,74 \text{ ц д.р./га})$						
Еквівалентна норма добрив (X_{EK}), ц д.р./га	1,10	1,48	1,90	2,34	2,80	3,26	3,71
Еквівалентний рівень урожайності (Y_{EK}), ц/га	40,7	54,8	70,4	86,7	103,7	120,7	137,4
Тип ґрунту	Чорноземи типові реградовані та вилуговані середньо- і легкосуглинкові						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$Y = -0,97 X^2 + 9,27X + 49,3, \text{ ц/га}$ $(X_{\text{MAX}} = 4,78 \text{ ц д.р./га})$						
Еквівалентна норма добрив (X_{EK}), ц д.р./га	1,29	1,68	2,09	2,51	2,95	3,37	3,81
Еквівалентний рівень урожайності (Y_{EK}), ц/га	47,7	62,1	77,3	93,0	109,1	125,1	140,0
Тип ґрунту	Чорноземи типові реградовані та вилуговані супіщані й важкосуглинкові						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$Y = -1,49 X^2 + 14,17X + 43,1, \text{ ц/га}$ $(X_{\text{MAX}} = 4,76 \text{ ц д.р./га})$						
Еквівалентна норма добрив (X_{EK}), ц д.р./га	1,27	1,70	2,16	2,65	3,15	3,64	4,11
Еквівалентний рівень урожайності (Y_{EK}), ц/га	46,9	62,8	80,1	98,2	116,8	134,9	152,3

Таблиця 2.4а. Значення еквівалентної норми мінеральних добрив (X_{EK}) та відповідного рівня врожайності (Y_{EK}) кукурудзи на зерно в умовах Лісостепу України залежно від типу ґрунту та рівня інтенсивності сорту (Ri) (при відчуженні соломи)

Показник	Рівень інтенсивності сорту (гібриду), Ri						
	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Тип ґрунту	Темно-сірі опідзолені та чорноземи опідзолені						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$y = -1,21 X^2 + 11,56X + 36,6, \text{ ц/га}$ $(X_{MAX} = 4,77 \text{ ц д.р./га})$						
Еквівалентна норма добрив (X_{EK}), ц д.р./га	2,18	2,92	3,67	4,36	5,00	–	–
Еквівалентний рівень урожайності (Y_{EK}), ц/га	44,9	60,1	75,3	89,7	102,6	–	–
Тип ґрунту	Темно-сірі опідзолені та чорноземи опідзолені глейові						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$y = -1,46 X^2 + 13,85X + 37,5, \text{ ц/га}$ $(X_{MAX} = 4,74 \text{ ц д.р./га})$						
Еквівалентна норма добрив (X_{EK}), ц д.р./га	2,44	3,27	4,07	4,80	–	–	–
Еквівалентний рівень урожайності (Y_{EK}), ц/га	50,1	67,2	89,7	98,6	–	–	–
Тип ґрунту	Чорноземи типові реградовані та вилуговані середньо- і легкосуглинкові						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$y = -0,97 X^2 + 9,27X + 49,3, \text{ ц/га}$ $(X_{MAX} = 4,78 \text{ ц д.р./га})$						
Еквівалентна норма добрив (X_{EK}), ц д.р./га	2,60	3,42	4,16	4,87	–	–	–
Еквівалентний рівень урожайності (Y_{EK}), ц/га	53,5	70,1	85,4	100,0	–	–	–
Тип ґрунту	Чорноземи типові реградовані та вилуговані супіщані й важкосуглинкові						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$y = -1,49 X^2 + 14,17X + 43,1, \text{ ц/га}$ $(X_{MAX} = 4,76 \text{ ц д.р./га})$						
Еквівалентна норма добрив (X_{EK}), ц д.р./га	2,76	3,65	4,47	5,20	–	–	–
Еквівалентний рівень урожайності (Y_{EK}), ц/га	56,7	75,0	92,0	106,0	–	–	–

Таблиця 2.5. Значення еквівалентної норми мінеральних добрив (X_{EK}) та відповідного рівня врожайності (Y_{EK}) соняшнику в умовах Лісостепу України залежно від типу ґрунту та рівня інтенсивності сорту (R_i)

