

ґРУНТОВЕ ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН SOIL NUTRITION of PLANTS

УДК 631.816.33

Вплив глибини локалізації мінеральних добрив на поживний режим чорнозему опідзоленого важкосуглинкового та врожайність ячменю ярого

В.М. Смиченко, М.М. Мірошніченко

Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»,
Харків, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 27.10.2020 Отримано після доопрацювання 12.05.2021 Затверджено до видання 07.06.2021 Доступно онлайн 01.07.2021	Мета статті – висвітлення результатів вивчення впливу глибини локального внесення мінеральних добрив на поживний режим ґрунту та врожайність ячменю ярого. Дослідження проводили впродовж 2018 - 2020 рр. у тимчасовому дрібноділянковому досліді. Ґрунт – чорнозем опідзолений важкосуглинковий (Luvic Chernic Phaeozem). Порівнювали ефективність внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$ на глибину 10-12 см та 20-22 см від поверхні ґрунту. Ширина міжрядь посівів ячменю 15 см, стрічку добрив розміщували на відстані 4-5 см убік від рядка. Змішані проби ґрунту відбирали у стрічках внесення добрив двічі за вегетаційний період ячменю – у першу половину вегетації та після збирання врожаю. Вегетаційний період у 2018 р. був посушливим на початку та під час досягання зерна, у 2019 р. – посушливим під час формування зернівки, а у 2020 р. – був добре зволожений та відносно прохолодним. Встановлено, що за посушливих умов на початку вегетації ячменю у 2018 році найбільший запас мінерального азоту був за неглибокого розташування стрічки (10-12 см), а за доброго зволоження у 2019 і 2020 рр. більш ефективним виявилось внесення тукосуміші на 20-22 см від поверхні. Внесення добрив на 20-22 см також забезпечило дещо вищий рівень вмісту рухомого фосфору та калію у ґрунті на початку вегетації, ніж внесення на глибину 10-12 см. Після збирання врожаю ячменю найбільше накопичення мінерального азоту у ґрунті у 2018 р. виявлено за неглибокого внесення добрив, а у 2019-2020 рр. – за глибокого внесення. Відзначено тенденцію накопичення більшої кількості хлорофілу у рослинах за збільшення глибини внесення добрив. Локальне внесення добрив дало достовірне збільшення врожаю на всіх варіантах досліді, але за розміщення стрічки добрив на глибині 20-22 см прибавка була вдвічі вищою, ніж за глибини 10-12 см. Внесення нітроамофоски на глибину 20-22 см є більш ефективним, ніж суміші простих та складних добрив. Зроблено висновок, що гідротермічні умови вегетаційного періоду та глибина розташування стрічки мінеральних добрив взаємопов'язано впливають на поживний режим ґрунту. Перевага глибокого внесення добрив є найбільш вагомою за недостатнього зволоження.

* E-mail: ecosoil@meta.ua

Форма цитування: Смиченко В.М., Мірошніченко М.М. Вплив глибини локалізації мінеральних добрив на поживний режим чорнозему опідзоленого важкосуглинкового та врожайність ячменю ярого. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 2021. Вип. 91. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". С. 22-30. <https://doi.org/10.31073/acss91-03>

1. Вступ

Уперше припосівне внесення суперфосфату рядковим способом за вирощування цукрових буряків запропонував у 1880 р. професор Харківського університету А. Е. Зайкевич [1]. Пізніше, на підставі багаторічних досліджень, В.К. Трапезников із співавторами довели, що розвиток кореневої системи рослин в осередку високої концентрації поживних речовин у стрічці внесення добрив сприяє активізації фізіологічних процесів у рослинах, зокрема обумовлює ріст та розгалуженість кореневої системи [2, 3]. Дослідження А.І. Фатєєва [4] показали, що мінімальне перемішування мінеральних добрив з ґрунтом, за їх локального внесення, уповільнює трансформацію легкодоступних рослинам форм фосфору та калію у важкодоступні. При цьому із фракцій мінеральних фосфатів у ґрунті поповнюються насамперед рихлозв'язані фосфати та фосфати алюмінію, а з фракцій калію – легкорозчинні форми. Отже, локальний спосіб внесення мінеральних добрив є більш ефективним ніж розкидний як у фізіологічному, так і в агрохімічному розумінні. Узагальнення результатів 40 польових експериментів, з опублікованих у період 1982-2015 рр., показує, що локалізація добрив підвищує врожайність польових культур на 3,7 %, вміст елементів живлення у ґрунті – також на 3,7 %, а в надземній частині рослин – на 11,9 % [5].

Кліматичні зміни, подорожчання енергоносіїв та підвищена вимогливість сучасних сортів і гібридів сільськогосподарських культур до умов мінерального живлення спонукають до удосконалення технологічних аспектів локалізації внесення добрив. За локального внесення добрива розміщують у ґрунті безперервними або пунктирними стрічками на оптимальній

відстані від насіння. Придатність сучасних технічних засобів до поєднання операції внесення мінеральних добрив із обробітком ґрунту та сівбою значно знижує енергоємність виконання робіт [6]. Поряд із цим, щодо просторового розміщення (локалізації) стрічок добрив єдиного рішення не може бути. Занадто мілке загортання добрив стимулює поверхнєве розміщення кореневої системи рослин, що має негативні наслідки у разі настання посушливих умов, особливо в першу половину вегетації. Оптимізація глибини розміщення поживних речовин має гарантувати, що коріння рослин буде поглинати достатню їх кількість протягом усього вегетаційного періоду. Критерієм оптимізації розміщення добрив є їх позиційна доступність кореням рослин під час їхнього росту, що досягається створенням так званих «зон трофічного комфорту» [7].

Враховуючи, що верхній шар ґрунту на більшій частині ріллі часто пересихає за сучасних погодно-кліматичних умов, під зернові культури суцільної сівби рекомендують розташовувати стрічки добрив на глибині 8-15 см з інтервалом 15-30 см [8]. У Швеції встановлено рівнозначну ефективність розташування стрічки добрив під час сівби зернових культур у кожне міжряддя і через міжряддя, що дозволяє вдвічі скоротити кількість тукових сошників, зменшити тяговий опір і металоємність сівалки [9]. Українські дослідники О.Г. Жатов із співавторами вважають, що таке розташування стрічки основного добрива є занадто далеким від рядів насіння, і для початкового розвитку кореневої системи рослин потрібно одночасно додавати до стрічки розміщення насіння невелику дозу фосфорних добрив [10]. На цей час такий підхід найчастіше реалізується у практиці землеробства, але також є спроби триярусного розміщення добрив [11].

