

УДК 631.416.1:631.416.2:631.416.4

Рівень трофності орних ґрунтів України та перспективні напрями оптимізації живлення сільськогосподарських культур у сучасних умовах (експертний аналіз)

А. О. Христенко^а ✉, М. В. Лісовий^б, О. П. Волощенко^с,

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

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 06.05.2025 Отримано після доопрацювання 15.06.2025 Затверджено до видання 17.06.2025 Доступно онлайн 07.07.2025	Узагальнено результати експертного оцінювання забезпеченості основних орних ґрунтів України азотом, фосфором і калієм і перспективних шляхів оптимізації живлення сільськогосподарських культур. До аналізування залучено вибірки з бази даних агрохімічних властивостей ґрунтів України, створеної на основі фондових матеріалів відділу агрохімії ННЦ «ІГА імені О. Н. Соколовського» та опубліковані дані результатів обстеження ДУ «Інститут охорони ґрунтів України». На основі виявлених закономірностей стану та динаміки фосфатних і калійних систем ґрунтів, шляхом статистично-математичного аналізування наборів даних теоретично обґрунтовано можливість математичної формалізації оцінки трофічного стану орних ґрунтів в умовах їх екстенсивного, інтенсивного та пост інтенсивного використання. Розроблено математичні моделі для екстраполяції та інтерполяції даних про вміст рухомих сполук азоту, фосфору і калію в орних ґрунтах залежно від природних або антропогенних чинників. Доведено, що традиційні уявлення щодо родючості орних ґрунтів на лесових породах, особливо чорноземів, внаслідок низки об'єктивних та суб'єктивних факторів, загалом, є штучно завищеними. Названо основні причини цього феномену. Згідно з розробленим прогнозом у 2025 році середньозважений вміст сполук фосфору (P_2O_5) в орних ґрунтах України становитиме 65–70, а калію (K_2O) – 70–72 мг/кг ґрунту. Тобто, рівень трофності орних ґрунтів буде залишатися на межі низьких і середніх значень забезпеченості цими елементами потреб рослин. Доведено, що фосфатна та калійна системи ґрунтів, як термодинамічні системи, характеризуються високою стабільністю значень. Здійснити реальне підвищення рівня трофності орних ґрунтів можна тільки за рахунок систематичного додаткового внесення ззовні сполук, що містять фосфор і калій, причому в досить активній формі. Самочинне підвищення або, навпаки, зниження природного фосфатного, або калійного рівнів орних ґрунтів неможливо; терміни «рухомий» стосовно фосфору або калію є абстрактними, зумовленими аналітичними лабораторними методами, а не потребами рослин. Обґрунтовано доцільність спрямування зусиль на розробку нових та удосконалення наявних агротехнічних і біотехнологічних підходів до підвищення біодоступності поживних речовин як із ґрунтового резерву, так і з добрив.

✉ khristenko53@gmail.com

ORCID: ^а20000-0003-4389-9274, ^б0000-0002-9394-2974, ^с30000-0001-9521-4607

Форма цитування: Христенко А. О., Лісовий М. В., Волощенко О. П. Рівень трофності орних ґрунтів України та перспективні напрями оптимізації живлення сільськогосподарських культур у сучасних умовах (експертний аналіз). *Агрохімія і ґрунтознавство* : міжвідом. темат. наук. зб. / ННЦ «ІГА ім. О. Н. Соколовського». Харків, 2025. Вип. 98. С. 69–83. doi: 10.31073/acss98-05

1. Вступ

Одними з найнегативніших наслідків війни в Україні, які впливають на землеробство, є істотне скорочення виробництва власних добрив (внаслідок руйнування підприємств та припинення, або скорочення постачання імпортової сировини), а також порушення логістики постачання імпортованих добрив, що, безсумнівно, веде до їх дефіциту та суттєвого подорожчання. Вплив цього чинника на зниження продуктивності ґрунтів та сільського господарства країни загалом сильно недооцінений, що є наслідком низки причин. Перш ніж перейти до суті проблеми слід зазначити, що цю тему автори вважають актуальною, складною і багатогранною, а тому, щоб вкластися в необхідний формат, основні позиції викладено в тезовій формі. Детальний опис і обґрунтування найважливіших концептуальних положень представлено у низці попередніх публікацій авторів, посилання на які буде дано в тексті статті, зокрема у двох

монографіях^{1,2}.

У попередніх роботах авторів було здійснено аналітичний огляд сучасних теоретичних підходів до процедури оцінювання забезпеченості ґрунтів макроелементами живлення рослин. У результаті з'ясовано, що сучасні уявлення про родючість ґрунтів базуються на двох концептуально суперечливих підходах до розуміння сутності накопичення і трансформації в них поживних речовин.

Один із підходів розглядає ґрунт як відкриту термодинамічну систему, здатну до саморегуляції та самоорганізації, зі стабільними, у певних межах, параметрами [1, 2]. Інший — трактує ґрунт як своєрідну ємність із розчином, концентрація якого може швидко та істотно змінюватися під впливом практично будь-якого фактора: діяльності рослин і мікроорганізмів, погодних умов, способів обробітку ґрунту, коливань рН ґрунтового розчину, меліораційних заходів, внесення поверхнево-активних речовин, гербіцидів тощо. Ця концепція передбачає вірогідність значної сезонної або багаторічної динаміки вмісту рухомих форм поживних елементів у ґрунтах, що використовуються в екстенсивному землеробстві [3].

Домінуюча концепція постійного «виснаження» і «незворотної деградації» екстенсивно використовуваних ґрунтів мирно співіснує з уявленнями про можливість мимовільного підвищення вмісту елементів живлення рослин у ґрунтах навіть в умовах від'ємного балансу поживних речовин. Тобто досі не лише недостатньо чітко визначено закономірності змін родючості/трофності ґрунтів, але предметом дискусії є навіть спрямованість цих змін¹. На уявленні про існування природної (генетичної) просторової неоднорідності орних ґрунтів щодо вмісту елементів живлення рослин побудовано концепцію «точного землеробства» (*precise agriculture*), проблеми ефективності якого також показано³.

Метою статті є висвітлення експертної оцінки азотного, фосфатного та калійного станів основних орних ґрунтів України з урахуванням ефективності застосовуваних на практиці аналітичних лабораторних методів визначення насиченості ґрунтів і забезпеченості сільськогосподарських культур поживними речовинами.

За статистично обробленими результатами власних досліджень і фондових матеріалів відділу агрохімії ННЦ ІґА (за останні 50 років), накопичених у базі даних агрохімічних властивостей ґрунтів та деяких опублікованих матеріалів великомасштабного агрохімічного обстеження ДУ «Інститут охорони ґрунтів України» узагальнено принципи застосування стандартизованих лабораторних методів для експертного оцінювання сучасного рівня трофності ґрунтів і перспектив удобрення/живлення сільськогосподарських культур в Україні.

