

УДК 631.811:633.1+34

Винесення основних елементів живлення з ґрунту культурами польової сівозміни за різного удобрення

Г.М. Господаренко*, О.Д. Черно, А.Т. Мартинюк, В.П. Бойко

Уманський національний університет садівництва, Умань, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
<p>Отримано 22.12.2020 Отримано після доопрацювання 06.05.2021 Затверджено до видання 07.06.2021 Доступно онлайн 01.07.2021</p> <p><i>Ключові слова:</i></p> <p>кукурудза; основні елементи живлення; пшениця озима; соя; удобрення; ячмінь ярий</p>	<p>Досліджували вплив застосування різних доз і поєднань мінеральних добрив у польовій сівозміні в умовах стаціонарного польового дослідження на вміст основних елементів живлення в рослинах, господарське та відносно їх винесення пшеницею озимою, кукурудзою, ячменем ярим і соєю. Ґрунт – чорнозем опідзолений (Luvis Chernic Phaeozem) важкосуглинковий. Схема дослідження включає 11 варіантів комбінацій та окремого внесення мінеральних добрив і варіант без удобрення. Встановлено, що рівень вмісту азоту легкогідролізованих сполук у ґрунті істотно впливає на вміст його в зерні ячменю ярого, кукурудзи, сої ($R^2 = 0,92-0,93$), менше – пшениці озимої ($R^2 = 0,63$). Вміст рухомих фосфатів у ґрунті має практично однаковий вплив на вміст фосфору в основній і нетоварній частині врожаю незалежно від культури ($R^2 = 0,39-0,70$). Найслабший зв'язок між вмістом рухомих сполук у ґрунті та в урожаї констатовано для калію, проте в насінні сої і соломі ячменю ярого та сої він чітко простежувався ($R^2 = 0,53-0,68$). У господарському вилученні елементів живлення з урожаєм зерна і насіння найбільшу частку становить азот (64,4–149,9 кг/га), потім – фосфор – 21,1–51,4 кг P_2O_5/га залежно від культури. На формування одиниці врожаю (товарної і відповідної кількості нетоварної частини) культури засвоюють елементи живлення у такому співвідношенні N : P_2O_5 : K_2O: пшениця озима – 1 : 0,4 : 0,7; кукурудза – 1 : 0,3 : 0,8; ячмінь ярий – 1 : 0,4 : 0,7; соя – 1 : 0,4 : 0,4. З нетоварною частиною врожаю у ґрунт повертається (залежно від варіанту дослідження) азоту, зі стебелінням кукурудзи – 28–36 %, фосфору, з соломкою сої – 47–54 % і калію, з соломкою пшениці озимої і стебелінням кукурудзи – 74–80 % від господарського винесення.</p>

* E-mail: hospodarenko@gmail.com

Форма цитування: Господаренко Г.М., Черно О.Д., Мартинюк А.Т., Бойко В.П. Винесення основних елементів живлення з ґрунту культурами польової сівозміни за різного удобрення. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 2021. Вип. 91. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2021. С. 31-40. <https://doi.org/10.31073/acss91-04>.

1. Вступ

Високу продуктивність сільськогосподарських культур можна сформулювати лише за оптимального забезпечення елементами живлення. Мінеральне живлення рослин, поряд з їх біологічними особливостями і забезпеченням продуктами фотосинтезу, залежить від інтенсивності розвитку кореневої системи та її виділень, структури і вологості ґрунту, реакції ґрунтового середовища, вмісту та співвідношення поживних речовин, активності ґрунтової біоти тощо [1, 2, 3]. Елементний склад рослин найбільше залежить від хімічного складу земної кори [4]. Рослини добре реагують на підвищення вмісту рухомих сполук елементів живлення у ґрунті, а тому їх вміст у тканинах змінюється під впливом удобрення [5–8]. Отже, виникає необхідність уточнення витрат елементів живлення сільськогосподарськими культурами на формування врожаю в конкретних умовах вирощування.

Реалізувати потенційну продуктивність сільськогосподарських культур слід не за допомогою високих доз добрив, а оптимізацією всіх властивостей і життєвих процесів у ґрунті, що забезпечують відновлення його родючості, створення поживного, водного, повітряного режимів відповідно до біологічних потреб рослин і оптимального рівня біологічної активності ґрунту за відсутності негативного зсуву мікробіоценозів [1, 9, 11]. Дози мінеральних добрив повинні відповідати збалансованому живленню рослин всіма біогенними елементами з урахуванням екологічних наслідків їх застосування. Оптимізація доз добрив під окремі культури у спеціалізованих сівозмінах вимагає подальшого вдосконалення методів ґрунтової і комплексної діагностики потреби культур в окремих елементах. Всі ці питання потребують подальшого розширення та поглиблення комплексних досліджень, особливо в стаціонарних агрохімічних дослідках [12].

У довідниках і спеціальних виданнях є дані про витрати поживних речовин на формування одиниці товарної і відповідної кількості нетоварної продукції, за якими можна визначити і загальну потребу культури в елементах живлення для формування запланованого врожаю. Проте відносно винесення елементів живлення, навіть однією культурою, істотно змінюється залежно від ґрунтово-кліматичних умов, величини урожаю, пропорцією в урожаї між товарною і нетоварною продукцією, якості врожаю та сортових

або гібридних особливостей культури [13]. Тому, на нашу думку, дані про витрати елементів живлення на формування одиниці товарної і нетоварної продукції слід включати до складу обов'язкових показників характеристики районованих сортів і гібридів усіх культур [1]. Це допоможе розрахувати оптимальні дози добрив і баланс елементів живлення у ґрунті.

Мета дослідження – уточнити рівні вмісту основних елементів живлення в рослинах пшениці озимої, кукурудзи, ячменю ярого та сої, що вирощуються в сівозміні з різними дозами і поєднаннями мінеральних добрив в умовах стаціонарного польового дослідження на чорноземі опідзоленому у Правобережному Лісостепу України, і кількісного засвоєння їх на формування одиниці врожаю.

2. Об'єкти і методи досліджень

Дослідження проведено в умовах стаціонарного польового дослідження [14], закладеного у 2011 році на дослідному полі Уманського національного університету садівництва (Черкаська область) у Правобережному Лісостепу України з географічними координатами за Гринвічем 48° 46' північної широти і 30° 14' східної довготи.

