

УДК 631.153.3

Вплив гідротермічних флуктуацій та способів обробітку на рухомість фосфатів у ґрунті

Я.А. Погромська

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

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
<p>Отримано 10.08.2019 Отримано після доопрацювання 02.02.2020 Затверджено до друку 16.03.2020 Доступно онлайн 01.06.2020</p>	<p>Стаття є продовженням серії публікацій результатів дослідження поведінки елементів живлення у системі «ґрунт-рослина» на тлі глобальних кліматичних змін з огляду на можливість мінімізації обробітку ґрунту. В умовах стаціонарних польових дослідів на чорноземі звичайному у Донецькому регіоні впродовж дев'яти років (1997-2005) провели моніторинг вмісту фосфатів у ґрунті в межах орного шару. Досліджували ґрунт під основними культурами зерно-просапної сівозміни на варіантах з різними способами обробітку за однакової системи мінерального удобрення. Одночасно реєстрували динаміку кількості опадів і температури повітря. Виявлено стійкий ефект впливу метеорологічних факторів на рівень фосфорного живлення рослин. Показано, що вміст фосфатів залежить від погодних умов не тільки поточного, але й двох попередніх років, і також від способу основного обробітку ґрунту. Визначено особливості формування фосфорного режиму ґрунту на варіантах із традиційною відвальною оранкою, безвідвальним плоскорізним та нульовим обробітками. Показано, що у ґрунтово-кліматичних умовах Донецького регіону ґрунт під традиційною оранкою в сівозміні зерно-просапних культур є найбільш стійким щодо впливу погодних факторів на рухомість фосфору. Відмова від обертання скиби, особливо в системі no-till, посилює ризик негативної зміни вмісту фосфатів у ґрунті за тривалого впливу високих температур протягом вегетаційного періоду. За безвідвального основного обробітку плоскорізом створюються умови, за яких вміст фосфатів у ґрунті помітно залежить від характеристик погоди осіннього періоду попередніх двох років. Всі висновки підтверджено результатами кореляційного аналізу та дисперсійного аналізу (ANOVA).</p>
<p><i>Ключові слова:</i></p> <p>безвідвальний обробіток; гідротермічні флуктуації; ґрунт; Донецький регіон; нульовий обробіток; оранка; опад; температура повітря; фосфати.</p>	

*E-mail: joanap@i.ua

Форма цитування: Погромська Я.А. Вплив гідротермічних флуктуацій та способів обробітку на рухомість фосфатів у ґрунті. *Агрехімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 89. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2020. С. 71-82. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss89-08>.

1. Вступ

Вміст фосфатів в орному шарі, як рухомого фосфору, що характеризує запаси найбільш засвоюваної частини цього елемента, є одним з основних показників рівня родючості ґрунту в агрохімічному паспорті поля. У зв'язку з цим, до стабільності та відтворюваності даних щодо вмісту рухомого фосфору висуваються підвищені вимоги. Основними впливовими чинниками формування рівня вмісту фосфатів у ґрунті є внесення фосфорних добрив та винос фосфору сільськогосподарськими культурами.

За думкою деяких дослідників вміст фосфатів у ґрунті вважають досить інертним показником, для зміни параметрів якого потрібні вельми високі рівні удобрення [1]. Поряд із цим відомо про залежність фосфорного живлення рослин від кліматичних чинників [2, 3] і помічено, що впровадження ґрунтозахисних технологій також впливає на рухомість фосфору в ґрунті та на розподіл його у ґрунтовому профілі [4]. Класичним є ствердження, що «на стан фосфатів у ґрунті впливають органічні речовини, вологість і температура» [5].

Доступність фосфору рослинам залежить від урівноваження протилежно направлених процесів – його мобілізації та іммобілізації, які обумовлюють розчинення чи осадження мінеральних сполук, що містять фосфор, їх сорбцію і десорбцію, мінералізацію фосфорорганічних сполук та біологічне закріплення елемента. Направленість цих процесів у ґрунті суттєво визначається активністю ґрунтової біоти і залежить як від загальної кількості мікроорганізмів у ґрунті, так і від кількості мікроорганізмів, що мінералізують органічні сполуки фосфору [6]. А діяльність мікрофлори є функцією гідротермічних умов та умов аерації ґрунту.

Перехід до ґрунтозахисних технологій обробітку ґрунту призводить до фізико-хімічних змін у ґрунтовому профілі, зміни будови верхніх його шарів, що впливає на водно-повітряний та температурний режими ґрунту змінюючи умови функціонування біоти. Зокрема, дослідники [7] вказують на підвищення рухомості фосфору за відмови від обертання скиби на чорноземних ґрунтах. Збільшення вмісту фосфатів за таких умов

великою мірою визначається накопиченням у ґрунті підвищеної кількості CO₂, що є результатом життєдіяльності рослин та ґрунтової мікрофлори [8]. Розчинення вуглекислого газу у ґрунтовому розчині призводить до утворення вуглекислоти і часткового заміщення воднем поглинутого ґрунтовим поглинальним комплексом кальцію та переведення сполук фосфору у більш розчинні гідро- і дігідрофосфати. Після висихання ґрунту частина дігідро- і гідрофосфат-іонів переходить у нерозчинні фосфати кальцію та магнію і рівновага порушується, а після зволоження ґрунту, навпаки, відбувається перехід у розчин додаткової кількості фосфат-іонів і рівновага відновлюється [9].

Збільшення частоти проявів критичних погодних явищ (посуха, злива, надмірно висока чи низька температура тощо) на тлі глобальних кліматичних змін актуалізує дослідження поведінки фосфору в системі «ґрунт-рослина» в сучасних технологіях рослинництва з огляду на перехід до мінімізації обробітку ґрунту.

Метою досліджень є визначення нагального й тривалого впливу метеорологічних факторів на вміст фосфатів в орному шарі ґрунту та формування фосфорного режиму чорнозему звичайного за оранки, безвідвального плоскорізного та нульового обробітку ґрунту в зерно-просапній сівозміні в умовах Донецького регіону.

2. Об'єкти, матеріали і методи досліджень

Роботу проведено в межах польового стаціонарного дослідження на базі дослідного господарства ДП «ДГ «Донецьке» Національного наукового центру «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського». Територія досліджень розташована на Донецькій височині північно-західної частини Донецького кряжу: 48°19'39.3"N 37°46'12.9"E, висота над рівнем моря 190 м. Ґрунт – чорнозем звичайний важкосуглинковий слабоеродований на лесі. Дослідження проведено протягом 1997-2005 рр. у зерно-просапній сівозміні з чергуванням культур: *кукурудза на силос; пшениця озима; кукурудза на зерно; ячмінь; соняшник; зерносуміш; пшениця озима*.

Застосовано три типи основного обробітку ґрунту: різноглибинна відвальна оранка; різноглибинний безвідвальний плоскорізний обробіток (глибина обробітку відповідно до технологічних потреб культури); нульовий обробіток (*no-till*). Застосування мінеральних добрив та гербіцидів – за традиційною схемою, з додатковою (лише для *no-till*) обробкою ділянок за два тижні до посіву гербіцидом Раундап (3 кг/га).