Показник	Рівень інтенсивності сорту (гібриду), R_i						
	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Тип ґрунту	Темно-сірі опідзолені та чорноземи опідзолені						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$Y = -1,43 X^2 + 3,71X + 16,1, \text{ ц/га}$ $(X_{\text{MAX}} = 4,31 \text{ ц д.р./га})$						
Еквівалентна норма добрив (X_{EK}), ц д.р./га	0,62	0,78	0,98	1,18	1,39	1,60	1,82
Еквівалентний рівень урожайності (Y_{EK}), ц/га	14,6	18,4	23,2	27,9	32,7	37,7	42,9
Тип ґрунту	Темно-сірі опідзолені та чорноземи опідзолені глейові						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$Y = -0,27 X^2 + 2,34X + 18,2, \text{ ц/га}$ $(X_{\text{MAX}} = 4,33 \text{ ц д.р./га})$						
Еквівалентна норма добрив (X_{EK}), ц д.р./га	0,67	0,85	1,04	1,23	1,43	1,63	1,83
Еквівалентний рівень урожайності (Y_{EK}), ц/га	15,7	20,0	24,4	28,9	33,6	38,3	43,2
Тип ґрунту	Чорноземи типові реградовані та вилуговані середньо- і легкосуглинкові						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$Y = -0,45 X^2 + 3,92X + 19,2, \text{ ц/га}$ $(X_{\text{MAX}} = 4,36 \text{ ц д.р./га})$						
Еквівалентна норма добрив (X_{EK}), ц д.р./га	0,75	0,96	1,18	1,42	1,66	1,92	2,21
Еквівалентний рівень урожайності (Y_{EK}), ц/га	17,5	22,6	27,9	33,4	39,2	45,1	52,0
Тип ґрунту	Чорноземи типові реградовані та вилуговані супіщані й важкосуглинкові						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$Y = -0,34 X^2 + 2,99X + 18,0, \text{ ц/га}$ $(X_{\text{MAX}} = 4,40 \text{ ц д.р./га})$						
Еквівалентна норма добрив (X_{EK}), ц д.р./га	0,64	0,87	1,06	1,26	1,47	1,69	1,91
Еквівалентний рівень урожайності (Y_{EK}), ц/га	15,9	20,4	25,0	29,6	34,7	39,8	44,9

Таблиця 2.5а Значення еквівалентної норми мінеральних добрив (X_{EK}) та відповідного рівня врожайності (Y_{EK}) соняшнику в умовах Ліссостепу України залежно від типу ґрунту та рівня інтенсивності сорту (Ri) (при відчуженні соломи)

Показник	Рівень інтенсивності сорту (гібриду), Ri						
	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Тип ґрунту	Темно-сірі опідзолені та чорноземи опідзолені						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$Y = -0,43X^2 + 3,71X + 16,1$, $ц/га$ ($X_{MAX} = 4,31$ $ц д.р./га$)						
Еквівалентна норма добрив (X_{EK}), $ц д.р./га$	2,08	2,72	3,37	3,98	4,55	-	-
Еквівалентний рівень урожайності (Y_{EK}), $ц/га$	17,6	23,0	28,5	33,7	38,5	-	-
Тип ґрунту	Темно-сірі опідзолені та чорноземи опідзолені глейові						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$Y = -0,27X^2 + 2,34X + 18,2$, $ц/га$ ($X_{MAX} = 4,33$ $ц д.р./га$)						
Еквівалентна норма добрив (X_{EK}), $ц д.р./га$	2,06	2,66	3,26	3,84	4,40	-	-
Еквівалентний рівень урожайності (Y_{EK}), $ц/га$	17,5	22,5	27,6	32,5	37,3	-	-
Тип ґрунту	Чорноземи типові реградовані та вилуговані середньо- і легкосуглинкові						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$Y = -0,45X^2 + 3,92X + 19,2$, $ц/га$ ($X_{MAX} = 4,36$ $ц д.р./га$)						
Еквівалентна норма добрив (X_{EK}), $ц д.р./га$	2,47	3,21	3,92	4,58	-	-	-
Еквівалентний рівень урожайності (Y_{EK}), $ц/га$	20,9	27,2	33,2	38,8	-	-	-
Тип ґрунту	Чорноземи типові реградовані та вилуговані супіщані й важкосуглинкові						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$Y = -0,34X^2 + 2,99X + 18,0$, $ц/га$ ($X_{MAX} = 4,40$ $ц д.р./га$)						
Еквівалентна норма добрив (X_{EK}), $ц д.р./га$	2,16	2,80	3,44	4,06	4,65	-	-
Еквівалентний рівень урожайності (Y_{EK}), $ц/га$	18,3	23,7	29,1	34,3	39,4	-	-