Дослід одночасно розгорнуто на чотирьох полях, що дає змогу щорічно отримувати дані врожайності всіх культур 4-пільної польової сівозміни (пшениця озима, кукурудза, ячмінь ярий, соя). Повторення дослідження триразове. Загальна площа дослідної ділянки 110 м², облікова – 72 м². Фосфорні (суперфосфат гранульований) і калійні (калій хлористий) добрива вносили під зяблевий обробіток ґрунту, азотні (аміачна селітра) – під передпосівну культивування та в підживлення пшениці озимої.

Ґрунт дослідної ділянки – чорнозем опідзолений (Luvic Chernic Phaeozem) важкосуглинковий на лесі з умістом гумусу 3,8 %, рН_{KCl} – 5,7.

Набір варіантів дослідження (دوزи і комбінації мінеральних добрив) представлено в табл. 1. Розміщення варіантів у досліді послідовне. Варіант N₁₁₀P₆₀K₈₀ визначено виробничим контролем.

Відбирання проб ґрунту і підготовку їх до аналізування проводили згідно з вимогами ДСТУ 4287:2004 і ДСТУ ISO 11464:2007. У ґрунтових зразках визначали вміст азоту легкогідролізованих сполук за методом Корнфілда згідно з ДСТУ 7863:2015; рухомі сполуки фосфору та калію – за модифікованим методом Чирикова згідно з ДСТУ 4115-2002.

Облік маси товарної частини врожаю проводили поділянково прямим комбайнуванням, а нетоварної – розрахунково за співвідношенням з товарною продукцією в пробах. Нетоварну частину врожаю культур сівозміни (солома, стебелиння) залишали на полі для заробляння у ґрунт.

Вміст азоту, фосфору та калію в рослинних зразках (товарної і нетоварної частини врожаю) визначали після мокрого озолення [13].

У статті представлено середні дані за результатами досліджень у 2016–2018 рр.

Статистичну обробку даних проводили методом дисперсійного аналізу, використовуючи комп'ютерні технології (ПК «Agrostat», MS Office Excel). Для якісного оцінювання тісноти зв'язку між досліджуваними чинниками використовували коефіцієнт кореляції за шкалою R. E. Chaddock [16]: 0,1–0,3 – незначний; 0,3–0,5 – помірний; 0,5–0,7 – істотний; 0,7–0,9 – високий; 0,9–0,99 – дуже високий; 1 – функціональний. Коефіцієнт стабільності (для виявлення стабільності параметрів показника відносного винесення елементів живлення сільськогосподарськими культурами з одиницею товарної, нетоварної частини та урожаєм в цілому залежно від удобрення) розраховували за такою формулою: $K_{\text{стаб}} = V_{\text{сер}} : (\text{max} - \text{min})$, де: $V_{\text{сер}}$ – середнє значення досліджуваного показника; max і min – максимальне і мінімальне значення показника у варіантах дослідження.

Для оцінювання винесення елементів живлення урожаєм культур із ґрунту використано такі поняття: «господарське винесення» – частина біологічного вилучення елементів живлення продукцією (зерном, соломою, стебелинням), кг/га; «відносне винесення» – витрати елементів живлення на формування одиниці товарної частини урожаю (зерно, насіння) і відповідну кількість нетоварної (солома, стебелиння), кг/т; «коефіцієнт повернення» – частка елементів живлення від господарського їх винесення (%), що повертається у ґрунт у разі залишення на полі нетоварної частини урожаю (соломи, стебелиння).

3. Аналіз результатів досліджень

Встановлено, що чорнозем опідзолений має низький вміст азоту лужногідролізованих сполук навіть за внесення мінеральних добрив (N₁₁₀P₆₀K₈₀) на тлі

залишеної на добриво нетоварної частини врожаю упродовж двох ротацій 4-пільної сівозміни. Це свідчить про важливість контролю азотної складової у системі удобрення культур. Застосування фосфорних добрив у дозі 30–60 кг д. р. на 1 га площі сівозміни дозволяє підтримувати вміст рухомих фосфатів у ґрунті на вихідному рівні, тоді як у варіанті N₁₁₀K₈₀ середньорічне зниження їх вмісту в шарі ґрунту 0–20 см становить 2,5 мг/кг ґрунту (Табл. 1).

Таблиця 1

*Вміст рухомих сполук елементів живлення в ґрунті
(середні значення по чотирьох полях сівозміни
в шарі 0–20 см за 2016-2018 рр.)*

Варіант досліджу	Вміст у ґрунті, мг/кг		
	N _{легк}	P ₂ O ₅	K ₂ O
Перед закладанням досліджу (2011 р.)	105	106	132
Без добрив (контроль)	98	92	124
N ₅₅	102	92	118
N ₁₁₀	109	93	117
P ₆₀ K ₈₀	106	119	143
N ₁₁₀ K ₈₀	111	88	143
N ₁₁₀ P ₆₀	116	113	114
N ₅₅ P ₃₀ K ₄₀	108	106	137
N ₁₁₀ P ₆₀ K ₈₀	119	112	128
N ₁₁₀ P ₃₀ K ₄₀	116	106	128
N ₁₁₀ P ₆₀ K ₄₀	118	113	125
N ₁₁₀ P ₃₀ K ₈₀	113	104	126

Чорнозем опідзолений має значні запаси калію, але на ділянках без внесення калійних добрив відбулося істотне зниження вмісту його рухомих сполук – зі 132 до 124 мг/кг, незважаючи на значне повернення калію у ґрунт з нетоварною частиною врожаю. Це свідчить про недоцільність повної відмови від калійних добрив.

Дослідженнями встановлено, що систематичне застосування різних доз і поєднань мінеральних добрив у польовій сівозміні сприяє підвищенню її продуктивності та збільшує ємність балансу елементів живлення (Рис.).