2. Використані матеріали та методи

Для реалізації поставленої мети використано такі матеріали: вибірки з бази даних агрохімічних властивостей ґрунтів України яка включає: дані з фондових матеріалів відділу агрохімії ННЦ ІґА за останні 50 років (зокрема результати аналізування близько 2000 зразків різних ґрунтів) і літературні дані, що характеризують агрохімічні елементи родючості основних типів ґрунтів України.

¹ Христенко А. А. Теоретические и практические аспекты оценки состояния и динамики азотных, фосфатных и калийных систем: ФЛП Бровин А.В., 2019. 180 с.

² Христенко А. А. Калийное состояние почв и эффективность удобрений. Харьков: ФЛП Бровин А. В., 2017. 120 с.

³ Христенко А. О. Проблеми ефективності точного землеробства. *Вісник аграрної науки*. 2009. № 6. С.18-21.

Використано також опубліковані дані ДУ «Інститут охорони ґрунтів України» і матеріали польового багаторічного стаціонарного дослідження, закладеного у 1969–1970 рр. на чорноземі типовому важкосуглинковому, після розорювання 40-річного перелугу (ДП «ДГ «Граківське» ННЦ «ІГА імені О. Н. Соколовського», Харківський район Харківської області).

Масив даних для статистичної обробки (регресійний чи кореляційний аналізи) в окремих випадках становив 200–450 записів, але, як правило, вибірка не перевищувала 50–150 записів.

3. Результати аналізу та їх обговорення

3.1. Причини недооцінювання важливості удобрення

Однією з основних причин недооцінювання значущості фактору удобрення є традиційні штучно гіперболізовані уявлення про високу родючість ґрунтів України. Загальноприйняте твердження, що «українські чорноземи — найродючіші ґрунти світу» спростовано і названо міфом багатьма сучасними вченими вже у минулому столітті. Чорноземи — родючі ґрунти, це так. Але, по-перше, саме явище утворення чорнозему, як природно-історичного тіла, багато в чому зумовлене специфічними кліматичними факторами (певним, а часом і дуже істотним, дефіцитом вологи). По суті, практично вся зона Степу України, починаючи з чорноземів звичайних ($ГТК_{V-IX}$ 0,7–0,8), є зоною ризикованого землеробства, де вирощування високих і стабільних урожаїв можливе лише за зрошення (винятком є озимі культури) [4]. По-друге, за природним вмістом доступних рослинам поживних речовин чорноземи характеризуються низькими значеннями та нічим не відрізняються від решти ґрунтів. Про це свідчать дані, здобуті з використанням міжнародних або національних стандартних методів визначення вмісту поживних речовин в орному шарі ґрунтів України (Табл. 1).

Таблиця 1

Природний вміст доступних рослинам сполук поживних речовин в орному шарі основних ґрунтів України (фрагмент вибірки з бази даних відділу агрохімії ННЦ ІГА)

Ґрунт	Вміст сполук поживних речовин, мг/кг, за методами				
	ДСТУ 4729	ГОСТ 26204 (Чирикова)		ДСТУ ISO 11263 (Olsen)	ДСТУ 7603 (Дашевського)
	N_{NO3}	P_2O_5	K_2O	P_2O_5	K_2O
Дерново-підзолистий	8,5	18	18	20	6,2
Сірий лісовий	4,8	35	47	18	4,9
Чорнозем опідзолений	12,0	45	60	19	5,9
Лучно-чорноземний	-	320	69	22	6,2
Чорнозем типовий легкосуглинковий	15,6	96	94	16	9,2
Чорнозем типовий важкосуглинковий	4,5	260	80	18	6,2
Чорнозем звичайний	18,2	132	135	14	8,2
Чорнозем південний	6,4	98	190	15	5,6
Темно-каштановий	8,2	85	175	12	6,8

Використання міждержавного стандарту (ГОСТ 26204 — метод Чирикова) створює ілюзію коливання природного вмісту сполук фосфору та калію в орних ґрунтах України від дуже низьких до дуже високих значень.

Помилкові уявлення про високу забезпеченість чорноземів поживними речовинами зумовлені тривалим використанням в Україні застарілих стандартів СРСР, а саме так званих, «жорстких» кислотних методів. ГОСТ 26204 був чинним нормативним документом аж до 2002 р., а ГОСТ 26205 — метод Кірсанова — до 2005 р. Проблема в тому, що чорноземні ґрунти на лесових породах містять високу кількість термодинамічно стійких сполук фосфору або калію (у вигляді апатитів, шпатів польових і т. ін.). Фосфор або калій, що містять ці мінерали, рослинам безпосередньо не доступні, але можуть частково екстрагуватися розчинами сильних кислот у процесі хімічного аналізу ґрунтів.

Давно відомо, що існує пряма залежність між економічною окупністю зрошення ґрунтів зони Степу та кількістю застосовуваних добрив: хоч би як не удосконалювалася агротехніка на поливних землях, без добрив високі врожаї не досягаються, більше того — спостерігається їх поступове падіння [5].

Іншою причиною недооцінювання ролі удобрення — це недосконалість теоретичних та методичних аспектів ґрунтової діагностики живлення рослин, що веде до спотворення (частіше — до завищення) оцінки рівня родючості/трофності ґрунтів не тільки на окремих полях, але, нерідко, і типів ґрунтів загалом.

Проблема полягає у тому, що у разі застосування «жорстких» методів (кислотних, а іноді й лужних) похибка результатів аналізу вмісту поживних речовин у ґрунті може досягати 100–300 % і більше. Один із авторів цієї роботи понад 45 років працює над вирішенням проблеми вдосконалення ґрунтової діагностики і є науковим керівником 13 затверджених державних стандартів (ДСТУ) на методи визначення вмісту азоту, фосфору та калію у відкритому ґрунті. Тому обрання правильного аналітичного методу вважаємо принципово важливим аспектом визначення рівня тропності ґрунту.

Власне кажучи, підвищення точності діагностики тропності ґрунтів є загальносвітовою проблемою. Так, наприклад, порівняння між собою найбільш поширених у різних країнах методів (Mehlich-1, Mehlich-3, Bray, Olsen, Kelowna, Kurtz, Colwell, іонообмінні смоли та ін.), показує, що отримані різними методами значення забезпеченості ґрунтів елементами живлення часто не збігаються [6–9].