Таблиця 2.6. Значення еквівалентної норми мінеральних добрив (X_{EK}) та відповідного рівня врожайності (Y_{EK}) буряку цукрового в умовах Лісостепу України залежно від типу ґрунту та рівня інтенсивності сорту (Ri)

Показник	Рівень інтенсивності сорту (гібриду), Ri						
	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Тип ґрунту	Темно-сірі опідзолені та чорноземи опідзолені						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$Y = -5,26 X^2 + 59,28 X + 257,7, \text{ ц/га}$ $(X_{\text{MAX}} = 5,63 \text{ ц д.р./га})$						
Еквівалентна норма добрив (X_{EK}), ц д.р./га	1,34	1,76	2,22	2,71	3,28	3,72	4,35
Еквівалентний рівень урожайності (Y_{EK}), ц/га	262,0	346,0	436,0	531,0	642,0	729,0	854,0
Тип ґрунту	Темно-сірі опідзолені та чорноземи опідзолені глейові						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$Y = -6,94 X^2 + 78,28 X + 264,0, \text{ ц/га}$ $(X_{\text{MAX}} = 5,64 \text{ ц д.р./га})$						
Еквівалентна норма добрив (X_{EK}), ц д.р./га	1,49	2,00	2,56	3,15	3,76	4,34	4,90
Еквівалентний рівень урожайності (Y_{EK}), ц/га	292,0	393,0	503,0	618,0	736,0	851,0	962,0
Тип ґрунту	Чорноземи типові реградовані та вилуговані середньо- і легкосуглинкові						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$Y = -5,92 X^2 + 66,79 X + 301,7, \text{ ц/га}$ $(X_{\text{MAX}} = 5,64 \text{ ц д.р./га})$						
Еквівалентна норма добрив (X_{EK}), ц д.р./га	1,60	2,13	2,68	3,27	3,84	4,42	4,97
Еквівалентний рівень урожайності (Y_{EK}), ц/га	315,0	417,0	526,0	641,0	754,0	866,0	975,0
Тип ґрунту	Чорноземи типові реградовані та вилуговані супіщані й важкосуглинкові						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$Y = -4,39 X^2 + 49,56 X + 291,8, \text{ ц/га}$ $(X_{\text{MAX}} = 5,64 \text{ ц д.р./га})$						
Еквівалентна норма добрив (X_{EK}), ц д.р./га	1,45	1,89	2,35	2,83	3,33	3,83	4,32
Еквівалентний рівень урожайності (Y_{EK}), ц/га	284,0	370,0	460,0	556,0	653,0	750,0	847,0

Таблиця 2.6а. Значення еквівалентної норми мінеральних добрив ($X_{ЕК}$) та відповідного рівня врожайності ($Y_{ЕК}$) буряку цукрового в умовах Лісостепу України залежно від типу ґрунту та рівня інтенсивності сорту (R_i) (при відчуженні гички)