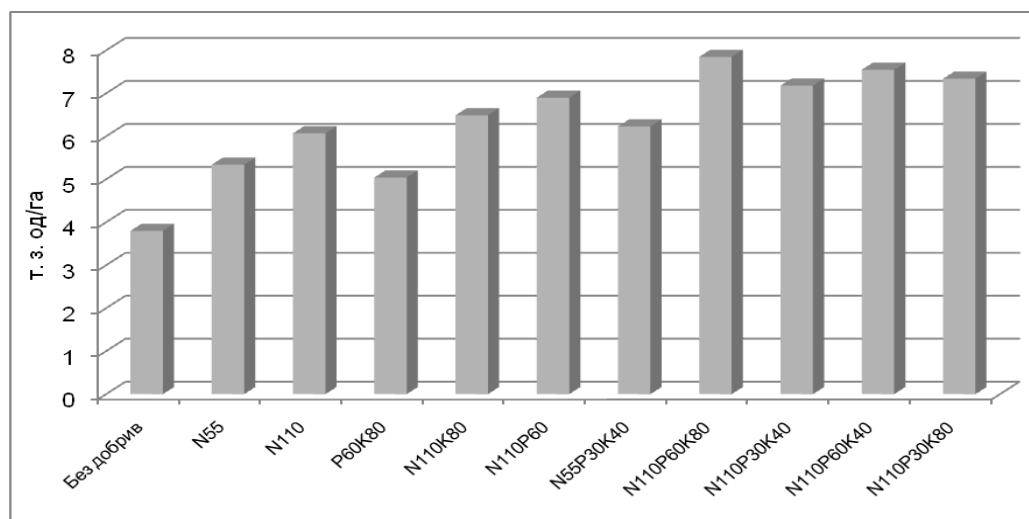


Рис. Продуктивність польової сівозміни за різних доз і поєднань добрив (2011–2018 рр.), т з. од/га основної продукції

За тривалого застосування добрив у сівозміні змінюється вміст основних елементів живлення в основній і нетоварній частині врожаю польових культур (Табл. 2). Вважається [17, 18], що рослини регулюють вміст у власному організмі фосфору ліпше,

ніж інших елементів живлення, і не можуть повністю припинити його засвоєння, навіть за надвисокої насиченості ним ґрунту.

Щодо вмісту калію в рослинах, то вчені [19, 20] не мають одностайної думки про вплив ґрунтового-кліматичних умов, рівня застосування добрив та інших чинників. Так, у вегетаційному досліді з 14-ма культурами і концентрацією калію від 0,1 мкмоль до 1 ммоль поживного розчину, лише за вмісту понад 95 мкмоль/л простежувалось незначне підвищення його вмісту в органах рослин [22].

Таблиця 2

Вміст основних елементів живлення в урожаї культур залежно від доз і співвідношень добрив у польовій сівозміні (середні значення за 2016–2018 рр.)

Варіант досліджу	Вміст елементів живлення в урожаї культур, % на суху речовину											
	Пшениця озима			Кукурудза			Ячмінь ярий			Соя		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
<i>У товарній частині врожаю</i>												
Без добрив (контроль)	1,61	0,72	0,49	1,47	0,56	0,40	1,85	0,68	0,54	5,53	1,08	1,27
N ₅₅	2,17	0,74	0,49	1,55	0,57	0,39	1,87	0,69	0,54	5,75	1,10	1,29
N ₁₁₀	2,26	0,75	0,48	1,58	0,58	0,40	1,89	0,70	0,56	5,87	1,12	1,31
P ₆₀ K ₈₀	1,82	0,80	0,52	1,52	0,60	0,41	1,87	0,71	0,57	5,56	1,36	1,38
N ₁₁₀ K ₈₀	2,24	0,76	0,53	1,58	0,58	0,42	1,91	0,69	0,60	6,06	1,10	1,39
N ₁₁₀ P ₆₀	2,31	0,86	0,56	1,63	0,64	0,40	1,93	0,75	0,60	6,19	1,60	1,29
N ₅₅ P ₃₀ K ₄₀	2,05	0,81	0,54	1,58	0,62	0,41	1,89	0,70	0,60	5,86	1,36	1,39
N ₁₁₀ P ₆₀ K ₈₀	2,37	0,86	0,56	1,71	0,64	0,43	1,96	0,76	0,61	6,24	1,62	1,46
N ₁₁₀ P ₃₀ K ₄₀	2,36	0,82	0,53	1,68	0,62	0,41	1,94	0,71	0,60	6,17	1,38	1,40
N ₁₁₀ P ₆₀ K ₄₀	2,40	0,86	0,54	1,70	0,64	0,43	1,96	0,75	0,61	6,22	1,58	1,42
N ₁₁₀ P ₃₀ K ₈₀	2,36	0,82	0,55	1,70	0,62	0,42	1,94	0,72	0,60	6,03	1,40	1,41
<i>У нетоварній частині врожаю</i>												
Без добрив (контроль)	0,46	0,24	0,82	0,48	0,15	1,24	0,32	0,19	0,91	0,32	1,08	1,19
N ₅₅	0,48	0,24	0,83	0,59	0,16	1,23	0,40	0,20	0,93	0,37	1,09	1,20
N ₁₁₀	0,50	0,24	0,84	0,70	0,16	1,23	0,48	0,22	0,95	0,41	1,11	1,22
P ₆₀ K ₈₀	0,45	0,25	0,86	0,51	0,17	1,29	0,36	0,22	1,02	0,32	1,16	1,27
N ₁₁₀ K ₈₀	0,50	0,24	0,96	0,71	0,16	1,32	0,49	0,21	1,08	0,41	1,10	1,28
N ₁₁₀ P ₆₀	0,51	0,27	1,00	0,76	0,19	1,35	0,52	0,25	0,99	0,42	1,23	1,19
N ₅₅ P ₃₀ K ₄₀	0,51	0,26	0,93	0,63	0,17	1,33	0,44	0,22	1,01	0,38	1,16	1,25
N ₁₁₀ P ₆₀ K ₈₀	0,52	0,27	1,02	0,78	0,20	1,38	0,54	0,26	1,12	0,44	1,23	1,31
N ₁₁₀ P ₃₀ K ₄₀	0,51	0,26	0,94	0,74	0,18	1,34	0,51	0,25	1,07	0,42	1,18	1,26
N ₁₁₀ P ₆₀ K ₄₀	0,52	0,27	0,96	0,75	0,20	1,36	0,54	0,26	1,08	0,44	1,20	1,27
N ₁₁₀ P ₃₀ K ₈₀	0,51	0,26	1,00	0,73	0,18	1,37	0,52	0,25	1,11	0,42	1,20	1,30

Розрахунки показали, що вміст азоту легкогідролізованих сполук у ґрунті істотно впливає на його вміст у зерні ячменю ярого, кукурудзи та насінні сої ($R^2 = 0,92-0,93$), і менше впливає на вміст у зерні пшениці озимої ($R^2 = 0,63$) (Табл. 3).