Використання нормативних документів України (ДСТУ), які встановлюють методи визначання рухомих сполук фосфору і калію в ґрунтах, дозволило дещо підвищити точність діагностики. Проте, на жаль, проблему не можна вважати вирішеною. Більшість нормативних документів розроблено 20–25 років тому і багато в чому вони вже застаріли. Аналіз практичного використання чинних нормативних документів показав, що навіть і наявності у ДСТУ поправкових коефіцієнтів (для урахування впливу складу і властивостей ґрунтів на результати аналізу), зовсім недостатньо. Цими поправками фахівці деяких лабораторій просто не користуються. І відбувається це або через відсутність потрібних даних для розрахунків, наприклад, про вміст фізичної глини в конкретному ґрунті чи значення рН ґрунтового розчину, або внаслідок трудомісткості та нерозуміння необхідності корегування результатів лабораторного аналізу ґрунту.

Помилкова думка про високу забезпеченість ґрунтів України елементами живлення пов'язана зі ще одним фактором — згідно з сучасними даними ДУ «Інститут охорони ґрунтів України», насиченість ґрунтів фосфором і калієм досить висока. Середньозважені значення відповідають підвищеній забезпеченості ґрунтів фосфором і високій забезпеченості калієм (Табл. 2).

Разом з тим, згідно з даними ДУ «Інститут охорони ґрунтів України», баланс фосфору та калію упродовж останніх десятиліть був від'ємним, тобто, витрати поживних речовин не компенсувалися внесенням їх з добривами.

Таблиця 2

Середньозважений вміст фосфору і калію в ґрунтах України (розраховано за даними ДУ «Інститут охорони ґрунтів України» [10, 11])

Період	Площа обстеження, млн га	Внесено з мінеральними (м) і органічними (о) добривами, кг/га		Вміст, мг/кг ґрунту (у перерахунку на метод Чирикова)	
		P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O
1966–1970	30,9	24 (14м+10о)	36 (12м+24о)	71	98
1986–1990	29,4	63 (41м+22о)	94 (42м+52о)	106	113
2006–2010	24,8	11	10	100	112
2011–2015	19,05	12	11	110	120
2016–2020	8,58	20	17	117	122

Так, наприклад, у 2016–2020 рр. баланс становив -17 кг/га для фосфору і -38 кг/га для калію [11].

Але ж добре відомо, що за від'ємного балансу ґрунт виснажується, втрачає рухомі поживні речовини, що знижує його ефективну родючість і врожайність сільськогосподарських культур [12].

Причиною завищення уявлень про стан трофності ґрунтів у такому випадку є некоректне узагальнення даних у межах адміністративних територій без урахування зміни площі реально обстежених земель. Як видно з даних таблиці 2, якщо в 1966–1970 рр. площа обстеженої ріллі становила 30,9 млн га, то в 2011–2015 рр. — всього 19,05 млн га. З обігу та обстеження, в першу чергу, були виведені найменш родючі ґрунти, зокрема легкого гранулометричного складу. Ігнорування цього факту, в узагальненні одержаних даних, автоматично призводить до штучного завищення статистичних показників ⁴.

У цьому контексті висувати претензії до регіональних агрохімічних служб було б некоректно, оскільки їхня діяльність базується на чинних нормативних актах, а також забезпечує регулярне надходження цінної інформації про стан і динаміку родючості ґрунтів. Наявність зазначених проблем підкреслює потребу в більш тісній співпраці ДУ «Інститут охорони ґрунтів України» з іншими науковими установами, передусім із ННЦ «ІГА імені О. Н. Соколовського».

Щоб переконатися у неможливості самочинного зростання рівня трофності орних ґрунтів ми спробували провести елементарний економічний розрахунок.

В основу розрахунку покладено матеріали агрохімічної служби країни за результатами І-V турів обстеження (1966–1990 рр.) [10], оскільки це був найбільш тривалий період постійного зростання норм внесення добрив. Розрахунки показали, що відповідно до опублікованих даних для підвищення вмісту фосфору (P₂O₅) від природного рівня (наприклад, 50 мг/кг ґрунту за Чириковим) до оптимального — 150 мг/кг ґрунту всього лише на 100 га необхідно витратити 105 000 \$ США (Табл. 3). І це без витрат на доставку, розвантаження, зберігання, навантаження та внесення добрив. З калієм ситуація ще гірша. Розрахунки проводили виходячи із вартості 1 т фізичної маси нітроамофоски виробництва Суміхімпром — 25 700 грн (літо 2024 р.).

Зрозуміло, що на практиці, за використання нітроамофоски витрати на 100 га обмежаться сумою 370 000 \$ США, оскільки витрати на підвищення вмісту фосфору увійдуть у цю суму.

⁴ Христенко А. О. Експертна оцінка забезпеченості орних земель України макроелементами живлення рослин. Вісник аграрної науки. 2016. №. 1. С. 18-22. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201601-03>

Проте отримані цифри змушують замислитись і зробити такі висновки. Перший: якщо б існував природний фактор, здатний підвищувати рівень трофності ґрунтів хоча б у половину ефективності фосфорних або калійних добрив, то світ не витрачав би сотні мільярдів доларів на виробництво та застосування мінеральних добрив.

Таблиця 3

Витрати добрив і коштів для досягнення оптимального рівня забезпеченості рослин фосфором і калієм на одному гектарі (розрахунок авторів за даними [10])

Добрива	Сумарна норма внесених добрив, кг/га (фізична маса)	Підвищення вмісту P_2O_5 або K_2O по Україні в цілому, мг/кг ґрунту	Витрати для підвищення вмісту на 100 мг/кг на 1-му га	
			добрив, кг (фізична маса)	коштів, \$ США
Фосфорні (P_2O_5)	1 125	35	3 210	1 050
Калійні (K_2O)	1 759	15	11 730	3 700

Другий висновок: в існуючих соціально-економічних умовах всі зусилля слід спрямовувати не на підвищення вмісту у ґрунтах P_2O_5 та K_2O , а на отримання максимальної економічної віддачі від застосування добрив.

3.2. Сучасний рівень трофності орних ґрунтів України

Яким же є реальний сучасний стан орних ґрунтів України стосовно вмісту потрібних рослинам поживних речовин? Перш, ніж відповідати на це питання необхідно відзначити що, відповідно до принципів хімічної термодинаміки (другий закон), фосфатна та калійна системи ґрунтів, як відкриті термодинамічні системи, повинні прийти до, так званого, рівня динамічної рівноваги, тобто, такого рівня, який є найбільш імовірним в умовах поверхні Землі. Величина цього рівня зумовлена фізичними і хімічними умовами, характерними для поверхні планети. Природний вміст рухомих сполук як фосфору, так і калію в орних ґрунтах, знаходиться на межі низьких та середніх значень стосовно потреб сільськогосподарських рослин, і є, по суті, константою. Вперше ця гіпотеза щодо фосфору була висловлена одним із авторів статті ще в 1993 році⁵.