Результати багатьох досліджень вказують на доцільність більш глибокого розміщення стрічки добрив. Так, R. Borges та A.P. Mallarino, в умовах гребеневого обробітку ґрунту на півночі американського кукурудзяного поясу, показали високу ефективність глибокого (15-20 см від поверхні) розміщення калійних добрив під кукурудзу, але значно слабший ефект від такого прийому для фосфорних добрив [12]. Однак, в окремих випадках не було виявлено переваг від збільшення глибини стрічкового внесення, зокрема для азотних та фосфорних добрив під ячмінь, яру пшеницю та ріпак на чорноземних ґрунтах Канади [13-14].

Глибоке розміщення азотних добрив раніше застосовували переважно на перезволожених ґрунтах у районах рисосіяння, що дозволяє зменшити інгібування азотфіксації за внесення сечовини [15]. Сучасні дослідження удосконалюють цю технологію у напрямі досягнення більш контрольованого вивільнення азоту, що дозволяє ефективно застосовувати глибоке внесення сечовини також під інші культури [16]. У Японії було доведено, що глибоке (до 20 см) внесення вапнякової селітри із контрольованим вивільненням азоту позитивно впливає на ріст та врожайність сої [17]. Для технічного забезпечення такої операції розробляється спеціальне знаряддя, що комбінується із глибокорозпушувачами ґрунту [18]. Глибоке розміщення стрічки мінеральних добрив виявилось найбільш ефективним за вирощування пшениці ярої на каштановому ґрунті Західного Забайкалля, як засіб, що мінімізує наслідки настання посушливих умов упродовж вегетаційного періоду [19]. Ячмінь ярий також позитивно відгукується на локалізацію мінеральних добрив, причому для оптимізації калійного живлення доцільно не тільки збільшувати глибину внесення, але й зменшувати дозу добрив [20]. Дослідженнями К.В. Павлова та М.М. Новикова показано, що локалізація калійних добрив збільшує інтенсивність та розміри надходження калію до рослин ячменю [21].

На сучасному ринку мінеральних добрив їх асортимент за вмістом основних елементів живлення та ступенем розчинності дуже різноманітний. Однак, наукової інформації щодо особливостей вивільнення поживних речовин зі стрічки різних форм добрив та подальшого їх використання рослинами протягом вегетаційного періоду дуже мало. Якщо дослідження впливу рядкового (локального) внесення традиційних гранульованих мінеральних добрив проводились ще у 1940-х роках і продовжуються до нашого часу, то особливості дії різноглибинного внесення комплексних водорозчинних добрив практично не вивчено.

Метою досліджень було визначення впливу глибини локального внесення мінеральних добрив на поживний режим ґрунту та врожайність ячменю ярого.

2. Матеріали та методи

2.1. Характеристика об'єктів дослідження та методика досліджень

Дослідження проводили впродовж 2018 - 2020 рр. у тимчасовому дрібноділянковому досліді на території Коротичанського дослідного поля, що входить у структуру ДП «ДГ «Граківське» ННЦ «ІГА імені О. Н. Соколовського», розташованого поблизу с. Новий Коротич Харківського району Харківської області. Ґрунт – чорнозем опідзолений важкосуглинковий (Luvic Chernic Phaeozem) на лесоподібному суглинку. Ділянки (повторності дослідів), закладено у різних частинах одного дослідного поля, тому

за близьких значень вмісту органічного вуглецю (2,2-2,4 %), у ґрунті були різними рівні вмісту рухомого фосфору та калію: 46 та 123 мг/кг у 2018 р., 87 та 88 мг/кг у 2019 р., 76 та 54 мг/кг у 2020 р., відповідно. Тобто, ґрунт під дослідом, за середнього рівня забезпеченості фосфором, мав високий рівень вмісту калію у 2018 р., підвищений – у 2019 р. та середній – у 2020 р.

Схема дослідів (варіанти):

1. Контроль (без добрив);
2. $N_{60}P_{60}K_{60}$ (комплексні добрива) локально на глибині 10-12 см;
3. $N_{60}P_{60}K_{60}$ (комплексні добрива) локально на глибині 20-22 см;
4. $N_{30}P_{30}K_{30}$ (комплексні добрива) локально на глибині 10-12 см + $N_{30}P_{30}K_{30}$ (комплексні добрива) локально на глибині 20-22 см;
5. $N_{60}P_{60}K_{60}$ (суміш простих добрив) локально на глибині 20-22 см.

У 1-4 варіантах застосовували мінеральні добрива у вигляді нітроамофоски, у 5 варіанті – у вигляді амофосу, аміачної селітри і калію хлористого. Повторність дослідів триразова, площа кожної дослідної ділянки 4 м² (2×2 м). Вирощувана сільськогосподарська культура – ячмінь ярий сорту Геліос. Насіння ячменю загортали на глибині 5-6 см. Ширина міжрядь – 15 см, стрічку добрив розміщували на відстані 4-5 см убік від рядка. Агротехнологічні операції (за винятком обробітку ґрунту) – внесення добрив, посів, розпушування, прополювання, збирання та облік урожаю проводили вручну.

Змішані проби ґрунту відбирали двічі за вегетаційний період ячменю – у першу половину вегетації та після збирання врожаю у стрічках внесення добрив на кожній із повторностей дослідів окремо.

У пробах ґрунту визначали вміст рухомих форм фосфору і калію за модифікованим методом Чирикова (ДСТУ 4115:2002) та вміст нітратного й амонійного мінерального азоту – за методом, модифікованим ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського» (ДСТУ 4729:2007). Польову вологість ґрунту визначали термостатно-ваговим методом. Вміст азоту, фосфору і калію у рослинних пробах визначали після мінералізації методом мокрого озолення за MBV 31-497058-019-2005 [22]. Вміст хлорофілу у листках вимірювали портативним приладом SPAD-502 Plus.

1.2. Метеорологічні особливості вегетаційних періодів

Погодні умови вегетаційних періодів ячменю ярого у 2018-2020 рр. були достатньо різноманітними (Табл. 1). Порівняно із середніми багаторічними даними, температура повітря у квітні-травні й липні 2018 р. та квітні-червні 2019 р. виявилася вищою, а впродовж усього вегетаційного періоду 2020 р. – нижчою. Особливо спекотним був червень 2019 р., а найбільш прохолодним – квітень 2020 р.

Поряд із цим, квітень-травень і липень 2018 р. та червень-липень 2019 р. були дуже посушливими, а кількість опадів упродовж усієї вегетації 2020 р. перевищувала середню багаторічну норму. Вищезазначені особливості погодних умов дозволяють характеризувати вегетаційний період 2018 р. як посушливий на початку та на етапі досягання зерна, 2019 р. – як посушливий під час формування зернівки, а 2020 р. – як добре зволожений та відносно прохолодний.