Таблиця 3

Коефіцієнт детермінації (R^2) залежності вмісту основних елементів живлення в урожаї сільськогосподарських культур від вмісту їх рухомих сполук у ґрунті

Культура	Коефіцієнт детермінації (R^2)					
	товарна частина			нетоварна частина		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Пшениця озима	0,63	0,70	0,21	0,66	0,67	0,15
Кукурудза	0,93	0,66	0,46	0,89	0,56	0,28
Ячмінь ярий	0,95	0,49	0,30	0,86	0,39	0,53
Соя	0,92	0,80	0,63	0,82	0,69	0,68

Вміст рухомих сполук фосфору у ґрунті практично однаково впливає на його вміст в основній і нетоварній частинах урожаю незалежно від культури ($R^2 = 0,39-0,70$). Найслабший зв'язок між вмістом рухомих сполук у ґрунті та в урожаї виявлено в калію, проте в насінні сої і солоній ячменю ярого сої зв'язок чітко простежувався ($R^2 = 0,53-0,68$). Це вказує на те, що змінюючи поживний режим ґрунту, можна цілеспрямовано регулювати хімічний склад урожаю.

Параметри вмісту основних елементів живлення в складових урожаю та його кількість дозволяють розрахувати господарське їх вилучення з ґрунту. Цей показник також залежить від структури урожаю – співвідношення між основною і нетоварною його частинами. Незважаючи на те, що польові культури зазвичай є однорічними рослинами, розмір господарського винесення елементів живлення є меншим за їх біологічну потребу впродовж вегетації.

Розрахунки показали, що в основній і нетоварній частинах урожаю культур сівозміни елементи живлення містяться не лише в різній кількості, але і в різному поєднанні (Табл. 4).

Таблиця 4

Господарське винесення основних елементів живлення культурами за різних доз і поєднань добрив у польовій сівозміні (середні значення за 2016–2018 рр.)

Елемент живлення	Винесено елементів живлення з урожаєм культур на варіантах удобрення, кг/га										
	Без добрив	N ₅₅	N ₁₁₀	P ₆₀ K ₈₀	N ₁₁₀ K ₈₀	N ₁₁₀ P ₆₀	N ₅₅ P ₃₀ K ₄₀	N ₁₁₀ P ₆₀ K ₈₀	N ₁₁₀ P ₃₀ K ₄₀	N ₁₁₀ P ₆₀ K ₄₀	N ₁₁₀ P ₃₀ K ₈₀
<i>Пшениця озима</i>											
N	<u>49</u>	<u>93</u>	<u>109</u>	<u>73</u>	<u>120</u>	<u>131</u>	<u>102</u>	<u>148</u>	<u>137</u>	<u>145</u>	<u>140</u>
	24	35	41	31	46	49	43	55	50	53	51
P ₂ O ₅	<u>22</u>	<u>32</u>	<u>36</u>	<u>32</u>	<u>41</u>	<u>49</u>	<u>40</u>	<u>54</u>	<u>48</u>	<u>52</u>	<u>49</u>
	13	17	20	17	22	26	22	29	26	28	26
K ₂ O	<u>15</u>	<u>21</u>	<u>24</u>	<u>21</u>	<u>29</u>	<u>32</u>	<u>27</u>	<u>35</u>	<u>31</u>	<u>33</u>	<u>33</u>
	43	60	69	59	88	97	78	108	93	99	101
<i>Кукурудза</i>											
N	<u>59</u>	<u>97</u>	<u>122</u>	<u>90</u>	<u>133</u>	<u>148</u>	<u>135</u>	<u>192</u>	<u>164</u>	<u>179</u>	<u>170</u>
	23	45	65	37	72	83	65	105	87	95	88
P ₂ O ₅	<u>23</u>	<u>36</u>	<u>45</u>	<u>36</u>	<u>49</u>	<u>58</u>	<u>53</u>	<u>72</u>	<u>60</u>	<u>67</u>	<u>62</u>
	7	12	15	12	16	21	18	27	21	25	22
K ₂ O	<u>16</u>	<u>24</u>	<u>31</u>	<u>24</u>	<u>35</u>	<u>36</u>	<u>35</u>	<u>48</u>	<u>40</u>	<u>45</u>	<u>42</u>
	61	93	114	92	134	148	137	187	158	173	165
<i>Ячмінь ярий</i>											
N	<u>54</u>	<u>63</u>	<u>69</u>	<u>65</u>	<u>76</u>	<u>86</u>	<u>80</u>	<u>91</u>	<u>86</u>	<u>95</u>	<u>88</u>
	11	16	21	15	23	28	22	30	27	31	28
P ₂ O ₅	<u>20</u>	<u>23</u>	<u>26</u>	<u>25</u>	<u>27</u>	<u>33</u>	<u>30</u>	<u>35</u>	<u>31</u>	<u>36</u>	<u>33</u>
	7	8	10	9	10	13	11	15	13	15	14
K ₂ O	<u>16</u>	<u>18</u>	<u>21</u>	<u>20</u>	<u>24</u>	<u>26</u>	<u>25</u>	<u>28</u>	<u>27</u>	<u>30</u>	<u>27</u>
	32	38	42	43	52	53	54	63	57	63	60
<i>Соя</i>											
N	<u>23</u>	<u>45</u>	<u>65</u>	<u>37</u>	<u>72</u>	<u>83</u>	<u>65</u>	<u>105</u>	<u>87</u>	<u>95</u>	<u>88</u>
	6	8	10	7	11	12	10	14	12	13	12
P ₂ O ₅	<u>16</u>	<u>20</u>	<u>23</u>	<u>27</u>	<u>24</u>	<u>38</u>	<u>29</u>	<u>43</u>	<u>33</u>	<u>41</u>	<u>34</u>
	19	24	27	27	29	34	29	38	33	36	34
K ₂ O	<u>19</u>	<u>24</u>	<u>27</u>	<u>27</u>	<u>31</u>	<u>31</u>	<u>30</u>	<u>39</u>	<u>34</u>	<u>37</u>	<u>34</u>
	21	26	29	29	33	33	32	41	36	39	37

Примітка. Над рискою – винесено товарною частиною врожаю, під рискою – нетоварною

3 основною продукцією – товарною частиною урожаю культури сівозміни найбільше виносять азоту, а найменше – калію, з нетоварною частиною врожаю калію виносять навіть більше, ніж азоту. Слід також зазначити, що з насінням і зерном виносять з ґрунту багато фосфору – 16–72 кг/га залежно від культури і варіанту удобрення. Так, у варіанті досліду N₁₁₀P₆₀K₈₀ найбільше фосфору виносили пшениця озима і кукурудза – відповідно 54 і 72 кг/га і значно менше – ячмінь ярий і соя.