Показник	Рівень інтенсивності сорту (гібриду), R_i						
	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Тип ґрунту	Темно-сірі опідзолені та чорноземи опідзолені						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$Y = -5,26 X^2 + 59,28 X + 257,7$, ц/га ($X_{MAX} = 5,63$ ц д.р./га)						
Еквівалентна норма добрив ($X_{ЕК}$), ц д.р./га	1,57	2,08	2,62	3,20	3,83	4,34	4,89
Еквівалентний рівень урожайності ($Y_{ЕК}$), ц/га	270,0	358,0	452,0	551,0	660,0	749,0	844,0
Тип ґрунту	Темно-сірі опідзолені та чорноземи опідзолені глейові						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$Y = -6,94 X^2 + 78,28 X + 264,0$, ц/га ($X_{MAX} = 5,64$ ц д.р./га)						
Еквівалентна норма добрив ($X_{ЕК}$), ц д.р./га	1,77	2,37	3,05	3,74	4,40	5,03	5,62
Еквівалентний рівень урожайності ($Y_{ЕК}$), ц/га	304,0	408,0	526,0	645,0	759,0	868,0	970,0
Тип ґрунту	Чорноземи типові реградовані та вилуговані середньо- і легкосуглинкові						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$Y = -5,92 X^2 + 66,79 X + 301,7$, ц/га ($X_{MAX} = 5,64$ ц д.р./га)						
Еквівалентна норма добрив ($X_{ЕК}$), ц д.р./га	1,89	2,51	3,16	3,82	4,47	5,10	5,69
Еквівалентний рівень урожайності ($Y_{ЕК}$), ц/га	325,0	432,0	544,0	659,0	771,0	879,0	980,0
Тип ґрунту	Чорноземи типові реградовані та вилуговані супіщані й важкосуглинкові						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$Y = -4,39 X^2 + 49,56 X + 291,8$, ц/га ($X_{MAX} = 5,64$ ц д.р./га)						
Еквівалентна норма добрив ($X_{ЕК}$), ц д.р./га	1,68	2,20	2,75	3,31	3,88	4,44	4,98
Еквівалентний рівень урожайності ($Y_{ЕК}$), ц/га	290,0	380,0	474,0	571,0	669,0	765,0	859,0

Таблиця 2.7. Значення еквівалентної норми мінеральних добрив (X_{EK}) та відповідного рівня врожайності (Y_{EK}) гороху в умовах Лісостепу України залежно від типу ґрунту та рівня інтенсивності сорту (Ri)

Показник	Рівень інтенсивності сорту (гібриду), Ri						
	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Тип ґрунту	Темно-сірі опідзолені та чорноземи опідзолені						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$Y = -1,39 X^2 + 10,16X + 22,4, \text{ ц/га}$ ($X_{MAX} = 3,65 \text{ ц д.р./га}$)						
Еквівалентна норма добрив (X_{EK}), ц д.р./га	1,50	2,05	2,59	3,11	3,59	–	–
Еквівалентний рівень урожайності (Y_{EK}), ц/га	27,3	37,4	47,3	56,8	65,5	–	–
Тип ґрунту	Темно-сірі опідзолені та чорноземи опідзолені глейові						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$Y = -0,72 X^2 + 5,28X + 20,2, \text{ ц/га}$ ($X_{MAX} = 3,67 \text{ ц д.р./га}$)						
Еквівалентна норма добрив (X_{EK}), ц д.р./га	1,10	1,44	1,80	2,16	2,54	2,90	3,26
Еквівалентний рівень урожайності (Y_{EK}), ц/га	20,1	26,3	32,8	39,5	46,4	53,0	59,7
Тип ґрунту	Чорноземи типові реградовані та вилуговані середньо-і легкосуглинкові						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$Y = -0,72 X^2 + 5,28X + 23,7, \text{ ц/га}$ ($X_{MAX} = 3,67 \text{ ц д.р./га}$)						
Еквівалентна норма добрив (X_{EK}), ц д.р./га	1,28	1,67	2,07	2,48	2,89	3,27	3,66
Еквівалентний рівень урожайності (Y_{EK}), ц/га	23,4	30,5	37,9	45,3	52,7	58,8	66,7
Тип ґрунту	Чорноземи типові реградовані та вилуговані супіщані й важкосуглинкові						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$Y = -0,61 X^2 + 4,51X + 27,3, \text{ ц/га}$ ($X_{MAX} = 3,69 \text{ ц д.р./га}$)						
Еквівалентна норма добрив (X_{EK}), ц д.р./га	1,42	1,85	2,26	2,70	3,10	3,50	<u>3,90</u>
Еквівалентний рівень урожайності (Y_{EK}), ц/га	26,0	33,7	41,3	49,0	56,6	64,0	71,2

Таблиця 2.7а Значення еквівалентної норми мінеральних добрив ($X_{ЕК}$) та відповідного рівня врожайності ($Y_{ЕК}$) гороху в умовах Лісостепу України залежно від типу ґрунту та рівня інтенсивності сорту (Ri) (при відчуженні соломи)