Таблиця 1

Погодні умови в період досліджень 2018-2020 рр. (за даними метеопоста ХНАУ ім. В.В. Докучаєва)

Місяць	Середня температура повітря, °С				Сума опадів, мм			
	2018	2019	2020	середня багаторічна	2018	2019	2020	середня багаторічна
Квітень	12,4	11,5	9,2	11,0	12,9	44,5	46,3	34,5
Травень	19,9	18,4	15,6	17,9	15,9	43,4	57,5	38,9
Червень	21,6	24,8	19,3	21,9	43,5	15,2	68,1	42,2
Липень	23,0	21,4	21,3	21,9	28,7	38,8	83,3	50,2
Квітень-липень	19,2	19,0	16,3	18,2	101,0	141,9	255,2	165,8

3. Результати та обговорення

3.1. Вологість ґрунту у стрічці розміщення добрив

Ячмінь має короткий вегетаційний період, тому за невисокої загальної потреби до кількості продуктивної вологи в ґрунті негативно реагує на недостатнє зволоження у

період активного нарощування стебло-листової маси. Вміст вологи в орному шарі на час відбирання проб ґрунту впродовж вегетації коливався від 11,0 до 23,2 %, а після збирання врожаю – від 9,9 до 23,1 %, тобто, в інтервалі між вологістю стійкого в'янення та вологістю розриву капілярної кайми (Табл. 2). За таких умов запаси продуктивної вологи у верхньому 20-сантиметровому шарі ледве досягають рівня 20 мм, що вважається мінімально необхідним для задовільного куціння ячменю [23]. Нестача вологи в орному шарі ґрунту на початку вегетації ячменю перешкоджає утворенню вторинних коренів, що надалі веде до погіршення умов живлення рослин.

Таблиця 2

Вологість ґрунту на глибині внесення добрив під час вегетації та після збирання врожаю

Варіант досліджу	Глибина, см	Вологість ґрунту, %					
		2018		2019		2020	
		30.05	03.08	30.05	03.09	17.06	21.07
Контроль (без добрив)	10-22	16,1	24,3	23,1	10,8	11,7	23,1
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (комплексні) 10-12 см	10-12	13,6	24,3	23,2	11,7	11,5	22,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (комплексні) 20-22 см	20-22	16,1	23,7	22,5	10,8	11,3	22,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (комплексні) 10-12 см та 20-22 см	10-12	17,4	23,9	22,2	9,9	11,0	22,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (тукосуміш) 20-22 см	20-22	17,0	24,2	22,2	10,9	11,3	22,2
<i>HIP₀₅</i>		1,8	0,3	0,6	0,8	0,6	0,5

Наведені у таблиці 2 дані не показують великої різниці між вологістю ґрунту на різних глибинах (10-12 та 20-22 см), де було розміщено стрічки добрив, адже вологоутримувальна здатність ґрунту в межах орного шару однакова. Тому не можна стверджувати, що більш глибока локалізація добрив на чорноземному ґрунті має метою їх розміщення у більш зволоженому шарі. На нашу думку, збільшення глибини локалізації добрив може лише стимулювати більш глибоке розміщення вторинних коренів ячменю. За спостереженнями В.К. Трапезникова, локалізація добрив сприяє інтенсивному розгалуженню кореневої системи рослин [2, 3]. Це підтверджено також подальшими дослідженнями J. Grossman та K. Rice на ячмені [24], L. Hongbo та F. Zhang [25], S. Costa et al. [26] на кукурудзі, F. Hansel et al. на сої [27], де виявлено прямий зв'язок між глибиною розміщення стрічки добрив, параметрами архітектури кореневої системи та врожайністю цих культур.

3.2. Вміст доступних форм елементів живлення у зоні локалізації добрив

Відомо, що мінеральні форми азоту в ґрунті є найбільш рухомими серед основних елементів живлення, а рівень їхньої концентрації визначається, насамперед, дозами та способом внесення добрив, інтенсивністю мікробіологічної активності та споживанням рослинами. Навколо гранул мінеральних добрив формується осередок підвищеної концентрації азоту, розміри та конфігурація якого залежать від водного режиму ґрунту, а мікробіологічні процеси перетворення азоту уповільнюються, що було помічено ще Ф.В. Турчиним [28]. Неоднорідність просторового розподілу азоту у стрічці внесення добрив значно збільшує строкатість даних щодо його вмісту у пробах ґрунту на різних варіантах досліджу, адже за дози N₆₀P₆₀K₆₀ відстань від гранули добрив є достатньо великою. Варіанти досліджу відрізнялися за вмістом азоту в 3-5 разів, причому строкатість аміачного азоту була більшою за нітратний азот (Табл. 3). Разом з тим, наведені дані свідчать, що за посушливих умов на початку вегетації ячменю у 2018 році найбільший запас мінерального азоту виявили за неглибокого розташування стрічки (10-12 см), а за доброго зволоження у 2019-2020 рр. більш ефективним виявилось внесення тукосуміші на 20-22 см від поверхні.

На відміну від легкорозчинної азотної складової мінеральних добрив, міграція фосфат-іонів обмежена радіусом декількох сантиметрів від гранули добрива [29, 30]. Через це під час вегетації рослин між варіантами досліджу не спостерігається такої великої різниці щодо рухомого фосфору, як це було виявлено для мінеральних форм азоту (Табл. 4). Вочевидь, термін 1-2 місяці після внесення добрив є недостатнім для формування таких осередків підвищеної концентрації рухомого фосфору, щоб це позначалося на трофічному стані ґрунту в цілому, а поліпшення живлення рослин досягається тільки завдяки наближенню коренів до гранул. Між варіантами із глибоким розташуванням стрічки не спостерігалось сталої істотної різниці вмісту рухомого фосфору. Однак, внесення добрив на 20-22 см забезпечує дещо вищий рівень середніх за 3 роки значень цього показника, ніж внесення на глибину 10-12 см.

Таблиця 3

Вміст мінерального азоту в ґрунті у стрічці внесення добрив під час вегетації

Варіант досліджу	Вміст мінеральних сполук азоту в ґрунті, мг/кг								
	2018			2019			2020		
	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	усього	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	усього	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	усього
Контроль (без добрив)	2,3	5,1	7,4	0,9	3,2	4,1	1,1	4,2	5,3
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (комплексні) 10-12 см	7,0	8,9	15,9	1,4	6,3	7,7	1,0	4,7	5,7
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (комплексні) 20-22 см	4,9	6,5	11,4	1,6	3,1	4,7	1,5	5,3	6,8
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (комплексні) 10-12 см та 20-22 см	3,3	4,4	7,7	4,7	3,6	8,3	1,8	5,6	7,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (тукосуміш) 20-22 см	3,2	3,9	7,1	6,9	9,4	16,3	12,3	13,4	25,7
<i>HIP₀₅</i>				2,0	1,4	3,4	1,3	5,5	9,2

Оптимальну глибину внесення добрив під ячмінь ярий R. Karamanos et al. [14] також пов'язують з гідротермічними умовами, віддаючи провідну роль температурі на глибині формування стрічки

Таблиця 4

Вміст рухомих форм фосфору і калію в ґрунті у стрічці внесення добрив під час вегетації