Нині в господарствах рослинницького напрямку гостро стоїть проблема органічних добрив. Тому залишення на полях нетоварної частини врожаю є одним із джерел повернення у ґрунт органічного вуглецю, а також елементів живлення. За даними І.І. Клименка [23], заорювання 4 т/га соломи у ланці сівозміни «соя–овес–кукурудза» дозволяє компенсувати витрати елементів живлення на формування урожаїв цих культур: азоту – на 43 %, фосфору – 35, калію – 90 % та підвищити врожайність культур на 15 %.

Проблема азоту в землеробстві є однією з найважливіших в агрохімічній науці, а забезпеченість ним рослин – одним із визначальних чинників у формуванні врожаїв. Значущість азоту посилюється ще й тому, що потреба у ньому рослин є значно більшою, ніж в інших елементах, а необоротні втрати його мінеральних сполук із ґрунту через мивання та біологічне відновлення бувають значними [24]. Тому питання підвищення родючості ґрунтів насамперед пов'язують з їх здатністю забезпечувати рослини азотом.

Як видно з даних табл. 5, зі стебелинням і соломою у ґрунт може повертатися значна частка винесених урожаєм елементів живлення.

Таблиця 5

Коефіцієнт повернення основних елементів живлення у ґрунт з нетоварною частиною врожаю культур сівозміни (середні значення за 2016-2018 рр.)

Культура	Елемент живлення, % від господарського винесення		
	N	P	K
Пшениця озима	0,27–0,33	0,35–0,36	0,74–0,76
Кукурудза	0,28–0,36	0,24–0,27	0,67–0,69
Ячмінь ярий	0,17–0,24	0,25–0,30	0,74–0,76
Соя	0,06–0,08	0,47–0,54	0,51–0,52

З практичного погляду для розрахунку доз добрив важливо знати, яка частка елементів живлення, що були використані на формування господарського врожаю, повертається в ґрунт у разі залишення на полі нетоварної частини продукції. Розрахунки показали, що за цим показником культури сівозміни значно відрізнялися. Так, з нетоварною частиною врожаю у ґрунт від господарського винесення повертається азоту зі стебелинням кукурудзи – 28–36 %, фосфору з соломою сої – 47–54 % і калію з соломою пшениці озимої і стебелинням кукурудзи – 74–80 % залежно від варіанту дослідів. З нетоварною частиною продукції пшениці озимої, кукурудзи та ячменю ярого у ґрунт повертається, на різних варіантах дослідів, від 17 до 36 % азоту, винесеного рослинами. При цьому слід зазначити, що коефіцієнт повернення зростає з поліпшенням умов мінерального живлення рослин, особливо азотного. Найменше азоту (6–8 % від господарського винесення) у ґрунт повертається з соломою сої, але при цьому, порівняно з іншими культурами сівозміни, найбільше повертається фосфору. Коефіцієнт повернення калію з нетоварною частиною врожаю культур сівозміни є найвищим і становить 0,50–0,80. Відомо, що калій в рослинах не утворює складних органічних сполук, а тому після надходження у ґрунт буде легкодоступним наступним культурам сівозміни. Це потрібно врахувати розробляючи системи застосування калійних добрив.

Для розрахунку доз добрив користуються показником господарського винесення елементів живлення запланованим урожаєм, хоч це і не відповідає біологічним вимогам культур для його формування. При цьому вважається, що частину елементів живлення рослини візьмуть з ґрунту, а з метою оптимізації їх живлення та відновлення ґрунтової родючості потрібно повернути лише ту кількість, яку витрачено на формування основного і нетоварного врожаю [1].

Для практичних розрахунків зазвичай використовують показники відносного винесення елементів живлення на одиницю основної і відповідну кількість нетоварної частини врожаю. Ці показники відносно стабільні, що пояснюється законами постійності хімічного складу рослин і їх вибірковою здатністю поглинати поживні речовини [25, 26]. Показники відносного винесення елементів живлення на одиницю врожаю необхідно постійно уточнювати з врахуванням ґрунтово-кліматичних умов регіону, сортів і гібридів культури, оскільки вони відрізняються за генотипом, хімічним складом, відношенням товарного врожаю до відповідної кількості нетоварного. Так, за узагальненими даними географічної мережі дослідів [27] вміст азоту, фосфору і калію на неудобрених і удобрених ділянках відрізнявся відповідно на 14; 3 і 13 %, а на неудобрених ділянках між зонами дерново-підзолистих, каштанових і чорноземних ґрунтів відповідно на 37; 57 і 80 %. При цьому витрати поживних речовин на одиницю врожаю за високих доз добрив збільшуються. За оптимальні потрібно брати параметри вмісту та відносного їх винесення,

що відповідають максимальному врожаю високої якості [19]. Ці показники також важливі для розрахунку балансу елементів живлення за умови різного використання нетоварної частини врожаю (на добриво, корм чи підстилку для худоби, тощо).

Дані табл. 6 показують, що параметри відносного винесення елементів живлення більше залежать від культур, ніж від системи удобрення. Найбільше азоту з 1 т насіння виносить соя – 48,7–54,9 кг залежно від удобрення, а найменше – кукурудза – 12,6–14,6 кг. Винесення азоту зерном пшениці озимої залежно від удобрення змінюється найістотніше – від 13,8 до 20,4 кг/т, що пояснюється значними його витратами на формування білка за поліпшення умов мінерального живлення.

Таблиця 6

Винесення основних елементів живлення з ґрунту культурами сівозміни залежно від доз і поєднання добрив (2016–2018 рр.)