Показник	Рівень інтенсивності сорту (гібриду), Ri						
	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Тип ґрунту	Темно-сірі опідзолені та чорноземи опідзолені						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$Y = -1,39 X^2 + 10,16X + 22,4$, ц/га ($X_{MAX} = 3,65$ ц д.р./га)						
Еквівалентна норма добрив ($X_{ЕК}$), ц д.р./га	2,49	3,24	3,89	–	–	–	–
Еквівалентний рівень урожайності ($Y_{ЕК}$), ц/га	31,3	40,7	48,8	–	–	–	–
Тип ґрунту	Темно-сірі опідзолені та чорноземи опідзолені глейові						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$Y = -0,72 X^2 + 5,28X + 20,2$, ц/га ($X_{MAX} = 3,67$ ц д.р./га)						
Еквівалентна норма добрив ($X_{ЕК}$), ц д.р./га	1,73	2,27	2,81	3,32	3,81	–	–
Еквівалентний рівень урожайності ($Y_{ЕК}$), ц/га	21,8	28,5	35,3	41,7	47,8	–	–
Тип ґрунту	Чорноземи типові реградовані та вилуговані середньо- і легкосуглинкові						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$Y = -0,72 X^2 + 5,28X + 23,7$, ц/га ($X_{MAX} = 3,67$ ц д.р./га)						
Еквівалентна норма добрив ($X_{ЕК}$), ц д.р./га	2,00	2,60	3,17	3,71	–	–	–
Еквівалентний рівень урожайності ($Y_{ЕК}$), ц/га	25,1	32,7	39,9	46,7	–	–	–
Тип ґрунту	Чорноземи типові реградовані та вилуговані супіщані й важкосуглинкові						
Базова модель відгуку культури на мінеральні добрива	$Y = -0,61 X^2 + 4,51X + 27,3$, ц/га ($X_{MAX} = 3,69$ ц д.р./га)						
Еквівалентна норма добрив ($X_{ЕК}$), ц д.р./га	2,20	2,80	3,40	3,97	–	–	–
Еквівалентний рівень урожайності ($Y_{ЕК}$), ц/га	27,6	35,1	42,7	49,9	–	–	–

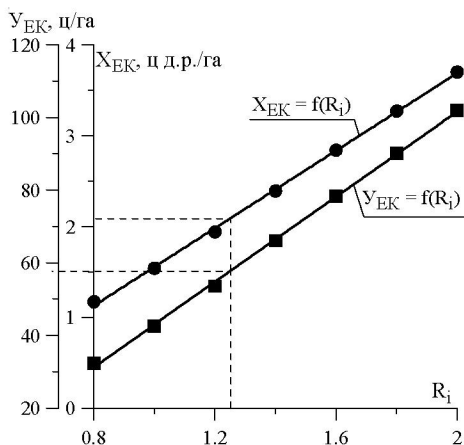


Рис. 2.2. Залежність еквівалентної норми добрив та відповідної урожайності пшениці озимої від рівня інтенсивності для темно-сірих опідзолених ґрунтів та чорноземів опідзолених, із загортанням побічної продукції

аналогією можна стверджувати, що для ячменю ярого забезпечений рівень урожайності становить 28,8 ц/га ($X = 0,90$ ц д.р./га), а для кукурудзи – 72,0 ц/га ($X = 1,90$ ц д.р./га).

Слід зазначити, що в разі відчуження соломи на інші потреби виникає необхідність внесення додаткової кількості добрив в еквівалентній кількості до вмісту елементів живлення в самій соломі. Тобто в цьому випадку і еквівалентна норма добрив, і еквівалентний рівень урожайності будуть більшими, ніж у разі загортання соломи в ґрунт (рис. 2.3).

У такому разі виникає необхідність обґрунтування доцільності цього заходу, зокрема економічної. Отже, приріст урожайності від застосування добрив нормою X_{EK} визначиться як

$$\Delta Y = Y_{EK} - C \quad (2.4)$$

Так, для нашого прикладу (пшениця озима на темно-сірих опідзолених ґрунтах та чорноземах опідзолених) при рівні інтенсивності сорту 1,20 маємо:

- при загортанні соломи: $X_{EK} = 1,94$ ц д.р./га; $Y_{EK} = 53,6$ ц/га;
- при відчуженні соломи: $X_{EK} = 2,70$ ц д.р./га; $Y_{EK} = 58,6$ ц/га.