Варіант досліджу	Вміст рухомих форм фосфору і калію в ґрунті, мг/кг							
	P ₂ O ₅				K ₂ O			
	2018	2019	2020	середній	2018	2019	2020	середній
Контроль (без добрив)	46	88	76	70	123	88	54	89
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (комплексні) 10-12 см	55	93	66	71	140	84	45	90
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (комплексні) 20-22 см	51	105	71	76	129	86	44	87
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (комплексні) 10-12 см та 20-22 см	49	115	73	79	122	90	43	85
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (тукосуміш) 20-22 см	49	96	86	77	130	86	59	92
<i>HIP₀₅</i>	3,9				8,8			

Вміст рухомого калію має схожі тенденції. Оскільки фосфор і калій входять до складу нітроамофоски у рівних частках, цілком закономірно простежується тісна кореляція між рухомими формами цих елементів у ґрунті: $r=0,88$ у 2018 р., $r=0,53$ у 2019 р., $r=0,87$ у 2020 р. Разом з тим, розмах коливань вмісту рухомого калію в ґрунті за варіантами досліджу є значно меншим, ніж варіювання за роками, обумовлене різним агрофоном та (можливо) строкатістю дослідного поля. Після збирання врожаю ячменю накопичення мінерального азоту в ґрунті виявило аналогічну з вегетаційним періодом тенденцію, а саме: найвищий вміст у 2018 р. зафіксовано за неглибокого внесення добрив, а у 2019-2020 рр. – за глибокого внесення тукоsumіші (Табл. 5).

Таблиця 5

Вміст мінерального азоту в ґрунті у стрічці внесення добрив після збирання врожаю

Варіант досліджу	Вміст мінеральних сполук азоту в ґрунті, мг/кг								
	2018			2019			2020		
	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	усього	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	усього	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	усього
Контроль (без добрив)	1,5	2,3	3,8	9,5	27,9	37,4	2,5	2,8	5,3
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (комплексні) 10-12 см	6,7	7,2	13,9	7,6	19,0	26,6	3,4	2,5	5,9
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (комплексні) 20-22 см	5,3	4,0	9,3	10,7	29,6	40,3	3,1	2,1	5,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (комплексні) 10-12 см та 20-22 см	1,7	3,9	5,6	8,0	14,5	22,5	2,7	3,7	6,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (тукосуміш) 20-22 см	4,9	5,5	10,4	9,1	72,6	81,7	4,7	2,1	6,8
<i>HIP₀₅</i>	2,8	2,2	4,9	2,2	13,0	13,8	1,0	0,8	0,8

На нашу думку, основною причиною такої збіжності є те, що найбільше споживання азоту відбувається під час активного нарощування стебло-листової маси у першу половину вегетації. Поряд з цим, завдяки сприятливим для нітрифікації гідротермічним умовам може відбуватися багаторазове зростання вмісту мінерального азоту, особливо у нітратній формі, як це було у 2019 р. Відомо, що основними зовнішніми чинниками, що регулюють нітрифікаційну активність ґрунту, є температура, вологість, рН та структурний стан ґрунту, причому максимум нітрифікації спостерігається за температури 31,2 °С [31]. Високі температури червня 2019 р. за доброго зволоження ґрунту сприяли такому збільшенню вмісту мінерального азоту, що в декілька разів перевищило різницю між варіантами за рахунок внесення добрив.

На відміну від азоту, найвищі середні параметри вмісту рухомого фосфору та калію у ґрунті відзначено за внесення нітроамофоски на глибину 20-22 см (Табл. 6). Однак, цю перевагу досягнуто за рахунок сильного зростання у 2019 році, тоді як за посушливих умов 2018 року більш високий вміст рухомого фосфору та калію спостерігався за неглибокого внесення добрив, а 2020 - за дворівневої стрічки (на 10-12 см та 20-22 см). Поряд із цим, варіабельність вмісту рухомого фосфору та калію значно збільшилася за вегетаційний період. Коефіцієнти варіації зросли від 5-10 для P_2O_5 і 2-5 для K_2O під час вегетації до 8-34 і 5-10 після збирання відповідно. Найбільш імовірною причиною цього є повільне розчинення гранул добрив, особливо за посушливих умов.

Таблиця 6

Вміст рухомих форм фосфору і калію в ґрунті у стрічці внесення добрив після збирання врожаю

Варіант досліджу	Вміст рухомих форм фосфору і калію в ґрунті, мг/кг							
	P_2O_5				K_2O			
	2018	2019	2020	середній	2018	2019	2020	середній
Контроль (без добрив)	38	79	78	65	110	60	64	78
$N_{60}P_{60}K_{60}$ (комплексні) 10-12 см	63	103	76	81	148	53	56	86
$N_{60}P_{60}K_{60}$ (комплексні) 20-22 см	54	188	74	105	118	124	49	97
$N_{60}P_{60}K_{60}$ (комплексні) 10-12 см та 20-22 см	47	122	92	87	117	82	63	87
$N_{60}P_{60}K_{60}$ (тукосуміш) 20-22 см	47	109	83	80	105	76	44	75
<i>HIP₀₅</i>		32				18		

Експериментально доведено, що локальне внесення калійних добрив оптимізує динаміку калійного живлення ячменю, збільшуючи інтенсивність поглинання калію у другу половину вегетації [32]. Разом з тим, враховуючи високі темпи падіння рівня вмісту рухомого калію в ґрунті після припинення внесення добрив, встановлені А.О. Христенко [33], не можна впевнено розраховувати на значну післядію локалізації у наступні роки. Післядія фосфорних добрив більш тривала, але через невизначеність позиційного розташування рядків посіву наступних культур переваги локалізації можуть бути втраченими, адже для максимального споживання фосфору кореневою системою злаків відстань від рядка до стрічки внесення добрив має бути не більше 5 см [34-35].

Загалом, оскільки вміст легкодоступного рослинам азоту в ґрунті відображує як його накопичення внаслідок мінералізації, так і вилучення рослинами, то цей показник не може бути критерієм виявлення найефективнішого способу внесення. Те саме буде справедливим і для рухомих форм фосфору та калію. Тому, вирішальним у визначенні оптимальної глибини внесення має бути рівень урожайності культури поточного року.

3.3. Формування врожаю зерна ячменю

Для перевірки правильності гіпотези про позитивний вплив заглиблення стрічки добрив на продукційний процес рослин ячменю ярого, на етапі формування зернівки (17.06.2020 р.) було проведено вимірювання вмісту хлорофілу у листках за допомогою портативного приладу SPAD-502 Plus. Результати цих вимірювань, наведені в табл.7, показують наявність позитивної тенденції до накопичення більшої кількості хлорофілу зі збільшенням глибини внесення добрив, однак у межах найменшої істотної різниці за рівня значущості 95 %.