Проби ґрунту відбирали з шару 0-30 см в період активної вегетації культур.

Вміст фосфатів у зразках ґрунту визначали за методом Мачігіна (ДСТУ 4114-2002), вміст органічної речовини за Єгоровим (ДСТУ 4732:2007). Здобуті дані застосовували для оцінки рівня рухомості фосфору і доступності його рослинам та рівня лабільності органічної речовини ґрунту. Целюлозолітичну активність (ЦЛА) визначали апікаційним методом [10].

Статистичну обробку даних виконували методами багатфакторного дисперсійного (ANOVA) та кореляційного аналізу.

Метеорологічні дані взято безпосередньо з результатів спостережень на метеопосту селища Суха-Балка (48°19'33.9"N 37°45'54.3"E). Гідротермічний коефіцієнт (ГТК) розраховували за Селяниновим [11].

3. Метеорологічні умови

Період досліджень характеризується контрастністю погодних умов. Закладку дослідження здійснено в рік (1997) інтенсивного зволоження із значенням гідротермічного коефіцієнта Селянинова 1,25 (Табл. 1).

Таблиця 1

Середньорічні гідротермічні параметри періоду досліджень

Метеорологічний показник	Метеорологічні параметри у роки досліджень (у період активних температур >10 °C)										
	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	1996-2005
Сума опадів, мм	306	374	197	238	329	605	332	349	374	218	322
Сума температур повітря, °C	3488	2990	3736	3733	3482	3625	3650	3293	3371	3735	3510
ГТК	0,88	1,25	0,53	0,64	0,94	1,67	0,91	1,06	1,11	0,58	0,97

Перші два (1998 і 1999) й останній (2005) роки, є такими, що відповідають умовам зони сухого землеробства. Протягом чотирьох років (2000, 2002-2004) зволоження було достатнім і один рік (2001) характеризується як рік інтенсивного зволоження. Таким чином, впродовж часу експерименту ми мали змогу фіксувати вплив різноманітних погодних умов на поведінку об'єкту досліджень – вмісту фосфатів у ґрунті.

Найбільш помітні різниці метеопараметрів між роками дослідження спостерігали у такі періоди: (1) період активних температур більше + 10 °С; (2) період вегетації основних культур (V-VII місяці); (3) пізня осінь (X-XI місяці) (Табл. 2).

Таблиця 2
Динаміка метеорологічних параметрів по місяцях

Рік	Місяць													
	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
	Температура повітря, °С							Опади, мм						
1997	18,0	22,6	20,6	19,7	12,8	6,2	2,9	29,5	107,1	163,0	52,0	22,0	86,5	50,0
1998	17,3	24,2	26,8	23,1	17,2	9,0	-0,9	40,0	35,0	58,5	31,0	2,8	43,5	33,0
1999	12,9	24,5	27,3	23,0	17,1	11,5	-0,6	68,0	13,5	62,5	14,5	0,0	57,5	52,5
2000	15,0	19,9	24,2	23,8	14,7	8,9	2,5	11,0	156,4	10,0	23,0	104,5	24,5	2,0
2001	15,5	19,2	27,6	23,6	17,0	9,5	3,9	97,0	245,6	13,0	78,0	44,5	7,5	44,5
2002	17,9	21,5	27,6	21,8	17,4	8,2	3,7	19,9	34,5	66,6	32,0	153,7	59,0	41,5
2003	21,0	19,2	21,3	20,9	15,2	9,0	2,5	0,8	89,0	155,7	79,0	3,0	39,3	37,4
2004	15,7	18,5	21,6	21,5	17,1	8,8	3,1	48,5	71,5	25,0	114,5	34,5	52,5	46,5
2005	19,9	20,0	22,5	23,5	18,4	10,1	3,7	7,8	57,6	74,6	25,0	12,5	29,7	76,0
<i>Середні багаторічні параметри</i>														
1970-2015	17,0	21,0	23,2	22,3	16,0	8,7	2,2	47,7	69,4	55,4	37,4	47,7	34,9	38,5
1997-2005	17,0	21,1	24,4	22,3	16,3	9,0	2,3	35,8	90,0	69,9	49,9	41,9	44,4	42,6

4. Результати досліджень та їх обговорення

4.1. Загальний рівень вмісту фосфатів у ґрунті та його динаміка

Динаміка вмісту фосфатів в орному шарі у період 1998-2005 рр. вказує на достатньо відчутне коливання його середнього значення від 24,7 до 47,5 мг/кг ґрунту (Табл. 3).

Таблиця 3
Динаміка середньорічного вмісту фосфатів у ґрунті під вегетуючими культурами на неудобрених ділянках досліді (шар 0-30 см)

Показник	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
P ₂ O ₅ , мг/кг ґрунту	24,7 ^e	47,5 ^d	25,6 ^{a,e}	36,2 ^{a,b}	42,6 ^{c,d}	34,7 ^{a,b}	39,1 ^{b,c}	44,0 ^{c,d}

Примітка: a, b, c, d, e – гомогенні групи згідно з критерієм Фішера порівняння середніх (тест LSD ANOVA) на рівні значущості 95 % – свідчать про суттєвість різниці між значеннями середніх.

Динамічність показника свідчить про нестабільність вмісту фосфатів в орному шарі, і це узгоджується зі ствердженнями щодо залежності фосфорного режиму ґрунту від багатьох природних факторів, зокрема і від погодно-кліматичних умов [9,12-16].

4.1.1. Загальні тенденції динаміки вмісту фосфатів у ґрунті залежно від погоди

Аналізуючи періоди зниження та підвищення рівня вмісту фосфатів у ґрунті констатували, що цьому передують певні погодні умови. Так, мало зважаючи на погоду попереднього року, підвищення рухомості фосфору у 1999, 2002 та 2004-2005 рр. визначається прохолодним та відносно зволеним літом за 2 роки до вимірювання, тобто, у роках 1997, 2000 та 2003-2004 (див. табл. 2).

Розглянемо детальніше, які саме погодні умови склалися за два роки до помітного підвищення вмісту фосфору в ґрунті. У 1997 р. середня температура у VII-IX місяцях становить 17,7 °С, що на 2,8 °С менше за середню багаторічну (20,5 °С). Літні опади становлять 322 мм, що набагато більше середніх багаторічних (162 мм). Саме такі умови передують підвищенню вмісту у ґрунті фосфатів у 1999 р.