Варіант досліджу	Винесено елементів живлення із ґрунту з урожаєм, кг/т					
	товарна частина			нетоварна частина		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
<i>Пшениця озима</i>						
Без добрив (контроль)	13,8	6,2	4,2	3,95	2,06	7,05
N ₅₅	18,6	6,4	4,2	4,13	2,06	7,14
N ₁₁₀	19,4	6,4	4,1	4,30	2,06	7,22
P ₆₀ K ₈₀	15,6	6,9	4,5	3,87	2,15	7,40
N ₁₁₀ K ₈₀	19,3	6,5	4,6	4,30	2,06	8,26
N ₁₁₀ P ₆₀	19,9	7,4	4,8	4,39	2,32	8,60
N ₅₅ P ₃₀ K ₄₀	17,6	7,0	4,6	4,39	2,24	8,00
N ₁₁₀ P ₆₀ K ₈₀	20,4	7,4	4,8	4,47	2,32	8,77
N ₁₁₀ P ₃₀ K ₄₀	20,3	7,0	4,5	4,39	2,24	8,08
N ₁₁₀ P ₆₀ K ₄₀	20,6	7,4	4,6	4,47	2,32	8,26
N ₁₁₀ P ₃₀ K ₈₀	13,8	6,2	4,2	4,39	2,24	8,60
<i>Кукурудза</i>						
Без добрив (контроль)	12,6	4,8	3,4	4,13	1,29	10,7
N ₅₅	13,2	4,9	3,3	5,07	1,38	10,6
N ₁₁₀	13,5	5,0	3,4	6,02	1,38	10,6
P ₆₀ K ₈₀	13,0	5,1	3,5	4,39	1,46	11,1
N ₁₁₀ K ₈₀	13,5	4,9	3,6	6,11	1,38	11,3
N ₁₁₀ P ₆₀	13,9	5,5	3,4	6,54	1,63	11,6
N ₅₅ P ₃₀ K ₄₀	13,5	5,3	3,5	5,42	1,46	11,4
N ₁₁₀ P ₆₀ K ₈₀	14,6	5,5	3,7	6,71	1,72	11,9
N ₁₁₀ P ₃₀ K ₄₀	14,4	5,3	3,5	6,36	1,55	11,5
N ₁₁₀ P ₆₀ K ₄₀	14,5	5,5	3,7	6,45	1,72	11,7
N ₁₁₀ P ₃₀ K ₈₀	14,5	5,3	3,6	6,28	1,55	11,8
<i>Ячмінь ярий</i>						
Без добрив (контроль)	15,9	5,8	4,6	2,75	1,63	7,83
N ₅₅	16,1	5,9	4,6	3,44	1,72	8,00
N ₁₁₀	16,2	6,0	4,8	4,13	1,89	8,17
P ₆₀ K ₈₀	16,1	6,1	4,9	3,10	1,89	8,77
N ₁₁₀ K ₈₀	16,4	5,9	5,2	4,21	1,81	9,29
N ₁₁₀ P ₆₀	16,6	6,4	5,2	4,47	2,15	8,51
N ₅₅ P ₃₀ K ₄₀	16,2	6,0	5,2	3,78	1,89	8,69
N ₁₁₀ P ₆₀ K ₈₀	16,8	6,5	5,2	4,64	2,24	9,63
N ₁₁₀ P ₃₀ K ₄₀	16,7	6,1	5,2	4,39	2,15	9,20
N ₁₁₀ P ₆₀ K ₄₀	16,8	6,4	5,2	4,64	2,24	9,29
N ₁₁₀ P ₃₀ K ₈₀	16,7	6,2	5,2	4,47	2,15	9,55
<i>Соя</i>						
Без добрив (контроль)	48,7	9,5	11,2	2,75	9,29	10,2
N ₅₅	50,6	9,7	11,3	3,18	9,37	10,3
N ₁₁₀	51,6	9,8	11,5	3,53	9,55	10,5
P ₆₀ K ₈₀	48,9	12,0	12,1	2,75	9,98	10,9
N ₁₁₀ K ₈₀	53,3	9,7	12,2	3,53	9,46	11,0
N ₁₁₀ P ₆₀	54,5	14,1	11,3	3,61	10,6	10,2
N ₅₅ P ₃₀ K ₄₀	51,6	11,9	12,2	3,27	10,0	10,7
N ₁₁₀ P ₆₀ K ₈₀	54,9	14,2	12,8	3,78	10,6	11,3
N ₁₁₀ P ₃₀ K ₄₀	54,3	12,1	12,3	3,61	10,1	10,8
N ₁₁₀ P ₆₀ K ₄₀	54,7	13,9	12,5	3,78	10,3	10,9
N ₁₁₀ P ₃₀ K ₈₀	53,0	12,3	12,4	3,61	10,3	11,2

Маса фосфору і калію, винесеного з 1 тонною зерна пшениці озимої, ячменю ярого і кукурудзи, майже не залежить від рівня удобрення. Порівняно з ними, соя виносить більше фосфору і калію, а винесення фосфору, крім того, ще й зростає за поліпшення умов фосфорного живлення рослин. З одиницею нетоварної частини врожаю, порівняно з товарною, сільськогосподарські культури виносять із ґрунту менше азоту й фосфору, але більше калію.

Як уже зазначалось у практиці розрахунку доз добрив, особливо за умови видалення нетоварної частини врожаю з поля, використовується показник винесення елементів живлення на одиницю основної і відповідну кількість нетоварної продукції. Винесення основних елементів живлення з 1 тонною зерна та відповідною кількістю соломи не є постійною величиною, а змінюється в широких межах залежно від рівня врожайності, доз добрив і ґрунтово-кліматичних умов.

Як видно з даних табл. 6, найбільш варіативними є параметри цього показника відносно азоту, особливо для культур, що здатні під впливом поліпшення умов мінерального живлення збільшувати врожай нетоварної продукції. Також необхідно зазначити, що з усіх культур сівозміни найбільше відносно винесення азоту, фосфору і калію на одиницю врожаю має соя.

Отже, поряд з родовими і видовими особливостями культур сівозміни, системи удобрення суттєво впливають на винесення елементів живлення врожаєм і можливе повернення їх у ґрунт з нетоварною продукцією.

У табл. 7 наведено узагальнені дані витрат елементів живлення на формування одиниці врожаю сільськогосподарськими культурами. З 1 тонною насіння соя виносить в середньому 52,4 кг азоту, тоді як пшениця озима, ячмінь ярий і кукурудза – лише 13,7–18,7 кг. Винесення азоту нетоварною продукцією є більш стабільним – 3,4–5,8 кг/т залежно від культури. Для формування 1 т основної і відповідної кількості нетоварної продукції пшениця озима, ячмінь ярий і кукурудза витрачають 20,6–26,0 кг азоту, тоді як соя – 56,4 кг. Витрати фосфору на формування врожаю найбільші у сої – 10,0 кг/т, що пояснюється високим його вмістом у соломі. Найменше фосфору на формування врожаю зерна і відповідної кількості стебеління витрачає кукурудза – 7,0 кг/га.