Таблиця 7

Вміст хлорофілу у листках ячменю ярого залежно від глибини внесення та форм добрив

Варіант досліджу	Вміст хлорофілу, одиниць SPAD-502
Контроль (без добрив)	45,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (комплексні) 10-12 см	48,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (комплексні) 20-22 см	51,9
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (комплексні) 10-12 см та 20-22 см	49,8
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (тукосуміш) 20-22 см	48,9
<i>HIP₀₅</i>	7,2

Виявлено дуже тісну кореляцію ($r=0,98$) урожайності зерна ячменю з вмістом хлорофілу у листках (Табл. 8). Порівняно з контролем, усі способи внесення добрив дали достовірне збільшення врожаю. Однак, за розміщення стрічки добрив на глибині 20-22 см збільшення було майже вдвічі вищим, ніж за глибини 10-12 см.

Таблиця 8

Урожайність зерна ячменю ярого залежно від глибини внесення та форм добрив

Варіант досліджу	Урожай зерна ячменю, т/га			
	2018	2019	2020	середній
Контроль (без добрив)	2,80	3,30	3,50	3,20
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (комплексні) 10-12 см	2,99	4,68	4,51	4,06
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (комплексні) 20-22 см	3,33	6,36	4,60	4,76
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (комплексні) 10-12 см та 20-22 см	2,97	5,45	4,55	4,32
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (тукосуміш) 20-22 см	2,87	5,34	4,03	4,08
<i>HIP₀₅</i>	0,25	1,41	0,58	-

Суміщення NPK в одній гранулі нітроамофоски виявилось більш ефективним, ніж внесення суміші простих та складних добрив, коли осередки азоту, фосфору та калію добрив дистанційовані один від одного. Помітно, що перевага більш глибокого розміщення стрічки добрив простежувалася кожного року: 2018-2019 на рівні значущості 95 %, а 2020 р. – на рівні тенденції. Отже можна припустити, що більш глибоке розміщення стрічки добрив під ячмінь ярий є більш доцільним, особливо за сучасних змін клімату в бік посушливості весняно-літнього періоду.

4. Висновки

1. Гідротермічні умови вегетаційного періоду та глибина розташування стрічки мінеральних добрив взаємопов'язано впливають на поживний режим ґрунту. За посушливих умов найбільший вміст мінерального азоту, рухомого фосфору та калію в орному шарі формується за неглибокого розташування стрічки (10-12 см), а за доброго зволоження – за внесення добрив на 20-22 см від поверхні ґрунту, що може бути пов'язано як з неповним споживанням елементів живлення рослинами, так і з уповільненням розчинення гранул добрив у більш сухому ґрунті.

2. Найвищий вміст хлорофілу у листях ячменю та найвищу врожайність зерна зафіксовано за внесення комплексних мінеральних добрив у формі нітроамофоски на глибину 20-22 см від поверхні. Перевага глибокого внесення добрив є найбільш вагомою у рік із зволоженням недостатнім та близьким до середнього багаторічного рівня.

Список використаних джерел

- Носко Б.С. Сторінки історії агрохімічних досліджень в Україні. Харків: ТОВ «Щедра садиба плюс», 2015. 292 с.
- Трапезников В.К., Иванов И.И., Тальвинская Н.Г. Локальное питание растений. Уфа: Гилем, 1999. 260 с.
- Трапезников В.К., Иванов И.И. Ответные реакции растений на гетерогенное распределение элементов питания в среде. *Агрохимия*. 2012. № 5. С. 73-90