Так, наприклад, в умовах стаціонарного польового досліді відділу агрохімії ННЦ «ІГА імені О. Н. Соколовського» на чорноземі типовому важкосуглинковому вміст рухомих сполук фосфору та калію (за методом Чирикова) у ґрунті на контрольних (неудобрюваних) варіантах з 1968 р. до теперішнього часу не змінився (P_2O_5 – 45, K_2O – 60 мг/кг) і утримується на межі низької та середньої забезпеченості рослин цими елементами живлення. При цьому сезонна та річна динаміка вмісту фосфору та калію в ґрунті завжди знаходилася в межах похибки визначення.

Без додаткового надходження в геоекосистему енергії, що міститься у добривах, величина природного фосфатного/калійного рівня орних ґрунтів змінитися не може, оскільки фосфатна та калійна системи ґрунтів вже перебувають у найбільш імовірному стані динамічної рівноваги: десятки тонн фосфору і сотні тонн калію в кореневмісному шарі ґрунтів, завжди будуть підтримувати саме такий рівень.

⁵ Христенко А. А. Уровень равновесного состояния фосфатных систем почв Украины. *Агрохимия*. 1993. №3. С.18-24.

Встановлені закономірності пояснюють добре відомі емпіричні дані про високу ефективність макро добрив на неокультурених орних ґрунтах всіх типів, зокрема й на чорноземах (крім ґрунтів, що потребують меліорації)⁶.

Вивчення закономірностей стану та динаміки фосфатних і калійних систем ґрунтів, на підставі як матеріалів агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення, так і даних ряду польових дослідів, дозволило теоретично обґрунтувати можливість математичної формалізації оцінки рівня трофності орних ґрунтів в умовах їх екстенсивного, інтенсивного та постінтенсивного використання і розробити математичні моделі для екстраполяції та інтерполяції даних про вміст рухомих сполук азоту, фосфору і калію в орних ґрунтах залежно від природних або антропогенних чинників [13].

Так, наприклад, середньозважений вміст P_2O_5 в орних ґрунтах України у будь-який період характеризується рівнянням регресії:

$$P_ч = 6,61 + 0,0198H + 0,0173T - 0,0008H^2 + 0,0039HT - 0,0006T^2 \quad (1)$$

де $P_ч$ — середньозважений вміст P_2O_5 , мг/100 г (за Чириковим); H — норма внесення добрив (P_2O_5), кг/га; T — термін систематичного застосування фосфорних добрив (кількість років). З використанням рівняння регресії (1) розраховано нормативи можливого накопичення (вмісту) рухомого фосфору в ґрунтах України⁷ залежно від норми добрив і тривалості їх внесення (Табл. 4).

Таблиця 4

Нормативи (прогноз) накопичення рухомого фосфору в орному шарі ґрунтів України залежно від норм добрив і тривалості їх внесення⁷

Норма P_2O_5 , кг/га	Середньозважений вміст P_2O_5 , мг/кг за тривалості внесення, років			
	10	15	20	25
10	72	74	76	78
30	75	84	89	95
50	77	87	96	105

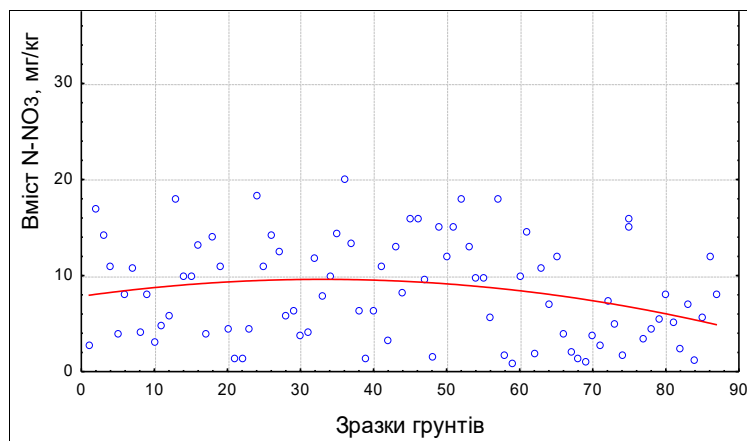
Згідно з розробленим прогнозом у 2025 р. середньозважений вміст фосфору (P_2O_5) в орних ґрунтах України становитиме 65–70, а середньозважений вміст калію (K_2O) – 70–72 мг/кг ґрунту, тобто, буде залишатися на межі низьких і середніх значень забезпеченості сільськогосподарських рослин цими елементами живлення. При цьому, середньозважений вміст залишкових сполук фосфорних і калійних добрив становить: P_2O_5 — не більше 15–20; K_2O — 10–12 мг/кг ґрунту. Для порівняння — оптимальна кількість залишкових сполук поживних речовин становить (залежно від культури) P_2O_5 — 80–120, K_2O — 60–100 мг/кг ґрунту.

Низький рівень трофності ґрунтів, навіть за використання сучасних техніки, сортів і агротехнологій, не гарантує стабільності високого врожаю культур, а тим більше його подальшого нарощування. Тому для одержання високих і стабільних урожаїв сільськогосподарських культур на всіх без винятку неокультурених орних ґрунтах України існує необхідність застосування органічних і мінеральних добрив.

Щодо азоту, встановлено, що реальний вміст в орних ґрунтах України, за непаровими попередниками, найбільш доступних рослинам сполук, а саме, мінерального азоту, зазвичай відповідає дуже низьким або низьким значенням забезпеченості азотом (Рис.).

⁶ Христенко А. О. Рухомість "рухомих" елементів живлення рослин у ґрунті. *Вісник аграрної науки*. 2009. № 8. С. 16-20.

⁷ Христенко А. О. Теоретичні проблеми методології балансової оцінки кругообігу макроелементів живлення в системі «добрива-ґрунт-рослина». *Агрохімія і ґрунтознавство* : міжвідом. темат. наук. зб. / ННЦ "ІГА ім. О. Н. Соколовського". Харків, 2020. Вип. 90. С. 47-56. <https://doi.org/10.31073/acss90-05>



Пояснення: 1-34 – ґрунти Полісся; 35-67 ґрунти Лісостепу; 68–87 ґрунти Степу

Рис. Вміст нітратного азоту в орному шарі екстенсивно використовуваних ґрунтів України (вибірка з бази даних відділу агрохімії ННЦ ІГА)

І це незважаючи на той факт, що загальний вміст гумусу, при цьому, коливається від 0,7 % у легких дерново-підзолистих ґрунтах Полісся, до 6,8 % у важких лучно-чорноземних ґрунтах Лісостепу.