Це дозволяє провести деякий аналіз. Перш за все слід зазначити, що ефективність норми добрив X_{EK1} (1,94 ц д.р./га) забезпечує приріст врожайності 17,8 ц/га ($Y_{EK2} - C = 53,6 - 35,8$), а підвищена норма – 22,8 ц/га. Отже, окупність першої норми добрив дорівнює

Таблиця 2.8. Відповідність фактичних норм добрив екологічним умовам

Сорт (Гбрид)	Середня врожайність, ц/га	Фактичний рівень інтенсивності	Еквівалентна норма добрив, кг/га	Фактична норма добрив, кг/га	Дефіцит елементів живлення, кг/га
Пшениця озима					
Розкішна	94,4	2,29	370	160	210
Гордовита	75,9	1,84	275	160	115
Досконала	88,5	2,15	320	160	160
Волошкова	81,4	1,98	295	160	135
Епоха Одеська	77,3	1,88	280	160	120
Місія Одеська	76,9	1,87	278	160	118
Заграва Одеська	77,8	1,89	282	160	122
Ячмінь ярий					
Парнас	38,2	1,28	120	90	30
Святогор	40,4	1,35	126	90	36
Всесвіт	37,3	1,25	117	90	27
Командор	40,1	1,34	126	90	36
Геліос	35,8	1,20	112	90	22
Кукурудза на зерно (середньостигла)					
Харківський 329 МВ	92,8	1,46	245	190	55
PR38A79	90,5	1,43	239	190	49
Моніка 350МВ	98,7	1,56	260	190	70

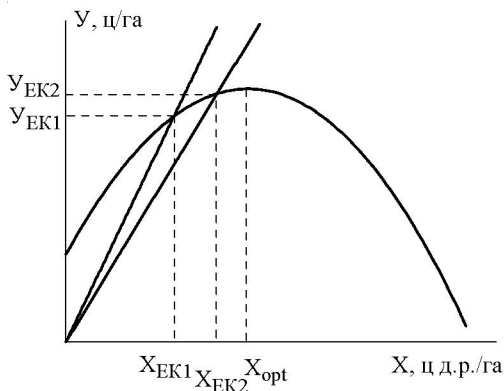


Рис. 2.3. Схема до оцінки ефективності відчуження соломи

9,18 ц/ц (17,8/1,94), а підвищеної – 8,44 ц/ц (22,8/2,70). Тобто, додаткова кількість добрив 76 кг д.р./га (2,70–1,94) дозволяє сформувати додаткову урожайність 5,0 ц (58,6–53,6), а їх окупність складе тільки 6,6 ц/ц.

Наведене вище дозволяє стверджувати, що в разі відчуження соломи компенсаційна норма добрив становить 0,76 ц д.р./га, а додаткові витрати – близько 800 грн/га. Кількість відчуженої соломи, згідно з даними табл. 1.2 за урожайності зерна 58,6 ц/га становить близько 44 ц/га, що у свою чергу, свідчить про те, що ціна однієї тонни відчуженої соломи не повинна бути меншою ніж 182 грн (800/4,4). Отже, розуміння економічної доцільності відчуження соломи з умови компенсації вивнесених поживних елементів і дозволить в кожному конкретному випадку прийняти зважене рішення.

Крім того, необхідно зважити на те, що в деяких випадках, особливо при відчуженні соломи, виникає ситуація, коли еквівалентна норма добрив є більшою за оптимальну (рис. 2.4). У табл. 2.2–2.7 напівжирним шрифтом позначені максимальні значення $X_{ЕК}$ як такі, більше значень яких є недоцільним.