Таблиця 7

Відносне винесення основних елементів живлення врожаєм сільськогосподарських культур з ґрунту за різних доз і поєднань добрив у польовій сівозміні, 2016–2018 рр.

Культура	Винесено елементів живлення із ґрунту з урожаєм, кг/т		
	товарна частина	нетоварна частина	урожай в цілому
<i>Азот (N)</i>			
Пшениця озима	<u>18,7</u>	<u>4,3</u>	<u>26,0</u>
	13,8–20,6	4,0–4,5	20,5–28,2
Кукурудза	<u>13,7</u>	<u>5,8</u>	<u>20,6</u>
	12,6–14,6	4,1–6,7	17,6–22,2
Ячмінь ярий	<u>16,4</u>	<u>4,0</u>	<u>21,2</u>
	15,9–16,8	2,8–4,6	19,2–22,4
Соя	<u>52,4</u>	<u>3,4</u>	<u>56,4</u>
	48,7–54,9	2,8–3,8	52,0–59,4
<i>Фосфор (P₂O₅)</i>			
Пшениця озима	<u>6,9</u>	<u>2,2</u>	<u>10,6</u>
	6,2–7,4	2,0–2,3	9,7–11,3
Кукурудза	<u>5,2</u>	<u>1,5</u>	<u>7,0</u>
	4,8–5,5	1,30–1,7	6,3–7,6
Ячмінь ярий	<u>6,1</u>	<u>2,0</u>	<u>8,5</u>
	5,8–6,5	1,6–2,2	7,8–9,2
Соя	<u>11,7</u>	<u>10,0</u>	<u>23,7</u>
	9,5–14,2	9,30–10,6	20,6–26,9
<i>Калій (K₂O)</i>			
Пшениця озима	<u>4,5</u>	<u>7,9</u>	<u>18,0</u>
	4,2–4,8	7,0–8,8	16,2–19,7
Кукурудза	<u>3,5</u>	<u>11,3</u>	<u>17,0</u>
	3,4–3,7	10,7–11,9	16,2–18,0
Ячмінь ярий	<u>5,0</u>	<u>8,8</u>	<u>15,6</u>
	4,6–5,2	7,8–9,6	14,0–16,8
Соя	<u>12,0</u>	<u>10,7</u>	<u>24,0</u>
	11,2–12,8	10,2–11,3	23,4–26,4

Примітка. Над рискою – середнє значення, під рискою – діапазон змін

Всі культури сівозміни, за винятком сої, на формування одиниці маси зерна витрачають менше калію, ніж на формування одиниці нетоварної продукції.

На формування одиниці врожаю (товарної і відповідну кількість нетоварної продукції) культури засвоюють елементи живлення (N : P₂O₅ : K₂O) у таких пропорціях: пшениця озима – 1 : 0,4 : 0,7; кукурудза – 1 : 0,3 : 0,8; ячмінь ярий – 1 : 0,4 : 0,7 і соя – 1 : 0,4 : 0,4.

Показник відносного винесення основних елементів живлення різних культур сівозміни оцінено за коефіцієнтами стабільності, які розраховано за середніми, максимальними і мінімальними значеннями показника (табл. 8). За стабільність вважали незалежність винесення рослинами елементів живлення одиницею врожаю від рівня удобрення. Неоднакова стабільність, пояснюється законами генетичної спадковості рослин. Так, найстабільнішим є вміст азоту в зерні ячменю ярого і соломі пшениці озимої, а фосфору в зерні ячменю ярого і соломі сої. Коефіцієнт стабільності калію залежно від продукції та культури змінювався в межах 4,4–11,6 і був найменшим у соломі пшениці озимої і ячменю ярого.

Таблиця 8

Коефіцієнт стабільності відносного винесення елементів живлення сільськогосподарськими культурами

Культура	Коефіцієнт стабільності відносного винесення елементів з урожаєм		
	товарна частина	нетоварна частина	урожай в цілому
<i>Азот</i>			
Пшениця озима	2,8	8,6	3,4
Кукурудза	6,9	2,2	4,5
Ячмінь ярий	18,2	2,2	6,6
Соя	8,5	3,4	7,6
<i>Фосфор</i>			
Пшениця озима	5,8	7,3	6,6
Кукурудза	7,4	3,8	5,4
Ячмінь ярий	8,7	3,3	6,0
Соя	2,5	7,7	3,8
<i>Калій</i>			
Пшениця озима	7,5	4,4	5,1
Кукурудза	11,6	9,4	9,4
Ячмінь ярий	8,3	4,9	5,6
Соя	7,5	9,7	8,0

4. Висновки

1. У господарському винесенні елементів живлення з урожаєм зерна і насіння найбільшу частку становить азот (64,4–149,9 кг/га), потім – фосфор – 21,1–51,4 кг P₂O₅/га залежно від культури сівозміни.

2. З нетоварною частиною врожаю у ґрунт повертається азоту зі стебелінням кукурудзи – 28–36 % від господарського винесення, фосфору з соломою сої – 47–54 % і калію з соломою пшениці озимої і стебелінням кукурудзи – 74–80 % залежно від варіанту досліду.

3. На формування одиниці врожаю основної і відповідної кількості нетоварної продукції пшениця озима та ячмінь ярий засвоюють N : P₂O₅ : K₂O у такому відношенні: 1 : 0,4 : 0,7, кукурудза – 1 : 0,3 : 0,8 і соя – 1 : 0,4 : 0,4.

Список використаних джерел

1. Господаренко Г.М. Агрохімія. Київ : ТОВ «СІК ГРУП УКРАЇНА», 2019. 560 с.
2. Geisseler D., Scow K.M. Long-term effects of mineral fertilizers on soil microorganisms – a review. *Soil Biology and Biochemistry*. 2014. 75. P. 54–63. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.03.023>
3. Господаренко Г.М., Прокопчук І.В., Бойко В.П. Засвоєння основних елементів живлення соєю з ґрунту й добрив. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 2020. Вип. 89. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". С. 63–70. <https://doi.org/10.31073/acss89-07>
4. Вибрані праці академіка В. І. Вернадського. Київ, 2011. Т. 1. Кн. 2. 584 с.
5. Ильин В.Б. Элементарный химический состав растений. Новосибирск : Наука, 1985. 129 с.
6. Діагностика стану хімічних елементів системи ґрунт–рослина. За ред. А.І. Фатєєва і В.Л. Самохвалової. Харків : КП «Міськдрук», 2012. 146 с.