У 2000 р. середньодобова температура повітря у VII-IX місяцях становить 20,9 °С і є ледь нижчою від середньої багаторічної у період досліджень (21,0 °С), як і температура повітря червня – 19,9 °С (середня 21,1 °С), але температура липня – 24,2 °С, є нижчою за середню багаторічну (24,4 °С) та суттєво нижчою за температуру у цей період попередніх двох років та послідуєчих двох років. Температура вересня 14,7 °С є на 1,6 °С нижче середньої за період дослідження. Тільки температура серпня 23,8 °С на 1,5 °С перевищує середню багаторічну. Тобто, літо 2000 р. характеризується дуже коротким спекотним періодом і раннім осіннім похолодання. Опади теплового періоду сконцентровані у червні (156,4 мм), але сумарна кількість опадів влітку 2000 р. (189,4 мм) є більшою за середню багаторічну (162,2 мм). Такі умови передують *підвищенню вмісту фосфатів у ґрунті 2002 р.*

Рік 2002 характеризується холодним серпнем з температурою 21,8 °С (середня – 22,3 °С) та сумарною кількістю опадів за літо 133 мм (середня – 162,2 мм). А літо 2003 р. повністю прохолодне – середня температура у період червень-вересень 19,1 °С (середня – 21,0 °С) із сумарною кількістю опадів 323,7 мм, що у два рази більше за середню багаторічну. *Такі умови передують підвищенню вмісту фосфатів у ґрунті у 2004 і 2005 роках.*

Падінню вмісту фосфатів у ґрунті у 2000 та 2003 роках передують тривалі дуже спекотні періоди 1998 та 2001 років та посушливі літні умови 1999 та 2002 років відповідно.

Тепер детальніше розглянемо погодні умови, які склалися за два роки до помітного зниження вмісту фосфору в ґрунті. Середня температура періоду червень-вересень 1998 р. становить 22,8 °С, що значно вище за середню за всі роки спостережень (21,0 °С) і середню багаторічну (20,6 °С). Кількість опадів у літній період 1999 р. становить 133 мм, що нижче за середню багаторічну (162,2 мм). Такі умови передують падінню вмісту фосфатів у ґрунті 2000 р.

Середня температура періоду червень-вересень 2001 р. становить 22,8 °С, що вище порівняно з середньою багаторічною (20,5 °С) і середньою за всі роки досліджень (21,0 °С). Кількість опадів літнього періоду 2002 р. становить 133 мм, що також менше середньої багаторічної (162,2 мм). *Такі умови передують падінню вмісту фосфатів у ґрунті у 2003 році.*

4.1.2. Динаміка вмісту фосфатів у ґрунті залежно від способу його обробітку

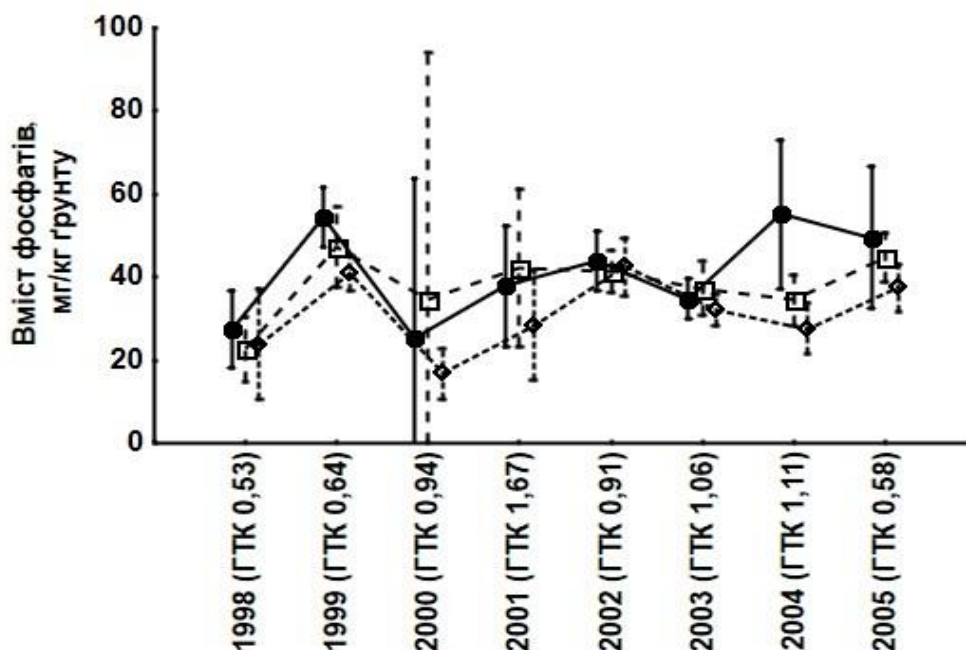
Усереднення даних досліду під усіма культурами сівозміни, вказує на зменшення за відмови від обертання скиби вмісту фосфатів у ґрунті у межах досліджуваного шару: від 40,0 мг/кг за відвального і 40,9 мг/кг ґрунту за безвідвального до 35,1 мг/кг ґрунту за нульового обробітку ґрунту (найменша істотна різниця середніх становить 3,7 мг/кг ґрунту за 95 % рівня достовірності). Тобто, маємо суттєве і достовірне зниження вмісту фосфатів за нульового обробітку і статистично недостовірне збільшення за безвідвального плоскорізного обробітку.

Однак коливання параметрів вмісту фосфатів у ґрунті в різні роки спостереження вказують на те, що існують умови збільшення та зменшення суттєвості диференціації параметрів, обумовленої способом обробітку ґрунту (Рис. 1).

Найбільш вірогідним є перевищення вмісту фосфатів за оранки відносно обробіток без обертання скиби в роки підвищення рухомості фосфору 1999 р. та 2004-2005 рр. На рівні 95 % достовірності в ці роки оранка є більш ефективною, ніж нульовий обробіток. Для таких років характерним є передування за рік до попереднього (у позаминулому відносно року спостереження році) короткотривалих (не більше місяця) періодів перевищення середньомісячної температури (22 °С).

Для випадків відсутності достовірної диференціації по обробітках (1998, 2000-2003 рр.) літо за рік до попереднього характеризується більш тривалим періодом (2-3 місяці) перевищення середньомісячної температури (див. табл. 2). Тобто, тривалі спеки обумовлюють зменшення диференціації за обробітками щодо рухомості фосфатів у верхньому шарі ґрунту.

Однак більш «чутливим» до зниження температури повітря і підвищення кількості опадів є орний шар ґрунту за відвального обробітку, де створюються умови для формування максимального (серед варіантів обробітку) вмісту фосфатів у ґрунті.



Умовні позначення - тип обробітки: — відвальний; - - - безвідвальний; нульовий (вертикальними лініями позначено 95% довірчий інтервал)

Рис. 1. Середній (під усіма культурами сівозміни) вміст фосфатів у ґрунті в шарі 0–30 см у період активної вегетації рослин

Помітною є затримка терміну підвищення рухомості фосфору за відмови від обертання скиби до 2005 року на відміну від оранки, за якої підвищення спостерігається вже з 2004 року. Тобто, сумарна кількість опадів за літо 2002 року 133 мм (проти багаторічних 158 мм) є достатньою для формування збільшення вмісту фосфатів у 2004 році для оранки, але за відмови від обертання скиби такої кількості опадів не достатньо.

Виходячи із порівняння середніх значень констатуємо, що найбільш достовірним і суттєвим є падіння вмісту фосфатів за нульового обробітки. Тобто система *no-till* є ризикованою щодо рухомості фосфору за умови комбінування спеки із послідуною або тривалою посухою. Інтенсивні обробітки, навпаки, зменшують ризики можливого падіння рухомості фосфору через перегрів ґрунту.