4. Фатеев А.И. Локальный способ внесения удобрений. Почвенно-агрохимические аспекты. Харьков: Друкерия № 13, 2002. 160 с.
5. Fertilizer placement to improve crop nutrients acquisition and yield. A review and meta-analysis. / P.M. Nkebiwe, M. Weinmann, A. Bar-Tal, T. Muller *Field Crops Research*. 2016. № 196. P. 389-401.
6. Vandermeer J., Whitbread A. Global food security, biodiversity, conservation and the future of agricultural intensification. *Biol. Conserv.* 2012. № 151. P. 53–59.
7. Кисель В.И. Биологическое земледелие в Украине: проблемы и перспективы. Харьков: Штрих, 2000. 162 с.
8. Пономаренко Н.О., Яропуд В.М., Зозуляк О.В. Прийоми локального внесення добрив. *Вібрації в техніці та технологіях*: Всеукр. наук.-технічний журнал. 2016. №3. С. 139-142
9. Резерви мінерального живлення зернових культур <https://propozitsiya.com/rezervy-mineralnogo-pitaniya-zernovykh-kultur>. Електронне джерело. 175 с.
10. Жатов О.Г., Троценко В.І., Жатова Г.О. Ефективність мінеральних добрив на посівах соняшнику. *Вісник Сумського НАУ*. 2004. № 1. С. 78-82.
11. Bhende N.V., Purohit J.K., Junankar A.A. A proposed concept for fertilizer placement under three different depth of soil through multilayered fertilizer-cum-cotton seed drill applicator. AIP Conference Proceeding. 2019. Т. 2148, Iss. 1. <https://doi.org/10.1063/1.5123947>
12. Borges R., Mallarino A.P. Deep banding phosphorus and potassium fertilizers for corn managed with ridge tillage. *Soil Science Society American Journal*. 2001. № 65. P. 376-384.
13. Nuttall W.F., Button R.G. The effect of deep banding N and P fertilizers on the yield of canola (*Brassica napus* L.) and spring wheat (*Triticum aestivum* L.). *Canadian Journal of Soil Science*. 1990. № 70. P. 629-639.
14. Karamanos R.E., Harapiak J.T., Flore N.A. Long-term effect of placement of fertilizer nitrogen and phosphorus on barley yield. *Canadian Journal of Plant Science*. 2008. № 88(2). P. 285-290.
15. Deep placement: a method of nitrogen fertilizer application compatible with algal nitrogen fixation in wetlands rice soils. / P.A. Roger, S.A. Kulasoriya, A.C. Tirol, E.T. Craswell *Plant and Soils*. 1980. № 57. P. 137-142. <https://doi.org/10.1007/BF02139650> .
16. Deep placement of controlled-release urea effectively enhanced nitrogen use efficiency and fresh ear yield of sweet corn in fluvo-aquic soil. / W. Liu, Y. Xiong, X. Xu [et al.]. *Scientific Reports*, 2019, 9:20307. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56912-y> .
17. Effect of Deep Placement of Slow-release Fertilizer (Lime Nitrogen) Applied at Different Rates on Growth, N₂ Fixation and Yield of Soya Bean (*Glycine max* [L.] Merr.). / T. Kaushal, M. Onda, S. Ito [et al.]. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 2006. № 192(6). P. 417-426. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2006.00230.x>.
18. Simulation for Design and Material Selection of a Deep Placement Fertilizer Application for Soybean Cultivation. / I. Patuk, H. Hasegawa, I. Borodin [et al.]. *Open Engineering*. 2020. 10(1-2). P.733-743. <https://doi.org/10.1515/eng-2020-0082>.
19. Влияние разноглубинного внесения минеральных удобрений на продуктивность пшеницы в различных почвенно-климатических условиях сухой степи Забайкалья / А.С. Билтуев, Л.В. Бужапанов, С.В. Хутаков [и др.]. *Агрохимия*. 2015. № 10. С. 18-24.
20. Павлов К.В. Оптимизация калийного питания ячменя при локальном внесении калийных удобрений. *Агрохимия*. 2009. № 2. С. 28-34.
21. Павлов К.В., Новиков М.М. Влияние локального внесения калийных удобрений в чернозем на урожайность ячменя. *Агрохимия*. 2013. № 4. С. 48-54.
22. MBV 31–497058–019–2005 Рослини. Визначення загальних форм азоту, фосфору, калію в одній наважці рослинного матеріалу: Методики визначення складу та властивостей ґрунтів. Харків, 2005. Кн. 2. С. 189–208.
23. Медведев В.В., Лактионова Т.Н., Донцова Л.В. Водные свойства почв Украины и влагообеспеченность сельскохозяйственных культур. Харьков: Апостроф, 2011. 224 с.
24. Grossman J.D., Rice K.J. Evolution of root plasticity responses to variation in soil nutrient distribution and concentration. *Evolutionary Applications*. 2012. №5(8). P. 850-857. <https://doi.org/10.1111/j.1752-4571.2012.00263.x> .
25. Hongbo L., Zhang F.S. Contribution of Root Proliferation in Nutrient-Rich Soil Patches to Nutrient Uptake and Growth of Maize. *Pedosphere*. 2012. № 22(6). 776-784. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(12\)60063-0](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(12)60063-0).
26. Phosphorus and Root Distribution and Corn Growth as Related to Long-term Tillage System and Fertilizer placement. / S.E.V.G.A. Costa, E.D. de Souza, I. Anghinoni [et al.]. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*. 2009. № 33(5). P. 1237-1247. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000500017> .
27. Phosphorus fertilizer placement and tillage affect soybean root growth and drought tolerance. / F.D. Hansel, T.J.C. Amado, D.A.R. Diaz [et al.]. *Agronomy Journal*. 2017. № 109. P. 2936-2944. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.040202> .
28. Турчин Ф.В. Азотное питание растений и применение азотных удобрений. Избранные труды. Москва: Колос, 1972. 336 с.
29. Най П.Х., Тинкер П.Б. Движение растворов в системе почва-растение. Москва: Наука, 1980. 368 с.
30. Degryse F., McLaughlin M.J. Phosphorus diffusion from fertilizer: visualization, chemical measurements, and modeling. *Soil Science Society of America Journal*. 2014. № 78(3). P. 832. <https://doi.org/10.2136/sssaj2013.07.0293>
31. Norton J., Ouyang Y. Controls and adaptive management of nitrification in agricultural soils. *Frontiers in Microbiology*. 2019. № 10. P. 1931. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01931> .
32. Pavlov K., Voronina L. Potassium placement effect on dynamic of barley (*Hordeum vulgare* L.) nutrition. *Soil Science and Plant Nutrition*. 2016. № 62(5-6). P. 500-503. <https://doi.org/10.1080/00380768.2016.1247384> .
33. Христенко А.А. Калийное состояние почв и эффективность удобрений. Харьков: ФЛП Бровин А.В., 2017. 120 с.
34. Banding of fertilizer improves phosphorus acquisition and yield of zero tillage maize by concentrating phosphorus in surface soil. / Md.K. Alam, R.W. Bell, N. Salatin [et al.]. *Sustainability*. 2018. № 10. 3234. <https://doi.org/10.3390/su10093234>.

35. Integrated phosphorus placement and form for improving wheat grain yield. / D. Lu, H. Song, S. Jiang [et al.]. *Agronomy Journal*. 2019. 111(4). P. 1998-2004. <https://doi.org/10.2134/agronj2018.09.0559>.

UDC 631.816.33

Impact of the depth of fertilizer localization on the nutrient regime of Luvic Chernic Phaeozem and yield of spring barley

V. M. Smychenko, M. M. Miroshnychenko*

National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky",
Kharkiv, Ukraine

*E-mail: ecosoil@meta.ua

The purpose of the research is to determine the impact of the depth of local application of mineral fertilizers on the nutrient content in the arable layer of soil and the yield of spring barley. The studies were carried out during 2018 - 2020 in a temporary small-plot experiment. Soil – chernozem podzolized loamy (Luvic Chernic Phaeozem). The application of N60P60K60 in the form of nitroammophoska or a mixture of ammophos, ammonium nitrate and potassium chloride was compared to a depth of 10-12 cm and 20-22 cm from the soil surface. The row spacing of barley crops was 15 cm; the fertilizer tape was placed at a distance of 4-5 cm away from the row. Mixed soil samples were taken from fertilizer tapes twice during the growing season of barley (in the first half of the growing season and after harvesting). The weather conditions were quite contrasting: in 2018 it was dry at the beginning of the growing season and during grain ripening, in 2019 was dry only during the formation of grain, and in 2020 - rather humid and relatively cool during almost the entire growing season. At the beginning of the growing season of barley in 2018, the highest content of mineral nitrogen in the soil was found with a shallow location of the fertilizers, but in 2019-2020 - in case fertilizer tapes at 20-22 cm from the surface. Location of fertilizer at a depth of 20-22 cm also provided a higher level of mobile phosphorus and potassium in the soil than applying at a depth of 10-12 cm. After the barley harvest, the highest accumulation of mineral nitrogen in the soil in 2018 was found with shallow application and in 2019-2020 - with deeper application. A tendency of more accumulation of chlorophyll in plants was observed with an increase in the depth of fertilization. Local application of fertilizers gave a reliable increase in yield in all variants of the experiment. However, the increase was twice as high when placing the fertilizer tape was at a depth of 20-22 cm as at a depth of 10-12 cm. Application of nitroammophoska to a depth of 20-22 cm was more effective than mixtures of simple and complex fertilizers. It was concluded that the hydrothermal conditions of the growing season and the depth of the location of fertilizers mutually affect the nutrient regime of the soil. The advantage of deep fertilization is more significant under insufficient moisture.

Keywords: Chernozem Luvic; localization; mineral fertilizers; spring barley.

Citing: Smychenko V.M., Miroshnychenko M.M. 2021. Impact of the depth of fertilizer localization on the nutrient regime of Luvic Chernic Phaeozem and yield of spring barley. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 91. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 22-30. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.31073/acss91-03>.