7. Ольховский Г.Ф. Биологический вынос азота, фосфора и калия на разнородных фонах. *Агрохимия*. 1980. № 7. С.54–58.
8. Мірошніченко М.М., Звонар А.М., Панасенко С.В., Леонов О.Ю. Надходження елементів живлення до рослин пшениці озимої різних сортів у контрастні за погодними умовами роки. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 2020. Вип. 89. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". С. 51-62. <https://doi.org/10.31073/acss89-06>.
9. Ågren G.I., Weih M. Plant stoichiometry at different scales: element concentration patterns reflect environment more than genotype. *New Phytologist*. 2012. 194: P. 944-952. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04114.x>.
10. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. 3rd edition. Edited by P. Marschner. Amsterdam, Netherlands: Elsevier. Academic Press, 2012. 684 p.
11. Минеев В.Г., Ремпе Е.Х. Экологические последствия длительного применения повышенных и высоких доз минеральных удобрений. *Агрохимия*. 1991. №3. С. 35–48.
12. Господаренко Г.М., Черно О.Д., Чередник А.Ю. Формування родючості ґрунту за різних систем удобрення в польовій сівозміні. *Агрологія*. 2019. Т 2. №2. С. 79–85. <https://doi.org/10.32819/019011>.
13. Система удобрення сільськогосподарських культур у землеробстві початку ХХІ століття. / За ред. С. А. Балюка, М. М. Мірошніченка. Київ: Альфа-стевія, 2016. 400 с.
14. Станційарні польові досліди України. Київ: Аграрна наука, 2014. 146 с.
15. Рослини. Визначення загальних форм азоту, фосфору і калію в одній наважці рослинного матеріалу: МВВ 31–497058–019–2005. Методика визначення складу та властивостей ґрунтів. Харків: Типографія №13, 2005. Кн. 2. С. 189–208.
16. Chaddock R.E. Exercises in statistical methods. Houghton, 1952. 166 p.
17. Туева О.Ф. Фосфор в питании растений. Москва : Наука, 1966. 296 с.
18. Носко Б.С. Фосфор у ґрунтах і землеробстві України. Харків : ФОП «Бровін О. В.», 2017. 476 с.
19. Господаренко Г.М. Основні принципи побудови системи удобрення в польовій сівозміні. *Агрохімія і ґрунтознавство (спецвипуск)*. Кн. 3. Харків, 2002. С. 200–203.
20. Ивойлова А.В., Шильников И.А., Шелкунова А.В. Вынос N, P, K и Ca культурами зернопропашного севооборота. *Агрохимия*. 1990. №1. С. 26–32.
21. Нікітіна О.В. Зміна калійного стану чорнозему опідзоленого за тривалого застосування добрив у польовій сівозміні в умовах Правобережного Лісостепу України: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 06.01.04. Харків, 2017. 23 с.
22. Acher C.J., Ozanne P.L. Calcium and potassium content of plant in solution cultures maintained at constant potassium concentration. *Soil Sci*. 1963. V. 103. P. 155.
23. Клименко І.І. Вплив системи удобрення на продуктивність культур ланки зерно-просапної сівозміни та родючість темно-сірого опідзоленого ґрунту: автореф. дис. канд. ... с.-г. наук: 06.01.04. Київ, 2015. 22 с.
24. Кравець І.С. Зміни в азотному фонді та баланс азоту чорнозему опідзоленого Правобережного Лісостепу України за тривалого застосування добрив у польовій сівозміні: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 06.01.04. Харків, 2001. 20 с.
25. Климашевский Э.Л. Генетический аспект минерального питания растений. Москва: Агропромиздат, 1991. 415 с.
26. Ткаченко М.А., Драч Ю.О. Видове генотипове співвідношення елементів живлення як основа оптимізації удобрення сільськогосподарських культур. *Зб. наук. пр. ННЦ «Інститут землеробства НААН»*. 2016. Вип. 1 С. 113–123.
27. Юркин С.Н., Пименов Е.А., Макаров Н.Б. Почвенно-зональные различия расхода питательных веществ в связи с применением удобрений. *Агрохимия*. 1979. №12. С. 127–130

UDC 631.811:633.1+34

Removal of basic nutrients from the soil by field crop rotations with different fertilizers

H. M. Hospodarenko*, O. D. Cherny, A. T. Martyniuk, V. P. Boiko

Uman National University of Horticulture, Uman, Ukraine

* E-mail: hospodarenko@gmail.com

The effect of application of different doses and combinations of mineral fertilizers in field crop rotation on the content of basic nutrients in plants, economic and relative removal of winter wheat, corn, spring barley and soybeans was studied. Soil - Luvic Chernic Phaeozem. The scheme of the experiment includes 11 variants of combinations and separate application of mineral fertilizers and, including the variant without fertilizer. It was found that the level of nitrogen content of easily hydrolyzed compounds in the soil significantly affects its content in the grain of spring barley, corn, soybeans ($R^2 = 0,92-0,93$), less - winter wheat ($R^2 = 0,63$). The content of mobile phosphates in the soil has almost the same effect on its content in the main and non-commodity part of the crop, regardless of the crop ($R^2 = 0,39-0,70$). The smallest relationship between the content of mobile compounds in the soil and in the crop was in potassium, but in soybean seeds and straw of spring barley and soybeans it was clearly traced ($R^2 = 0,53-0,68$). Nitrogen (64,4–149,9 kg / ha) has the largest share in the economic extraction of nutrients with grain and seed yield, followed by phosphorus – 21,1–51,4 kg P₂O₅/ ha, depending on the crop. On the formation of the crop unit of marketable and the corresponding amount of non-marketable crop products absorb nutrients in the following ratio N : P₂O₅ : K₂O: winter wheat – 1 : 0,4 : 0,7; corn – 1 : 0,3 : 0,8; spring barley – 1 : 0,4 : 0,7 and soy – 1 : 0,4 : 0,4. With the non-commodity part of the crop, nitrogen with corn stalks returns to the soil from economic removal – 28–36 %, phosphorus with soybean straw (47–54 %) and potassium with winter wheat straw and corn stalks – 74–80 %, depending on the experiment variant.

Keywords: podzolized chernozem, fertilizers, basic nutrients, winter wheat, corn, spring barley, soybeans.

Citing: Hospodarenko H.M., Cherny O.D., Martyniuk A.T., Boiko V.P. 2021. Removal of basic nutrients from the soil by field crop rotations with different fertilizers *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 91. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 31-40. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.31073/acss91-04>.