Найбільш суттєве підвищення вмісту фосфатів спостерігається за оранки. Тобто, відвальний обробіток формує умови засвоєння опадів за помірного температурного режиму теплого періоду, що сприяє мобілізації фосфатів у наступні роки.

За безвідвального плоскорізного обробітки коливання рухомості фосфору є найменшими. Діапазон коливання значень протягом періоду дослідження для оранки становить 29,8 мг/кг ґрунту, для нульового обробітки – 25,7 мг/кг ґрунту, для безвідвального плоскорізного – 24,7 мг/кг ґрунту.

4.2. Кореляційний зв'язок між вмістом фосфатів у ґрунті та метеорологічними показниками

4.2.1. Зв'язок із кількістю опадів

Вологістю середовища суттєво контролюється кількісний і якісний склад мікрофлори. Тому нерівномірність розподілу річних опадів є одним із факторів змін сукупності ґрунтових мікроорганізмів. А диференціація режиму вологості ґрунту за різних видів механічного обробітки формує зсуви у часі пікових параметрів мікробіологічної активності. Так, результатами моніторингу на темно-каштановому ґрунті [17] констатовано, що пік кількості в орному шарі фосфат мобілізуючої мікрофлори за відвального обробітки приходить на березень, за безвідвального – на травень, а за нульового – на жовтень. Отже зв'язок між фосфатним режимом ґрунту у різних системах обробітки і за різними метеорологічними показниками є логічним.

Кореляційний аналіз дозволяє оцінити щільність впливу сезонних метеорологічних факторів на загальну рухомість фосфору за різних способів обробітки ґрунту. Із загальних тенденцій можна відмітити існування відчутного впливу на рухомість фосфору в ґрунті погодних умов не тільки поточного року, але й попереднього, і за два роки до поточного.

Опади періоду активних температур поточного року позитивно, але дуже слабо, корелюють з умістом фосфатів у шарі 0-30 см за відвального і безвідвального обробітків, однак за нульового обробітку залежність від'ємна (Рис. 2).

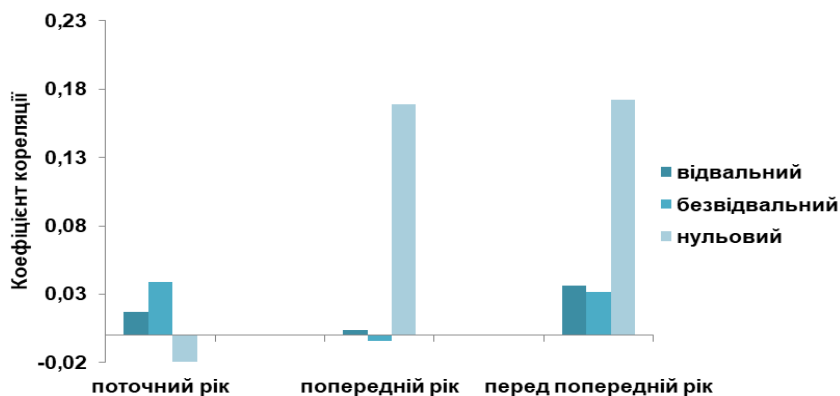


Рис.2. Коефіцієнт кореляції вмісту фосфатів в орному шарі ґрунту з опадами періоду активних температур

Опади попереднього року (періоду активних температур) практично не корелюють з умістом фосфатів у ґрунті за оранки, за безвідвального обробітку зв'язок між показниками слабкий від'ємний, а за нульового – позитивний і максимально щільний ($r=0,17$). Опади періоду активних температур перед попереднього року позитивно корелюють з умістом фосфатів у ґрунті, але за оранки і безвідвального обробітку не суттєво і більш щільно за нульового обробітку ($r=0,17$).

Можна зробити висновок, що декілька більш чутливим до опадів періоду активних температур з тривалим ефектом є рівень вмісту фосфатів в орному шарі ґрунту за системи no-till, а інтенсивні обробітки зменшують щільність залежності формування рухомості фосфору від зволоження в цей період.

Більше того, існування від'ємних кореляцій, особливо з опадами періоду активної вегетації культур V-VII місяців ($r = 0,44$, див. Рис. 3) для обробітків без обертання скиби, може свідчити про негативний вплив перезволоження та формування при цьому умов іммобілізації фосфору та зменшення його рухомості. Констатовано, що негативний ефект може бути відчутним за нульового обробітку вже в поточному році, а за безвідвального плоскорізного – навіть наступного року.

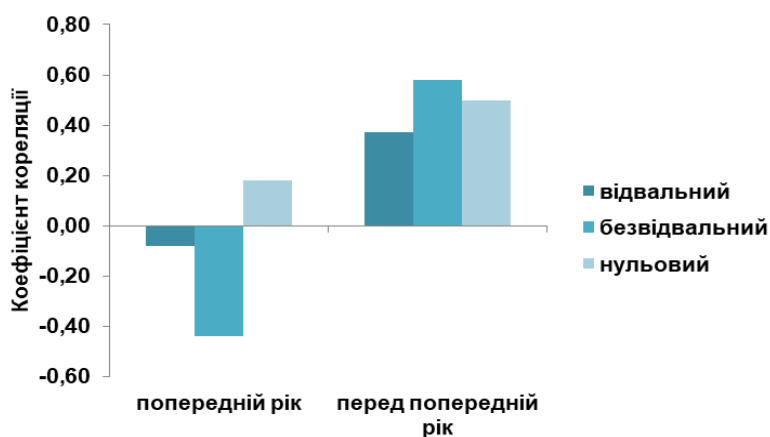


Рис.3. Коефіцієнт кореляції вмісту фосфатів у ґрунті в межах орного шару з опадами періоду активної вегетації культур (V-VII місяці)

Із цього виходить, що перезволоження саме в період активного розвитку біологічних процесів у системі «ґрунт-рослина» може викликати суттєвий негативний ефект за безвідвального плоскорізного обробітку щодо рухомості фосфору наступного року, через біологічну іммобілізацію фосфатів.

Це підтверджує більш інтенсивний за безвідвального обробітку розвиток ґрунтової мікрофлори в період активної вегетації рослин 1998 року, якому передуює нетипово для регіону прохолодний та зволожений 1997 рік (див. табл. 1), зокрема, збільшення целюлозолітичної активності орного шару у 1,5-3 рази порівняно з оранкою (Табл. 4).

Таблиця 4

Динаміка целюлозолітичної активності у шарі ґрунту 0-30 см під кукурудзою залежно від способу обробітку

Спосіб обробітку	Рік, місяць									
	1996		1997		1998		1999		2000	
	VII	VII	VIII	VI	VII	VI	VII	VI	VII	
Целюлозолітична активність, % за добу										
Відвальний	0,23	0,75*	2,57**	0,89	0,26	0,66**	0,44*	0,6	0,24	
Безвідвальний	0,14	0,20*	0,56**	1,42	0,74	0,39**	0,11*	0,11	0,68	

Примітка: * і ** – різниця за обробітком достовірна на рівні 95 % та 90 % відповідно.

Інтенсифікація мікробіологічної активності орного шару спостерігається на фоні підвищення вмісту рухомого вуглецю, як живильного середовища для ґрунтової мікрофлори, за відмови від обертання скиби за післядії перезволоження (Табл. 5).