Причиною низького вмісту азоту є відсутність у більшості орних ґрунтів достатньої кількості органічної речовини, що легко розкладається і мінералізується. Це пов'язано з низьким рівнем використання мінеральних та органічних добрив, неповним загортанням пожнивних решток, а також фактичною відсутністю посівів багаторічних бобових трав.

Вважають, що оптимізація гідротермічних умов, сприяє підвищенню мікробіологічної активності ґрунту, тим самим підвищенню насиченості азотом. Регресійний аналіз багаторічних даних тривалого (50 років) польового дослідження на чорноземі типовому важкосуглинковому [14] показав, що дійсно, існує певна залежність між запасами мінерального (нітратний + амонійний) азоту в ґрунті та кількістю опадів. Ця залежність описується рівнянням регресії:

$$N_{\text{мін.}} = -25,886 + 0,086O_{\text{п}} - 0,00006O_{\text{п}}^2 \quad r = 0,49 \quad (2)$$

де: $N_{\text{мін.}}$ — запас мінерального азоту ($N\text{-NO}_3 + N\text{-NH}_4$) в шарі ґрунту 0-60 см, кг/га; $O_{\text{п}}$ — сумарна річна кількість опадів, мм.

Мінеральний азот (принаймні його нітратна складова), на відміну від поняття «рухомий» фосфор (калій), є сполукою, реально присутньою у ґрунтовому розчині. Саме це й зумовлює певну змінність рівня забезпеченості ґрунтів азотом під впливом різноманітних чинників, зокрема відмінностей у ґрунтово-кліматичних умовах. Водночас, за непарових попередників, у більшості випадків ця варіативність обмежується коливаннями в межах однієї-двох градацій — від дуже низького до низького і, подекуди, середнього рівня забезпеченості мінеральним азотом.

Тобто зростання кількості опадів позитивно впливає на азотний режим ґрунту, але цей вплив незначний і не може замінити такий фактор, як внесення азотних добрив. Тому на всіх орних ґрунтах Полісся й Лісостепу ефективність азотних добрив дуже висока, а у зоні Степу, через нестачу вологи, — дещо нижча. Так, наприклад, ефективність азотних добрив, внесених під посіви цукрових буряків, залежно від значень $ГТК_{\text{IV-IX}}$, характеризується рівнянням:

$$O_{\text{к}} = -33,68 + 92,75Г - 20,36Г^2 \quad r = 0,89 \quad (3)$$

де $O_{\text{к}}$ — окупність добрив, кг коренеплодів/кг N; $Г$ — гідротермічний коефіцієнт Селянинова ($ГТК$).

Згідно з одержаною математичною моделлю (3), якщо при значенні $ГТК_{V-IX}$ 1,6 (Тернопільська обл.) окупність 1 кг азоту добрив становить 62,6, то при значенні $ГТК_{V-IX}$ 0,8 (Запорізька обл.), знижується до 27,5 кг коренеплодів цукрових буряків. Істотне реальне підвищення вмісту мінерального азоту у ґрунті спостерігається, як правило, у трьох випадках: після чорного пару, після розорювання пласта багаторічних бобових трав, а також за внесення підвищених норм органічних та мінеральних азотних добрив. Причому, зазвичай, такий вміст азоту утримується впродовж не більше 6–9 місяців.

3.3. Способи підвищення насиченості орних ґрунтів поживними речовинами

Чи існують у нинішніх соціально-економічних умовах інші способи (крім внесення добрив) підвищення вмісту поживних речовин у ґрунті? Нашими дослідженнями не встановлено фактів прямого достовірного впливу (позитивного, або негативного) на рівень фосфатного, або калійного станів орних ґрунтів таких антропогенних чинників як різні способи обробітку ґрунту, меліоративні заходи (зрошення, вапнування, гіпсування) і заорювання культур що вирощуються (у тому числі сидератів).

Так, наприклад, застосування сидеральних культур, безумовно сприяє постійному відновлюванню вмісту ґрунтових органічних речовин, поліпшенню фізико-хімічних властивостей ґрунтів та підвищенню біологічної активності. Але значущість сидератів, як додаткового джерела фосфору і калію, сильно перебільшено. Застосування сидератів призводить лише до переведення фосфору та калію з однієї форми в іншу, а саме: абсолютно доступних мінеральних сполук ґрунту — у тимчасово недоступні органічні сполуки фітомаси рослин. Але це не змінює загальної кількості поживних речовин у ґрунті.

Це стосується і природних факторів, таких як ґрунтово-кліматичні умови, а також склад і властивості ґрунтів: між вмістом гумусу, гранулометричним складом, значеннями рН ґрунтового розчину з одного боку, та природним вмістом рухомих сполук фосфору і калію в орних ґрунтах — з іншого, зв'язок, практично, відсутній: коефіцієнт кореляції (r) завжди знаходився в межах 0,1–0,25 одиниць.

Разом з тим встановлено що існує найтісніший зв'язок між значеннями складу і властивостей орних ґрунтів (перш за все, вмісту апатитоподібних сполук і тонкодисперсних часток, а також рН ґрунтового розчину) та результатами проведення хімічного аналізу ґрунтів. Тобто, між хімічним екстрагентом та пробом ґрунту у процесі аналізування (у певних випадках) відбувається сильна взаємодія, що призводить до штучного завищення або заниження результатів аналізування.

Наприклад, обробка проб дуже кислих ґрунтів розчинами кислот (методи Чирикова і Кірсанова), посилює позитивний заряд колоїдних часточок оксидів заліза (Fe^{+++}) та алюмінію (Al^{+++}) ґрунту. Це призводить до посилення вторинного поглинання аніонів фосфорної кислоти ($H_2PO_4^-$) в момент проведення хімічного аналізу ґрунту, та створення ілюзії «зникнення» фосфору (Табл. 5).

Таблиця 5

Вплив кислотності сірого лісового ґрунту на результат визначення вмісту P_2O_5 різними методами

Варіант досліджу	рН _{ксл}	Вміст P_2O_5 , мг/кг ґрунту та забезпеченість фосфором	
		Метод Кірсанова (рН 1,0) (кислотний метод)	Метод Olsen (рН 8,5) (лужний метод)
Контроль (без вапнування)	3,8	0	19 (середня)
Вапно	4,9	51 (середня)	19 (середня)

Вапнування ґрунтів та усунення надлишкової кислотності впливає лише на результат проведення хімічного аналізу, але не на реальний вміст P_2O_5 у ґрунті, що підтверджують дані лужних методів: Olsen (див. табл. 5) та Мачигіна (ДСТУ 4114), а головне — наявність на сильно кислих ґрунтах достатньо продуктивних лісів та гірських лук (полонин).