UDC 631.816.33

Impact of the depth of fertilizer localization on the nutrient regime of Luvic Chernic Phaozem and yield of spring barley**V. M. Smychenko, M. M. Miroshnychenko*****National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky",
Kharkiv, Ukraine**

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Received 27.10.2020 Received in revised form 12.05.2021 Accepted 11.05.2021 Available online2021 Keywords: Chernozem Luvic; localization; mineral fertilizers; spring barley	The purpose of the research is to determine the impact of the depth of local application of mineral fertilizers on the nutrient content in the arable layer of soil and the yield of spring barley. The studies were carried out during 2018 - 2020 in a temporary small-plot experiment. Soil – chernozem podzolized loamy (Luvic Chernic Phaozem). The application of N60P60K60 in the form of nitroammophoska or a mixture of ammophos, ammonium nitrate and potassium chloride was compared to a depth of 10-12 cm and 20-22 cm from the soil surface. The row spacing of barley crops was 15 cm; the fertilizer tape was placed at a distance of 4-5 cm away from the row. Mixed soil samples were taken from fertilizer tapes twice during the growing season of barley (in the first half of the growing season and after harvesting). The weather conditions were quite contrasting: in 2018 it was dry at the beginning of the growing season and during grain ripening, in 2019 was dry only during the formation of grain, and in 2020 - rather humid and relatively cool during almost the entire growing season. At the beginning of the growing season of barley in 2018, the highest content of mineral nitrogen in the soil was found with a shallow location of the fertilizers, but in 2019-2020 - in case fertilizer tapes at 20-22 cm from the surface. Location of fertilizer at a depth of 20-22 cm also provided a higher level of mobile phosphorus and potassium in the soil than applying at a depth of 10-12 cm. After the barley harvest, the highest accumulation of mineral nitrogen in the soil in 2018 was found with shallow application and in 2019-2020 - with deeper application. A tendency of more accumulation of chlorophyll in plants was observed with an increase in the depth of fertilization. Local application of fertilizers gave a reliable increase in yield in all variants of the experiment. However, the increase was twice as high when placing the fertilizer tape was at a depth of 20-22 cm as at a depth of 10-12 cm. Application of nitroammophoska to a depth of 20-22 cm was more effective than mixtures of simple and complex fertilizers. It was concluded that the hydrothermal conditions of the growing season and the depth of the location of fertilizers mutually affect the nutrient regime of the soil. The advantage of deep fertilization is more significant under insufficient moisture.

*E-mail: ecosoil@meta.ua

Citing: Smychenko V.M., Miroshnychenko M.M. 2021. Impact of the depth of fertilizer localization on the nutrient regime of Luvic Chernic Phaozem and yield of spring barley. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 91. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 22-30. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.31073/acss91-03>.

References

- Nosko B.S. 2015. Pages of the history of agrochemical research in Ukraine. Kharkiv: LLC «Shchedra Sadyba Plus». 292 p. [in Ukrainian].
- Trapeznikov V.K., Ivanov I.I., Talvinskaya N.G. 1999. Local plant nutrition. Ufa: Hylem, 260 p. [in Russian].
- Trapeznikov V.K., Ivanov I.I. 2012. Plant responses to the heterogeneous distribution of nutrients in the environment. *Agrochemistry*. № 5. P. 73-90. [in Russian].
- Fateev A.I. 2002. Local method of fertilizing. Soil and agrochemical aspects. Kharkov: Drukarnia № 13. 160 p. [in Russian].
- Nkebiwe P.M., Weinmann M., Bar-Tal A., Muller T. 2016. Fertilizer placement to improve crop nutrients acquisition and yield. A review and meta-analysis. *Field Crops Research*. № 196. P. 389-401.
- Vandermeer J., Whitbread A. 2012. Global food security, biodiversity, conservation and the future of agricultural intensification. *Biol. Conserv.* № 151. P. 53-59.
- Kisel V.I. 2000. Biological agriculture in Ukraine: problems and prospects. Kharkiv: Shtrykh. 162 p. [in Russian].
- Ponomarenko N.O., Yaropud V.M., Zozulyak O.V. 2016. Methods of local application of fertilizers. Vibrations in engineering and technologies: *All-Ukrainian scientific and technical journal*. № 3. P. 139-142. [in Ukrainian].
- Mineral nutrition reserves of cereals. Available at: <https://propozitsiya.com/rezervy-mineralnogo-pitaniya-zernovyh-kultur>. 175 p. [in Ukrainian].
- Zhatov O.G., Troczenko V.I., Zhatova G.O. 2004. Efficiency of mineral fertilizers on sunflower crops. *Bulletin of Sumy NAU*. № 1.P. 78-82. [in Ukrainian].
- Bhende N.V., Purohit J.K., Junankar A.A. 2019. A proposed concept for fertilizer placement under three different depth of soil through multilayered fertilizer-cum-cotton seed drill applicator. AIP Conference Proceeding. T. 2148, Iss. 1. <https://doi.org/10.1063/1.5123947>.
- Borges R., Mallarino A.P. 2001. Deep Banding Phosphorus and Potassium Fertilizers for Corn Managed with Ridge Tillage. *Soil Science Society American Journal*. № 65. P. 376-384.
- Nuttall W.F., Button R.G. 1990. The effect of deep banding N and P fertilizers on the yield of canola (*Brassica napus* L.) and spring wheat (*Triticum aestivum* L.). *Canadian Journal of Soil Science*. № 70. P. 629-639.
- Karamanos R.E., Harapiak J.T., Flore N.A. 2008. Long-term effect of placement of fertilizer nitrogen and phosphorus on barley yield. *Canadian Journal of Plant Science*. № 88(2). P. 285-290.
- Roger P.A., Kulasoriya S.A., Tirol A.C., Craswell E.T. 1980. Deep placement: a method of nitrogen fertilizer application compatible with algal nitrogen fixation in wetlands rice soils. *Plant and Soils*. № 57. P. 137-142. <https://doi.org/10.1007/BF02139650>.
- Liu W., Xiong Y., Xu X., Xu F., Hussain S., Xiong H., Yuan J. 2019. Deep placement of controlled-release urea effectively enhanced nitrogen use efficiency and fresh ear yield of sweet corn in fluvo-aquic soil. *Scientific Reports*. 9:20307. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56912-y>.
- Kaushal T., Onda M., Ito S., Yamazaki A., Fujikake H., Ohtake N., Sueyoshi K., Takahashi Y., Ohyama T. 2006. Effect of Deep Placement of Slow-release Fertilizer (Lime Nitrogen) Applied at Different Rates on Growth, N₂ Fixation and Yield of Soya Bean (*Glycine max* [L.] Merr.). *Journal of Agronomy and Crop Science*. № 192(6). P. 417-426. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2006.00230.x>.