Таблиця 5

Вміст лужнорозчинного вуглецю у ґрунті (шар 0-10 см) у травні залежно від способу обробітку

Спосіб обробітку	Рік				
	1996	1997	1998	1999	2000
	Вміст вуглецю, мг/кг ґрунту				
Відвальний	478	537*	358*	196	341
Безвідвальний	404	416*	459*	200	214

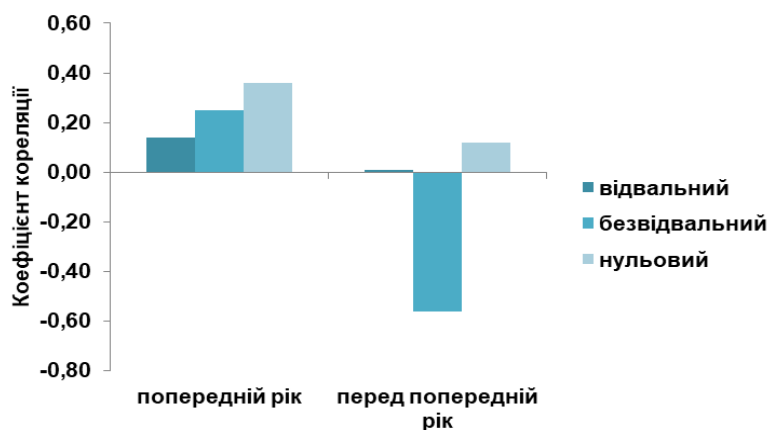
Примітка: * – різниця за обробітком достовірна на рівні 95 %.

Згадку про перебільшення вмісту лужнорозчинного вуглецю в орному шарі чорнозему звичайного за безвідвального обробітку у чергуванні зволжених та посушливих років знайдено і в роботах інших дослідників [18].

Тобто, безвідвальний плоскорізний обробіток, за перезволоженого періоду активної вегетації культур, обумовлює можливість ризику ситуативного зниження рухомості фосфору через його біологічну іммобілізацію.

Але така іммобілізація є, одночасно, фактором утворення запасів фосфору, доступного для його подальшої мобілізації, ще через рік, про що свідчить позитивний кореляційний зв'язок вмісту фосфатів в орному шарі ґрунту поточного року та кількості опадів періоду активної вегетації культур за два роки до поточного (див. рис. 3). І більш високі позитивні значення коефіцієнта Пірсона за обробітків без обертання скиби для опадів періоду активної вегетації позаминулого року (r 0,37 для оранки і 0,58 та 0,50 за безвідвального та нульового обробітків відповідно) говорять про більш щільний вплив умов зволоження цього періоду на утворення резерву фосфатів для подальшої їх мобілізації.

Опади після вегетаційного періоду (VIII-IX місяців) не сильно (хоча й позитивно) впливають на фосфатний режим ґрунту в наступному році (Рис. 4).

**Рис. 4.** Коефіцієнт кореляції вмісту фосфатів у ґрунті в орному шарі з кількістю опадів після вегетаційного періоду (VIII-IX місяці)

Більш помітним цей зв'язок є за відмови від обертання скиби (r 0,14 для оранки і 0,25 та 0,36 за безвідвального та нульового обробітків відповідно). Однак для безвідвального плоскорізного обробітку щільним є від'ємний зв'язок між вмістом фосфатів у ґрунті та опадами цього періоду за два роки до поточного. Тобто, такий тип обробітку за перезволоження може формувати умови зменшення рухомості фосфору.

Вплив кількості опадів осіннього періоду, за X-XI місяці, на вміст фосфатів у ґрунті орного шару наступного року залежно від способу обробітку ґрунту показано на рисунку 5. Мінімальною є кореляція за оранки, максимальною – за безвідвального плоскорізного обробітку (r -0,41 за оранки і -0,62 та -0,47 за безвідвального та нульового обробітків відповідно).

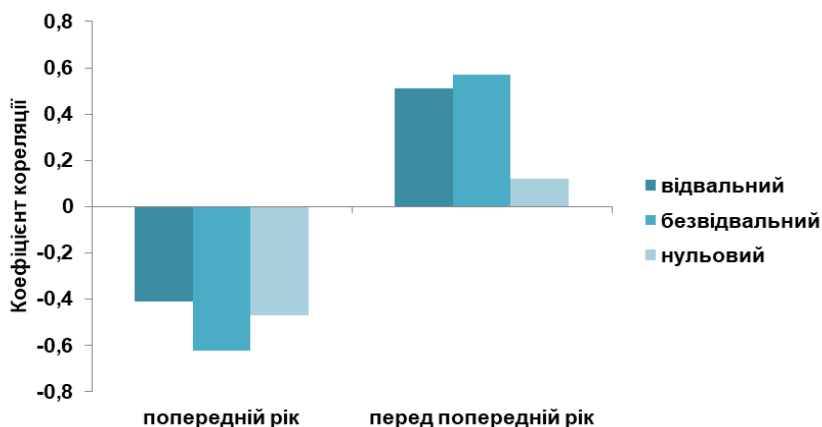


Рис. 5. Коефіцієнт кореляції вмісту фосфатів у ґрунті в межах орного шару з кількістю опадів у X-XI місяцях

Однак у послідуєчому (ще через рік) вплив опадів жовтня-листопаду на рухомість фосфору є позитивним. При цьому, максимально щільною є кореляція за інтенсивних обробітків ґрунту (r 0,51 за оранки і 0,55 за безвідвального плоскорізного) і мінімальним є зв'язок за *no-till* (r 0,12). Це можна пояснити тим, що іммобілізація фосфатів в осінній період є тимчасовою і утворює запаси рухомого фосфору з перспективою на їх мобілізацію в період активної вегетації через рік, що менш відчутно в системі прямого посіву (за нульового обробітку), де можливим є зменшення інтенсивності процесів активації фосфору.

4.2.2. Вплив температурного режиму на рухомість фосфору

На вміст фосфатів у ґрунті значною мірою впливає температурний чинник. Критичними є як низькі, так і високі температури. У разі підвищення температури може спостерігатися посилення іммобілізації фосфору ґрунтовою мікрофлорою [19] та хімічної фіксації фосфору ґрунтом [20]. Тоді як низькі температури знижують інтенсивність мінералізації органічного фосфору [21].

Зв'язок суми активних температур поточного року з вмістом фосфатів у ґрунті є позитивним (Рис. 6), що свідчить про вагомість внеску процесів мінералізації органічного фосфору у формування рівня рухомості елемента.