Лужні екстрагенти у лужному ґрунтовому розчині втрачають здатність ефективно екстрагувати, що (знову ж таки) створює хибне уявлення про «зникнення» фосфору (Табл. 6). Гіпсування лужних ґрунтів, тобто заміна обмінного натрію кальцієм, та усунення лужності, впливає лише на результат проведення хімічного аналізу проб лужними методами, але не на реальний вміст P_2O_5 у ґрунті, що і підтверджують дані сольового методу (ДСТУ 4727), а також вся практика землеробства півдня України.

Тобто, основна причина появи поширених помилкових уявлень про високу динамічність і строкатість рівня трофічного стану ґрунтів під впливом природних або антропогенних факторів (крім застосування добрив) є саме недосконалість теоретичних та методичних аспектів ґрунтової діагностики.

Встановлені закономірності дозволяють пояснити причини наявного парадоксу: публікацій (монографії, статті, патенти), присвячених способам підвищення вмісту у ґрунті фосфору багато, а матеріалів про успішне практичне використання цих способів немає.

Таблиця 6

Вплив лужності темно-каштанового ґрунту на результат визначення вмісту P_2O_5 різними методами

Варіант	pH _{KCl}	Вміст P_2O_5 , мг/кг ґрунту та забезпеченість фосфором	
		за Мачигінім (pH 9,0) (лужний метод)	за Карпінським-Зам'ятіною (pH 5,8) (сольовий метод)
Контроль	8,2	0,0	0,25 (середня)
Гіпс	6,9	16,0 (середня)	0,25 (середня)

Аналітично визначені дані, які називають як «рухомий», «доступний» або «засвоюваний» фосфор і калій, мають радше умовний, абстрактний характер, на відміну від реальних сполук, дійсно присутніх у ґрунтовому розчині – таких як нітрати, нітрити, карбонати кальцію та інші водорозчинні солі. Абсолютні ж значення абстрактних показників, залежать винятково від методу визначення, або точки відліку (як, наприклад, температура тіла за шкалами Кельвіна, Цельсія або Фаренгейта).

Доброю новиною є те, що теза про незворотну деградацію та постійне виснаження екстенсивно використовуваних ґрунтів (зниження вмісту елементів живлення), є ще одним міфом, заснованим скоріше на вірі, ніж на фактах — відсутні будь-які докази наявності повністю виснажених ґрунтів.

3.4. Перспективні шляхи оптимізації умов живлення рослин

Зі встановлених теоретичних положень випливає важливий практичний висновок: не слід витрачати час та кошти на пошук способів підвищення вмісту у ґрунті рухомих сполук фосфору і калію, тобто того, чого немає. Всі зусилля слід спрямувати на пошук нових, або вдосконалення вже наявних прийомів та способів підвищення доступності рослинам поживних речовин ґрунту та добрив.

Одним з таких прийомів є створення оптимальних умов для зростання сільськогосподарських культур — добре розвинені рослини з потужною кореневою системою здатні краще засвоювати поживні речовини ґрунту та добрив. Оптимізація умов досягається шляхом підвищення культури землеробства, широкого використання прийомів та способів накопичення і збереження ґрунтової вологи, вирощування культур, пріоритетних для ґрунтових і кліматичних характеристик певної зони, застосування сидератів та меліоративних заходів.

Важливою задачею залишається підвищення точності ґрунтової діагностики. Відсутність об'єктивної інформації про стан та динаміку трофічного режиму ґрунтів призводить до вкрай неефективного використання коштовних добрив, ціна на які, до того ж, постійно зростає.

Норми внесення добрив необхідно коригувати залежно від насиченості ґрунтів поживними речовинами. Виняток становлять легкі піщані та супіщані ґрунти Полісся, а також аналогічні ґрунти річкових терас Лісостепу та Степу. Це пов'язано з тим, що, по-перше, ілюзія низького вмісту в цих ґрунтах фосфору і калію (наприклад, менше 40 мг/кг P_2O_5 і менше 60 мг/кг K_2O , за Кірсановим) пов'язана з недотриманням вимог ДСТУ 4405, що вже згадувалося вище.

А по-друге, фактором, що лімітує величину врожаю на цих ґрунтах, особливо у зонах Лісостепу та Степу, є гостра нестача вологи. Застосування високих доз добрив за таких умов є нераціональним і економічно необґрунтованим, оскільки не забезпечує відповідного агрономічного ефекту та призводить до неефективного використання ресурсів.

Найбільш технологічним, а отже, оптимальним способом підвищення точності вимірювань рівня трофності ґрунтів є групування ґрунтів України за насиченістю фосфором і калієм з урахуванням їх гранулометричного складу. У більшості випадків землевласники не мають інформації про вміст гранулометричної фракції $<0,01$ мм (фізичної глини) у ґрунті на конкретному полі, хоча мають досить чітке уявлення про відмінність гранулометричного складу ґрунтів полів (піщані, супіщані, легкосуглинкові тощо).

На жаль в Україні дотепер в основному використовуються давно застарілі шкали (деяким вже понад 100 років), до того ж, розроблені для умов іншої країни, на ґрунтах з іншими властивостями. Так, наприклад, метод Кірсанова (опираючись на таку шкалу) дозволяє об'єктивно оцінити насиченості ґрунтів калієм тільки при вмісті фізичної глини в межах 36–44 %. А середній вміст фізичної глини в орних ґрунтах Полісся, де цей метод в основному і використовується, становить всього 16–18 % (експертна оцінка). Внаслідок цього оцінка рівня трофності лісових ґрунтів Полісся виявляється сильно штучно заниженою.

Отже проблема у відсутності коректного групування ґрунтів за насиченістю елементами живлення, без чого неможливо об'єктивно оцінити реальний стан їхньої трофності. Саме наявність точної шкали є гарантією високої точності будь-яких вимірювань за умови коректного їх проведення і відсутності факторів, які негативно впливають на результат хімічного аналізування ґрунтів.

Відділом агрохімії ННЦ «ІГА імені О. Н. Соколовського» розроблені і рекомендовані групування ґрунтів легкого гранулометричного складу за вмістом поживних речовин, визначеним за методом Кірсанова (Табл. 7).

Теоретично, перспективним підходом до підвищення ефективності фосфорного живлення рослин є використання препаратів на основі активних штамів фосформобілізуювальних мікроорганізмів. Однак наразі розраховувати на суттєвий ефект від їх застосування не доводиться.