Зрозуміло, що визначена в такий спосіб величина еквівалентної норми добрив ($X_{ЕК}$) відповідає умові повернення вивнесених з урожаєм елементів живлення в ґрунт, однак величина еквівалентної урожайності в даному випадку вимагає уточнення. Справа в тому, що таку саму врожайність можна очікувати й за децю іншої норми добрив, оскільки характер залежності урожайності від норм добрив (квадратична парабола) передбачає два значення норм добрив за однієї й тієї урожайності. Без спеціальних розрахунків можна з рис. 2.4 визначитися з такою нормою добрив (X_1). Тобто, встановлена в

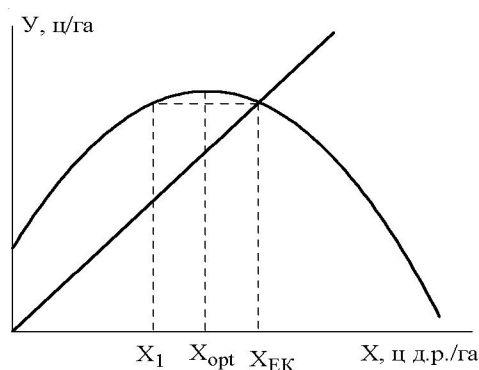


Рис. 2.4. Схема можливого обмеження максимальної норми добрив

такий спосіб норма добрив не може бути рекомендованою, оскільки її величина, хоча й покриває винос елементів з ґрунту, однак її вплив на урожайність є негативним. У цьому разі слід рекомендувати норму добрив, яка є оптимальною (X_{OPT}), а утворений дефіцит в основних елементах ($\Delta X = X_{EK} - X_{OPT}$) має бути компенсований наступною культурою в сівозміні.

Подальша деталізація даної проблеми, на наш погляд, полягає в уточненні оптимального співвідношення основних елементів живлення (N, P, K) у розрахованій нормі добрив.

Слід зауважити, що визначена в такий спосіб норма добрив є екологічно обґрунтованою, оскільки від меншої її величини очікується дефіцит балансу основних елементів, а за більшої – суттєво зменшується ефективність добрив. Величину урожайності при цьому можна вважати плановою, оскільки вона також є екологічно обґрунтованою. Зрозуміло, що таке трактування планової урожайності та відповідної норми добрив є доцільним тільки за умови, коли необхідні норми добрив визначаються через винос основних елементів з урожаєм культури, а коефіцієнт використання їх з добрив дорівнює 100%.

Список літератури

1. Калінчик М. В. Економічне обґрунтування норм внесення мінеральних добрив залежно від ціни на ресурси та продукцію / М. В. Калінчик, М. М. Ільчук, М. Б. Калінчик. – К. : Нічлава, 2006. – 43 с.
2. Харченко О. В. Агроекономічне і екологічне обґрунтування рівня живлення сільськогосподарських культур / О. В. Харченко, В. І. Прасол, О. В. Ільченко. – Суми : Університетська книга, 2009. – 125 с.
3. Методичні рекомендації розрахунку потреби мінеральних добрив на прогнозований валовий збір урожаю з коригуванням його на фактичні погоднокліматичні умови поточного року / за ред. С. А. Балюка та М. В. Лісового. – Х., 2013. – 35 с.
4. Методологічні аспекти еколого-економічного обґрунтування рівнів урожайності сільськогосподарських культур до проектів землеустрою / за ред. О. В. Харченка. – Суми : Університетська книга, 2013. – 61 с.

Наукове видання

Харченко Олег Васильович
Прасол Володимир Іванович
Захарченко Еліна Анатоліївна та ін.

**До проблеми аналітичної оцінки ефективності мінеральних добрив
та екологічних обмежень їх норми**

Дизайн обкладинки і макет В. Б. Гайдабрус
Комп'ютерна верстка В.Б. Гайдабрус, А.О. Литвиненко

Підписано до друку 11.03.2016 р.
Формат 60x84 $\frac{1}{16}$. Папір офсетний
Друк офсетний. Ум. друк. арк. 1,8. Обл.-вид. арк. 1,4.
Тираж 300 прим. Замовлення № 81

Відділ реалізації

Тел./факс: (0542) 65-75-85
E-mail: info@book.sumy.ua

ТОВ «ВТД «Університетська книга»
40009, м. Суми, вул. Комсомольська, 27
E-mail: publish@book.sumy.ua www.book.sumy.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДІС№ 489 від 18.06.2001

Надруковано на обладнанні ВТД «Університетська книга»
вул. Комсомольська, 27, м. Суми, 40009, Україна
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 489 від 18.06.2001