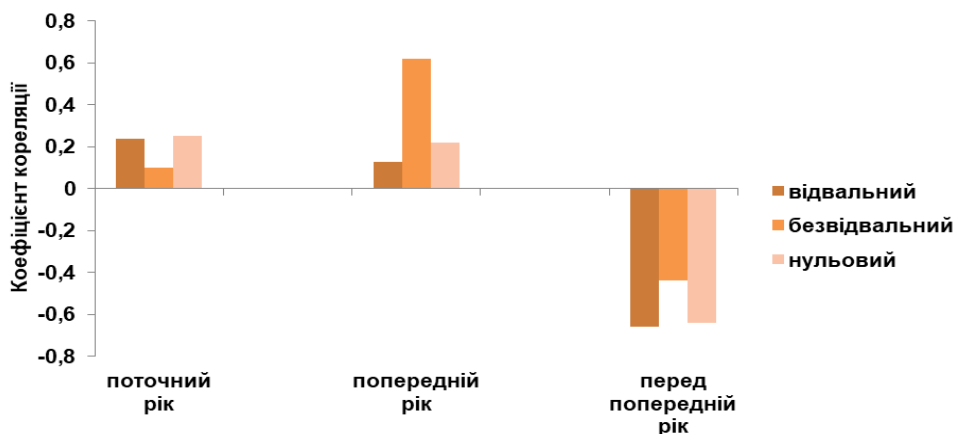


Рис. 6. Коефіцієнт кореляції вмісту фосфатів у ґрунті з сумою активних температур

Мінімально щільний зв'язок спостерігається за безвідвального обробітку ($r = 0,10$), а за оранки і *no-till* – майже однаковий ($r = 0,24$ і $0,25$ відповідно). Зв'язок з показниками попереднього року мінімальний за оранки ($r = 0,13$), відмова від обертання скиби збільшує щільність кореляції ($r = 0,62$ і $0,22$ за безвідвального та нульового обробітків відповідно).

Характерною є висока щільність від'ємної кореляції з умістом фосфатів у ґрунті суми температур у період активних температур за два роки до поточного. Це свідчить про наявність необоротної температурної фіксації фосфору в ґрунті. При чому, для оранки і нульового обробітку – майже однакова ($r = -0,66$ і $-0,64$ відповідно) та найменша для безвідвального обробітку ($r = -0,44$). Тобто, особливою безвідвального плоскорізного обробітку є зменшення вірогідності температурної активації рухомості фосфору в період активних температур поточного року, але сприяння підвищенню вмісту фосфатів у ґрунті наступного року, зменшення температурної фіксації фосфору через рік.

Достатньо щільною є від'ємна кореляція середньої температури повітря періоду активної вегетації культур (V-VII місяці) за два роки до поточного із кількістю фосфатів в орному шарі ґрунту (Рис. 7). Надмірні температури у цей період негативно впливають на формування запасів рухомого фосфору в перспективі на два роки вперед. Причому, виходячи із величин коефіцієнтів кореляції ($r = -0,65$, $-0,82$ і $-0,87$ для оранки, безвідвального і нульового обробітків відповідно) ефект температури за відмови від обертання скиби збільшується. Тобто, ризик температурної іммобілізації фосфору в період активної вегетації культур збільшується за мінімізації обробітку ґрунту.

Середня температура повітря після вегетаційного періоду (VIII-IX місяці) позитивно корелює з умістом фосфатів у ґрунті наступного року (Рис. 8), і щільність залежності збільшується із мінімізацією обробітку ґрунту, причому максимально – за безвідвального плоскорізного обробітку ($r = 0,27$, $0,75$ і $0,36$ для оранки, безвідвального і нульового обробітків відповідно). Констатовано, що тривалий (дворічний) вплив температур цього періоду є негативним і найменш щільним за того ж безвідвального обробітку ($r = -0,48$, $-0,14$ і $-0,42$ для оранки, безвідвального і нульового обробітків відповідно). Тобто, в тих самих межах температур повітря активація рухомості фосфору високою температурою періоду VIII-IX місяців є більш характерною за безвідвального обробітку, за оранки і нульового обробітку більш ймовірними є прояви пролонгованої температурної фіксації фосфатів.

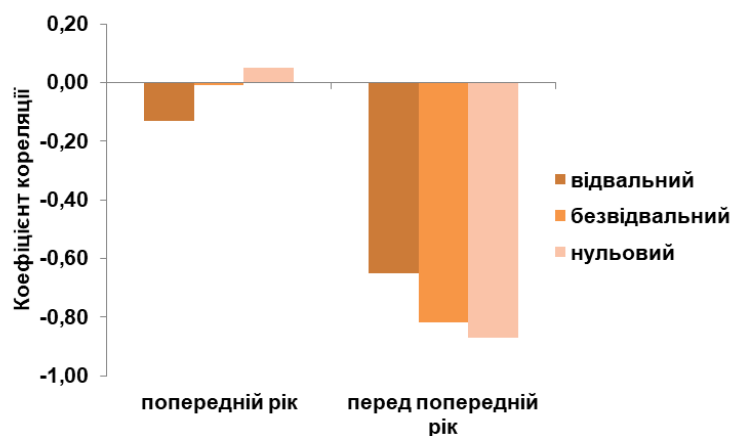


Рис. 7. Коефіцієнт кореляції вмісту фосфатів у ґрунті з середньою температурою періоду активної вегетації культур (V-VII місяці)

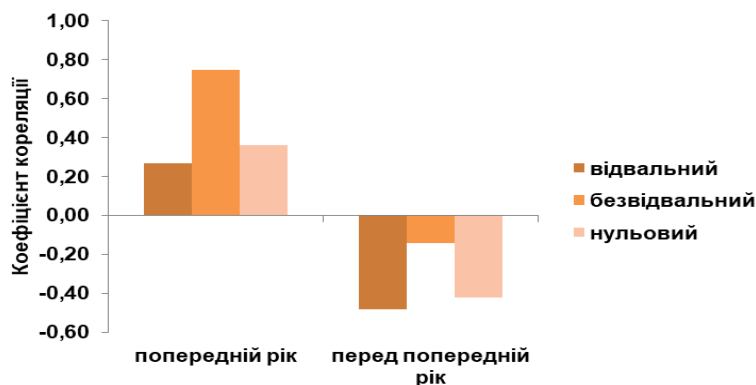


Рис. 8. Коефіцієнт кореляції вмісту фосфатів у ґрунті з середньою температурою після вегетаційного періоду (VIII-IX місяці)

Середня температура осіннього періоду (жовтень-листопад) не дуже щільно, хоча й позитивно, корелює з умістом фосфатів у ґрунті наступного року (Рис. 9) (r 0,03, 0,22 і 0,18 для оранки, безвідвального і нульового обробітків відповідно). Тобто, відмова від обертання скиби сприяє збільшенню чутливості процесів мобілізації фосфору до зниження осінніх температур.