Таблиця 7

Групування за насиченістю фосфором і калієм ґрунтів, які містять 10-20 % фізичної глини (метод Кірсанова)

Рівень насиченості ґрунту	Вміст, у ґрунті, мг/кг	
	P_2O_5	K_2O
Середній	30-80	40-90
Підвищений	81-130	91-140
Високий	131-180	141-190
Дуже високий	>180	>190

Основна обмежувальна причина аналогічна до ситуації з азотним живленням — недостатній вміст у більшості ґрунтів України легкорозкладної органічної речовини, яка є необхідним субстратом для мікробіологічної активності.

Ще одним перспективним напрямом є вдосконалення способів внесення добрив. Основна причина високої ефективності локального способу внесення добрив — це не стільки триваліше збереження елементів живлення в доступній для рослин формі (як це прийнято вважати), скільки підвищення, так званої, позиційної доступності поживних речовин добрив рослинам. Тому дослідження щодо вдосконалення локального способу внесення добрив слід вести саме в напрямі підвищення їх доступності рослинам, тобто підвищення ймовірності контакту добрива з кореневими системами рослин.

Основним напрямом підвищення доступності сільськогосподарським культурам азоту ґрунту є оптимізація гідротермічних умов і використання прийомів та способів внесення удобрювальних матеріалів, які підвищують вміст в орному шарі ґрунту новоутвореної органічної речовини.

4. Висновки

Ефективність системи удобрення безпосередньо залежить від адекватності методів визначення вмісту поживних речовин у ґрунтах. Недосконалі або неправильно підібрані аналітичні підходи призводять до спотвореної оцінки рівня трофності ґрунтів, що, своєю чергою, формує хибне уявлення громадськості про необхідність внесення добрив. Отже, для обґрунтованого прийняття агрохімічних рішень необхідна переоцінка методологічної бази ґрунтової діагностики з урахуванням специфіки ґрунтових типів та біологічних потреб культур.

Традиційні уявлення щодо родючості орних ґрунтів України на лесових породах, особливо чорноземів, внаслідок низки об'єктивних та суб'єктивних факторів, загалом, є штучно завищеними. Цей феномен ускладнює розробку раціональної стратегії та тактики діяльності з оптимізації живлення сільськогосподарських культур, причому, як на рівні конкретного господарства, так і держави в цілому.

Згідно з розробленим прогнозом у 2025 р. середньозважений вміст фосфору в орних ґрунтах України становитиме 65–70 мг P_2O_5 , а середньозважений вміст калію — 70–72 мг K_2O /кг ґрунту. Тобто, трофічний рівень орних ґрунтів буде залишатися на межі низьких і середніх значень забезпеченості цими елементами живлення.

Тому для вирощування високих і стабільних урожаїв сільськогосподарських культур, на всіх без винятку екстенсивно використовуваних орних ґрунтах України (а такими є переважна більшість), необхідно вносити органічні та мінеральні добрива.

Недоцільно спрямовувати зусилля та фінансові ресурси на спроби підвищити вміст у ґрунті форм поживних речовин, існування яких має умовний характер, слід розуміти, що терміни «рухомий фосфор» або «рухомий калій», є концептуальною абстракцією, а не об'єктивними фізико-хімічними одиницями. Здійснити реальне підвищення рівня трофності орного ґрунту можна тільки шляхом систематичного додаткового внесення ззовні сполук, що містять фосфор і калій, причому в досить активній формі.

Натомість доцільно зосередити науково-практичну увагу на розробці нових та удосконаленні наявних агротехнічних і біотехнологічних підходів, спрямованих на підвищення біодоступності поживних речовин як із ґрунтового резерву, так і з добрив. У цьому контексті окреслено перспективні напрями оптимізації мінерального живлення сільськогосподарських культур.

Список використаних джерел

1. Трофимов С. Я., Седов С. Н. Функционирование почв в биогеоценозах: подходы к описанию и анализу. *Почвоведение*. 1997. № 6. С. 770-778.
2. Kolomiiets S. S., Bilobrova A. S. Soil is a thermodynamic system and substantiation of its homeostasis concept. *SWorldJournal*. 2020. Is. 6(2). P. 122-132. <https://doi.org/10.30888/2663-5712.2020-06-02-036>
3. Христенко А. А. К вопросу о почве как "банке с питательным раствором". *Агрохімія і ґрунтознавство* : міжвідом. темат. наук. зб. / ННЦ "ІГА ім. О. Н. Соколовського". Харків: 2005. Вип. 66. С. 85-94.
4. Наукові основи охорони та раціонального використання зрошуваних земель України / за наук. ред. С. А. Балюка, М. І. Ромащенко, В. А. Сташука. Київ: Аграрна наука, 2009. 624 с.
5. *Агрохимическая характеристика почв СССР. Украинская ССР.* / ред. А. В. Соколов, Н. К. Крупский. Москва: Наука, 1973. 344 с.
6. Lins I. D. G., Cox, F. R. Effect of extractant and selected soil properties on predicting the optimum phosphorus fertilizer rate for growing soybeans under field conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 1989. Vol. 20(3-4). P. 319-333. <https://doi.org/10.1080/00103628909368085>
7. Steiner F., Lana M. C., Zoz T., Frandoloso J. F., Fey R. Extraction methods and availability of phosphorus for soybean in soils from Parana State, Brasil. *Semina: Agricultural Sciences*. 2012. Vol. 33(3). P. 1005-1014. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n3p1005>
8. Walton K., Allen D. Mehlich No. 3 soil test — the Western Australian experience. In 'SuperSoil 2004: 3rd Australian New Zealand Soils Conference', 5-9 December 2004, University of Sydney, Australia. (Ed B. Singh).
9. Schick J., Kratz S., Rückamp D., Shwiekh R., Haneklaus S., Schnug E. Comparison and inter-calibration of different soil P tests used in the Baltic Sea countries. Knowledge report. *Baltic Forum for Innovative Technologies for Sustainable Manure Management*, 2013. P. 1-47. URL: https://www.researchgate.net/publication/283076910_Comparison_and_Inter-Calibration_of_Different_Soil_P_Tests_Used_in_the_Baltic_Sea_Countries_Baltic_Manure_Knowledge_Report
10. Довідник з агрохімічного та агроекологічного стану ґрунтів України / за ред. Б. С. Носка, Б. С. Прістера, М. В. Лободи. Київ: Урожай, 1994. 333 с.
11. Наукові дослідження з моніторингу та обстеження сільськогосподарських угідь України за результатами XI туру (2016-2020 рр.). / ДУ «Інститут охорони ґрунтів України». Київ, 2023. 73 с. URL: <https://zemlerobstvo.com/wp-content/uploads/2025/01/naukovi-doslidzhennya-2023.pdf>
12. Заришняк А. С., Балюк С. А., Лісовий М. В., Комариста А. В. Баланс гумусу і поживних речовин у ґрунтах України. *Вісник аграрної науки*. 2012. №1. С. 28-32. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vaan_2012_1_5
13. Христенко А. О. Розрахунковий метод визначення рівня забезпеченості рослин макроелементами живлення. *Агрохімія і ґрунтознавство* : міжвідом. темат. наук. зб. / ННЦ "ІГА ім. О. Н. Соколовського". Харків, 2023. Вип. 94. С. 15-21. <https://doi.org/10.31073/acss94-02>
14. Мірошниченко М. М., Христенко А. О., Гладких Є. Ю. Закономірності 50-річної динаміки рухомих сполук азоту, фосфору і калію у чорноземі типовому за даними стаціонарного польового дослідження. *Вісник аграрної науки*. 2021. № 8. С. 5-14. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202108-01>