18. Patuk Ia., Hasegawa H., Borodin I., Whitaker A.C., Borowski P.F. 2020. Simulation for Design and Material Selection of a Deep Placement Fertilizer Application for Soybean Cultivation. *Open Engineering*. 10(1-2). P.733-743. <https://doi.org/10.1515/eng-2020-0082>.
19. Biltuev A.S., Budazhanov L.V., Khutakov S.V., Czybenov B.B., Czydipov B.D. 2015. Influence of different depth application of mineral fertilizers on wheat productivity in different soil and climatic conditions of the dry steppe of Transbaikalia. *Agrochemistry*. № 10. P. 18-24. [in Russian].
20. Pavlov K.V. 2009. Optimization of potash nutrition in barley with local application of potash fertilizers. *Agrochemistry*. № 2. P. 28-34. [in Russian].
21. Pavlov K.V., Novikov M.M. 2013. Influence of local application of potash fertilizers to chernozem on barley yield. *Agrochemistry*. № 4. P. 48-54. [in Russian].
22. МББ 31–497058–019–2005 Plants. Determination of general forms of nitrogen, phosphorus, potassium in one sample of plant material: Methods for determining the composition and properties of soils. Kharkiv, 2005. Book 2. P. 189–208. [in Ukrainian].
23. Medvedev V.V., Laktionova T.N., Dontsova L.V. 2011. Ukraine's soil water properties and water supply for agricultural crops. Kharkiv: Apostrof. 224 p. [in Russian].
24. Grossman J.D., Rice K.J. 2012. Evolution of root plasticity responses to variation in soil nutrient distribution and concentration. *Evolutionary Applications*. №5(8). P. 850-857. <https://doi.org/10.1111/j.1752-4571.2012.00263.x>.
25. Hongbo L., Zhang F.S. 2012. Contribution of Root Proliferation in Nutrient-Rich Soil Patches to Nutrient Uptake and Growth of Maize. *Pedosphere*. № 22(6). 776-784. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(12\)60063-0](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(12)60063-0).
26. Costa S.E.V.G.A., de Souza E.D., Anginoni I., Flores J.P.C., Cao E.G., Holzschuh M.J. 2009. Phosphorus and Root Distribution and Corn Growth as Related to Long-term Tillage System and Fertilizer placement. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*. № 33(5). P. 1237-1247. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000500017>.
27. Hansel F.D., Amado T.J.C., Diaz D.A.R., Rosso L.H.M., Nicoloso F.T., Schorr M. 2017. Phosphorus fertilizer placement and tillage affect soybean root growth and drought tolerance. *Agronomy Journal*. № 109. P. 2936-2944. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.040202>.
28. Turchin F.V. 1972. Nitrogen nutrition of plants and the use of nitrogen fertilizers. Selected Works. Moscow: Kolos. 336 p. [in Russian].
29. Naj P.Kh., Tinker P.B. 1980. The movement of solutions in the soil-plant system. Moscow: Nauka. 368 p. [in Russian].
30. Degryse F., McLaughlin M.J. 2014. Phosphorus diffusion from fertilizer: visualization, chemical measurements, and modeling. *Soil Science Society of America Journal*. № 78(3). P. 832. <https://doi.org/10.2136/sssaj2013.07.0293>.
31. Norton J., Ouyang Y. 1931. Controls and adaptive management of nitrification in agricultural soils. *Frontiers in Microbiology*. 2019. № 10. P. 1931. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01931>.
32. Pavlov K., Voronina L. 2016. Potassium placement effect on dynamic of barley (*Hordeum vulgare* L.) nutrition. *Soil Science and Plant Nutrition*. № 62(5-6). P. 500-503. <https://doi.org/10.1080/00380768.2016.1247384>.
33. Khristenko A.A. 2017. Potash condition of soils and the effectiveness of fertilizers. Kharkov: Brovin A.V. 120 p. [in Russian].
34. Alam Md.K., Bell R.W., Salatin N., Pathan S., Mondol A.T.M.A.I., Alam M.J., Rashid M.H., Hosain M.I., Shill N.C. 2018. Banding of fertilizer improves phosphorus acquisition and yield of zero tillage maize by concentrating phosphorus in surface soil. *Sustainability*. № 10. 3234. <https://doi.org/10.3390/su10093234>.
35. Lu D., Song H., Jiang S., Chen X., Wang H., Zhou J. 2019. Integrated phosphorus placement and form for improving wheat grain yield. *Agronomy Journal*. 111(4). P. 1998-2004. <https://doi.org/10.2134/agronj2018.09.0559>.

УДК 631.816.33

Влияние глубины локализации минеральных удобрений на питательный режим чернозема оподзоленного тяжелосуглинистого и урожайность ячменя ярового

В. Н. Смыченко, Н. Н. Мирошніченко*

Национальный научный центр «Институт почвоведения и агрохимии имени А.Н.Соколовского», Харьков, Украина
*E-mail: ecosoil@meta.ua

Цель исследований – определение влияния глубины локального внесения минеральных удобрений на питательный режим почвы и урожайность ячменя ярового. Исследования проводили в течение 2018 и 2020 гг. во временном мелкоделяночном опыте. Почва – чернозем оподзоленный тяжелосуглинистый на лессе (Luvic Chernic Phaeozem). Сравнивали эффективность внесения $N_{60}P_{60}K_{60}$ в форме нитроаммофоски или смеси аммофоса, аммиачной селитры и калия хлористого на глубину 10-12 см и 20-22 см от поверхности почвы. Ширина междурядий посевов ячменя 15 см, ленту удобрений размещали на расстоянии 4-5 см в сторону от рядка. Смешанные пробы почвы отбирали в лентах внесения удобрений дважды за вегетационный период ячменя (в первую половину вегетации и после уборки урожая). Погодные условия были достаточно контрастными: в 2018 г. засушливыми в начале вегетации и во время созревания зерна, в 2019 г. – засушливыми только при формировании зерновки, а в 2020 – достаточно влажными и относительно прохладными в течении почти всей вегетации. В засушливых условиях в начале вегетации ячменя в 2018 году наибольшее содержание минерального азота в почве отмечено при неглубоком расположении ленты удобрений, а в 2019 и 2020 гг. – при внесении тукосмеси на 20-22 см от поверхности. Внесение удобрений на глубину 20-22 см также обеспечило более высокий уровень содержания подвижного фосфора и калия в почве в начале вегетации, чем внесение на глубину 10-12 см. После сбора урожая ячменя наибольшее накопление минерального азота в почве в 2018 г. обнаружено при неглубоком внесении удобрений, а в 2019 и 2020 гг. – при более глубоком внесении. Отметим тенденцию накопления большего количества хлорофилла в растениях при более глубоком внесении удобрений. Локальное внесение удобрений дало достоверную прибавку урожая на всех вариантах опыта, однако при размещении на глубине 20-22 см прибавка была вдвое выше, чем при глубине 10-12 см. Внесение нитроаммофоски на глубину 20-22 см оказалось более эффективным, чем смеси простых и сложных удобрений. Сделан вывод, что гидротермические условия вегетационного периода и глубина расположения ленты минеральных удобрений взаимосвязанно влияют на питательный режим почвы. Преимущество глубокого внесения удобрений более весомо при недостаточном увлажнении.

Ключевые слова: локализация; минеральные удобрения; чернозем оподзоленный; ячмень яровой.