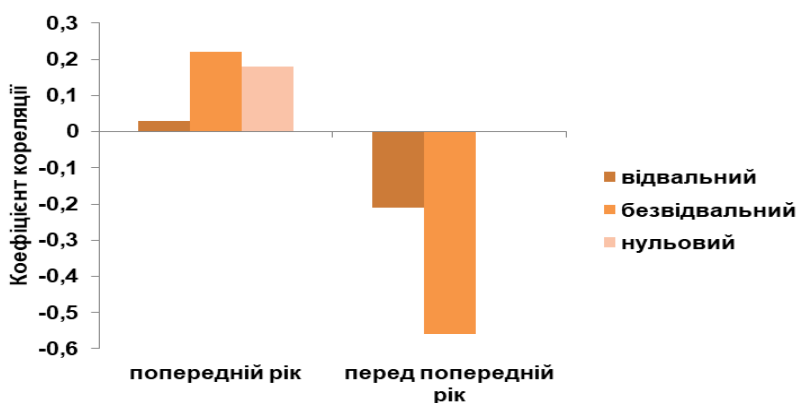


Рис. 9. Коефіцієнт кореляції вмісту фосфатів у ґрунті з середньою температурою X-XI місяців

Однак через рік потому можна спостерігати від'ємну залежність від температурного режиму осені позаминулого року вмісту фосфатів у період активної вегетації культур поточного року за безвідвального плоскорізного обробітку (r -0,56). Оранка зменшує щільність негативного впливу підвищення температури жовтня-листопада (r -0,21). А система no-till практично нівелює такий кореляційний зв'язок.

4.3. Вплив типів обробітку ґрунту на формування вмісту фосфатів

Вибрано зв'язки із величиною коефіцієнту Пірсона за модулем більше 0,5 і виокремлено особливості кожного з типів обробітку щодо формування вмісту фосфатів у ґрунті орного шару залежно від метеорологічних параметрів у таких трьох періодах: 1) активної вегетації культур (V-VII місяці - період максимальної інтенсивності біологічних процесів у ґрунті, біологічної іммобілізації фосфатів та мобілізації фосфору з його важкорозчинних форм); 2) післявегетаційний (VIII-IX місяці - «консервація» рухомого фосфору через гумусоутворення, фіксація через пересушування ґрунту тощо); 3) передзимів'я (X-XI місяці, коли за оптимальних умов зволоження та температури процеси перетворення фосфору в ґрунті продовжуються [22]).

Для *відвального обробітку* не спостерігається щільних ($r > 0,5$) кореляційних зв'язків із гідротермічними коливаннями попереднього року (в межах років проведення дослідів). Але суттєвим (r -0,65), хоча і мінімальним серед інших обробітків, є від'ємний вплив температур повітря періоду активної вегетації позаминулого року, а також позитивний вплив опадів передзимів'я позаминулого року (r 0,51).

Безвідвальный плоскорізний обробіток відрізняється щільною залежністю вмісту фосфатів у ґрунті від погодних умов попередніх двох років.

Для гідротермічних умов попереднього року за безвідвального плоскорізного обробітку спостерігається позитивний зв'язок із температурою повітря *післявегетаційного* періоду (r 0,75). Це цілком може свідчити про наявність впливу температурного фактору на процеси «консервації» рухомого фосфору, «напрацьованого» в період активної вегетації. Від'ємний зв'язок із опадами *передзимів'я* передуючого року (r -0,62) та менш щільний із опадами періоду активної вегетації культур (r -0,44) може вказувати на чутливість до перезволоження ґрунту процесів іммобілізації фосфору за безвідвального плоскорізного обробітку.

Щодо гідротермічних умов за два роки до поточного (тобто, позаминулого року) для безвідвального плоскорізного обробітку щільним є від'ємний зв'язок вмісту фосфатів у ґрунті з температурою *періоду активної вегетації* культур (r -0,82). Тобто, ризикованим є перегрів ґрунту, що зменшує процеси утворення фосфатів у цей період. Від'ємний зв'язок з опадами *післявегетаційного* періоду за два роки до поточного (r -0,56) свідчить про збільшення інтенсивності процесів фіксації фосфатів (напрацьованих під час посушливих умов) в умовах вологості осені за безвідвального плоскорізного обробітку. Від'ємний зв'язок із температурою (r -0,56) та додатна кореляція із кількістю опадів (r 0,57) у передзимів'я свідчить про чутливість ґрунту за такого обробітку щодо фіксації фосфору за теплої довгої осені та активації процесів мобілізації фосфатів за достатньої зволоженості в осінній період.

Саме за безвідвального обробітку більшою мірою проявляється залежність від погодних умов осені попереднього року щодо формування рівня рухомості фосфору в ґрунті, оранка зменшує щільність цієї залежності. Умови проведення основного обробітку у період осінніх польових робіт та перед виходом в зиму для плоскорізного обробітку є важливими – перезволоження і низькі температури у цей період не сприяють мобілізації фосфору в наступному сезоні вегетації культур.

Нульовий обробіток формує максимально щільну від'ємну залежність ($r = -0,87$) вмісту фосфатів у ґрунті від температури і додатну залежність ($r = 0,50$) від кількості опадів *вегетаційного* періоду позаминулого року. Тобто, за no-till для рухомості фосфору в ґрунті максимально несприятливими є спекотні та посушливі умови цього періоду із тривалим ефектом. Погодні умови періодів післявегетаційного та передзимів'я менш щільно корелюють із вмістом фосфатів у ґрунті. Вплив гідротермічних умов передзимів'я позаминулого року за нульового обробітку практично не відчувається.

5. Висновки

Виходячи з аналізу результатів багаторічного моніторингу ґрунтово-кліматичних умов у зерно-просапній сівозміні на території Донецької області констатовано, що оранка, як спосіб основного обробітку ґрунту, забезпечує найбільшу (серед інших досліджуваних способів) здатність ґрунту протистояти зовнішньому впливу мінливості погодних факторів щодо формування рівня вмісту фосфатів у ґрунті в орному шарі.

Відмова від обробітку ґрунту з обертанням скиби, зокрема система no-till, посилює ризик негативних наслідків тривалого впливу високих температур повітря та перезволоження у вегетаційний період на вміст фосфатів у ґрунті.

Незмінний безвідвальный плоскорізний обробіток формує умови щільної залежності вмісту фосфатів у ґрунті від погодних умов осінніх періодів попередніх двох років.

Подяка. Автор висловлює свою вдячність д.б.н. М.М. Мірошниченку за консультації та поради щодо узагальнення даних.

Список використаних джерел

1. Христенко А.А. Теоретические и практические аспекты оценки состояния и динамики азотных, фосфорных и калийных систем почв. Харьков: ФЛП Бровин А.В., 2019. 180 с.
2. Changes in the content of soil phosphorus after its application into chernozem and haplic luvisol and the effect on yields of barley biomass / T. Lošák, J. Hlušek, I. Lampartom [et al.]. *Acta Universitatis Agriculturae Et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2016. Vol. 64. № 5. P. 1603-1608, DOI: <http://dx.doi.org/10.11118/actaun201664051603>. https://acta.mendelu.cz/media/pdf/actaun_2016064051603.pdf.
3. Recommendations for establishing Action Programmes under Directive 91/676/EEC concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources Contract number N° 07 0307/2010/580551/ETU/B1 Part C Analysis of the processes in soil that influence nutrient leaching and runoff Final Report December 2011 Consortium DLO-Alterra Wageningen UR DLO-Plant research International Wageningen UR NEIKER Tecnalia, Derio, Spain Institute of Technology and Life Sciences (ITP), Warsaw, Poland Swedish Institute of Agricultural and Environmental Engineering (JTI), Uppsala URL: http://publications.europa.eu/resource/ellar/4ec63804-0cc9-4133-ad73-31b65ef584f3.0001.01/DOC_1.
4. Beegle D.B., Durst P.T. Managing phosphorus for crop production. PennState University Extension. *Agronomy Facts* 13. 2014. URL: https://extension.psu.edu/programs/nutrient-management/educational/soil-fertility/managing-phosphorus-for-crop-production/extension_publication_file.
5. Господаренко Г.М. Агрохімія: Підручник. Київ: ТОВ «СІК ГРУП УКРАЇНА», 2018. 560 с.
6. Соболева Е.А., Лукин А.Л. Влияние агроэкологических условий на численность и активность почвенной микрофлоры при выращивании подсолнечника в южной Лесостепи ЦЧР. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2013. № 1. С. 18-24. URL: http://vestnik.vsau.ru/wp-content/uploads/2014/12/2013_1-36.pdf.
7. Піковська О.В. Вплив різних способів обробітку на вміст елементів живлення у чорноземі звичайному. *Научные труды SWORLD*. Иваново : ООО «Научный мир», 2014. Т. 27. № 2. С. 47-50.
8. Зміна поживного режиму при ґрунтозахисних технологіях вирощування культур / Гнатенко О.Ф., Назаренко Г.В., Сегеда М.М. [та ін.]. / Відтворення родючості ґрунтів у ґрунтозахисному землеробстві. Наукова монографія / Під ред. М. К. Шикили. Київ: ПФ «Оранта», 1998. С. 76-101.
9. Крамарьов С. Фосфорна проблема українських чорноземів та можливі шляхи її вирішення. 2014 р. Електронний ресурс, URL: <http://imptorgservis.uaprom.net/a170873-fosforna-problema-ukrayinskih.html>.
10. Федорец Н.Г., Медведева М.В. Методика исследования урбанизированных территорий. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2009. 84 с.
11. Селянинов Г.Т. Принципы агроклиматического районирования СССР. Вопросы агроклиматического районирования СССР. Москва: МСХ СССР, 1958. С. 7-14.
12. Моніторинг агрохімічних властивостей чорноземів Дніпропетровської області за інтенсивного їх використання / Жученко С.І., Чабан В.І., Геллер О.І. [та ін.]. *Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету*. 2008. № 2. С. 21-24.

13. Зуза В.О. Ґрунтоохоронна ефективність протиерозійно упорядкованого агроландшафту в умовах Степу Північного Донецького : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук: спец.: 06.01.03 "Агроґрунтознавство і агрофізика". ННЦ "Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського". Харків : [б. и.], 2013. Б. ц. 22 С.
14. Циліорик О. No-till для зернових у Степу: наскільки ефективно? *Журнал - Агрономія Сьогодні*. 2015. №15-16. С. 310-311. Електронний ресурс. URL: www.agro-business.com.ua/agronomiia-siogodni/3877-no-till-dlia-zernovykh-u-stepu-naskilky-efektyvno.html.
15. Войнова-Райкова Ж., Ранков В., Ампова Г. Микроорганизмы и плодородие. Москва: Агропромиздат, 1986. 120 с.
16. Встановити оптимальні рівні мікроелементного живлення для зернових культур в умовах Донбасу : звіт НДР (закл. чл.) : 25.12.15 / Донецький відділ родючості ґрунтів ННЦ ІГА імені О. Н. Соколовського НААН України ; керів. В.О. Зуза ; викон. : Погромська Я. А. [та ін.]. Донецьк, 2015. 81 с. Інв. № 1428, кн. III.
17. Мікробіологічний стан темно-каштанового ґрунту за зміни умов його обробітку / Чекаліна Ю.В., Дишлюк В.Є., Мельничук Т.М. [та ін.]. *Науковий вісник Чернівецького ун-ту. Біологія (Біологічні системи)*. 2012. Т. 4, вип. 3. С. 348-352. URL: http://ibhb.chnu.edu.ua/uploads/files/vb/BS_T4_V3_2012.pdf.
18. Циліорик О. І., Кулік А. Ф., Гончар Н. В. Біологічна активність ґрунту за різних способів його обробітку та удобрення в посівах соняшнику. *Вісник Дніпровського державного аграрно-економічного університету*. 2017. №2(44). С. 42-48. URL: <http://dspace.dsau.dp.ua/jspui/handle/123456789/361>.
19. Гамкало З.Г., Бедернічек Т.Ю. Роль активного пулу органічної речовини ґрунту як регулятора біологічної доступності фосфору в едафотопі. *Науковий вісник Чернівецького ун-ту. Біологія*. Збірник наукових праць. Чернівці : Рута, 2007. Вип. 360. С. 93-102.
20. Hunsigi G. Soil temperature and nutrient availability. *Ann. Arid Zone*. 1975. № 14. P. 87-91.
20. Hunsigi G. Soil temperature and nutrient availability. *Ann. Arid Zone*. 1975. № 14. P. 87-91.
21. Gahoonia T.S., Nielsen N.E. 2003. Phosphorus (P) uptake and growth of root hairless barley mutant (bald root barley) and wild type in low- and high-p soils. *Plant, Cell & Environment*. 26. P. 1759-1766. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2003.01093.x>.
22. Малиновская И.М. К вопросу о времени проведения почвенных микробиологических исследований. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 82. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2015. С. 27-32.

UDC 631.153.3

Influence of hydrothermal fluctuations and tillage methods on soil phosphate mobility

Ya.A. Pogromska

National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky",
 Kharkiv, Ukraine
 E-mail: joanap@i.ua

The article is a continuation of a series of publications on the results of the study of the behavior of nutrients in the system "soil-plant" in global climate change, taking into account the possibility of minimizing tillage. In stationary field experiments on chernozem ordinary in the Donetsk region for nine years (1997-2005) monitored the content of phosphates in the soil within the arable layer. The soil under the main crops of grain-row crop rotation studied on variants with different methods of tillage under the same system of mineral fertilizer. At the same time recorded the dynamics of precipitation and air temperature. The stable effect of meteorological factors on the level of phosphorus nutrition of plants revealed. It shown that the phosphate content depends on the weather conditions not only in the current but also in the previous two years, as well as on the method of primary tillage. The peculiarities of the phosphorus regime of the soil on the variants with traditional deep moldboard plowing, subsoil non-turning tillage and zero tillage are determined. It shown that in the soil-climatic conditions of the Donetsk region the soil under traditional deep plowing in the crop rotation of grain-row crops is the most stable to the influence of weather factors on the mobility of phosphorus. Failure to rotate the soil, especially in the no-till system, increases the risk of negative changes of phosphate content in the soil under prolonged exposure to high temperatures during the growing season. When cultivating without rotating the soil, conditions created, under which the content of phosphates in the soil significantly depends on the weather characteristics of the autumn period of the previous two years. All conclusions confirmed by the results of correlation analysis and analysis of variance (ANOVA).

Keywords: hydrothermal fluctuations; moldboard plowing; phosphates; precipitation; soil; subsoil non-turning tillage; zero tillage (no-till).

Citing: Pogromska Ya.A. 2020. Influence of hydrothermal fluctuations and tillage methods on soil phosphate mobility. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 89. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 71-82. (Ukr.). DOI: <https://doi.org/10.31073/acss89-08>.