UDC 631.416.1:631.416.2:631.416.4

Trophic level of arable soils of Ukraine and promising directions for optimizing nutrition of agricultural crops in modern conditions (expert analysis)

A. O. Khristenko ✉, M. V. Lisovyi, O. P. Volosheniuk

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

✉ khristenko53@gmail.com

Received 06.05.2025; Revised 15.06.2025; Accepted 17.06.2025; Available online 07.07.2025

Abstract

The results of the expert assessment of the provision of the main arable soils of Ukraine on loess rocks with nitrogen, phosphorus and potassium and promising ways to optimize the nutrition of agricultural crops are summarized. The analysis uses samples from the database of agrochemical properties of soils of Ukraine, created on the basis of the stock materials of the department of agrochemistry of the NSC ISSAR and published data from the results of surveys conducted by the Institute of Soil Protection of Ukraine. Based on the identified patterns of the state and dynamics of phosphate and potassium systems of soils, statistical and mathematical analysis of data sets has theoretically substantiated the possibility of formalizing the assessment of the trophic state of arable soils under conditions of their extensive, intensive and post-intensive use. Mathematical models have been developed for extrapolation and interpolation of data on the content of mobile compounds in arable soils depending on natural or anthropogenic factors. It is suggested that traditional ideas about the fertility of arable soils on forest species, especially chernozems, are artificially inflated as a result of a number of objective and subjective factors. The main reasons for this phenomenon are named. According to the developed forecast, in 2025 the average weighted content of phosphorus compounds (P_2O_5) in arable soils of Ukraine will be 65-70, and potassium (K_2O) – 70-72 mg / kg of soil. That is, the trophic level of arable soils will remain on the verge of low and average values of the provision of these elements for plant needs. It has been proven that the phosphate and potassium systems of soils as thermodynamic systems are characterized by high stability of values. It is possible to achieve a real increase in the trophic level of arable soils only by systematically adding compounds containing phosphorus and potassium in an active form from outside. An involuntary increase or, conversely, a decrease in the natural content of phosphorus or potassium in arable soils is impossible. The term "mobile" in relation to phosphorus or potassium in the soil is abstract, conditioned by analytical laboratory methods, and not by the needs of plants. The expediency of directing efforts to the development of new and improvement of existing agrotechnical and biotechnological methods for increasing the bioavailability of nutrients from both the soil reserve and fertilizers is substantiated.

Keywords: soil fertility; expert analysis; trophicity; mobile compounds; fertilizers; forecast; soil diagnostics.

Citing: Khristenko, A. O., Lisovyi, M. V., & Volosheniuk, O. P. (2025). Trophic level of arable soils of Ukraine and promising directions for optimizing nutrition of agricultural crops in modern conditions (expert analysis). *AgroChemistry and Soil Science*, 98, 69-83. doi:10.31073/acss98-05 [in Ukrainian].

References

1. Trofimov, S., Sedov, S. (1997). Soil functioning in biogeocenoses: approaches to description and analysis. *Pochvovedeniye*, 6, 770-778 [in Russian].
2. Kolomiets, S. S., & Bilobrova, A. S. (2020). Soil is a thermodynamic system and substantiation of its homeostasis concept. *SWorldJournal*, 6(2), 122-132. <https://doi.org/10.30888/2663-5712.2020-06-02-036>
3. Khristenko, A. (2005). On the issue of soil as a "jar with a nutrient solution". *AgroChemistry and Soil Science*, 66, 85-94 [in Russian].
4. Balyuk, S., Romashchenko, M., & Stashuk, V. (Eds.). (2009). *Scientific foundations of protection and rational use of irrigated lands of Ukraine*. Kyiv: Agrarna nauka [In Ukrainian].
5. Sokolov, A. V. & Krupsky, N. K. (Eds.). (1973). *Agrochemical characteristics of soils of the USSR. Ukrainian SSR*. Moscow: Nauka [In Russian].
6. Lins, I. D. G., & Cox, F. R. (1989). Effect of extractant and selected soil properties on predicting the optimum phosphorus fertilizer rate for growing soybeans under field conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 20(3-4), 319-333. <https://doi.org/10.1080/00103628909368085>
7. Steiner, F., Lana, M. C., Zoz, T., Frandoloso, J. F., & Fey, R. (2012). Extraction methods and availability of phosphorus for soybean in soils from Parana State, Brasil. *Semina: Agricultural Sciences*, 33(3), 1005-1014. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n3p1005>
8. Walton, K., & Allen, D. (2004). Mehlich No. 3 soil test — the Western Australian experience. In 'SuperSoil 2004: 3rd Australian New Zealand Soils Conference', 5-9 December 2004, University of Sydney, Australia. (Ed B. Singh).
9. Schick, J., Kratz, S., Rückamp, D., Shwiekh, R., Haneklaus, S., & Schnug, E. (2013). *Comparison and inter-calibration of different soil P tests used in the Baltic Sea countries*. Knowledge report. In Baltic Forum for Innovative Technologies for Sustainable Manure Management, 1-47. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/283076910_Comparison_and_Inter-Calibration_of_Different_Soil_P_Tests_Used_in_the_Baltic_Sea_Countries_Baltic_Manure_Knowledge_Report
10. Nosko, B., Prister, B., & Loboda, M. (Eds.). (1994). *Handbook of agrochemical and agroecological conditions of soils in Ukraine*. Kyiv: Urozhay [In Ukrainian].

11. Institute of Soil Protection of Ukraine. (2023). *Scientific research on monitoring and surveying agricultural lands of Ukraine based on the results of the XI round (2016–2020)*. (S. Romanova, Compil.). Retrieved from <https://zemlerobstvo.com/wp-content/uploads/2025/01/naukovi-doslidzhennya-2023.pdf>
12. Zaryshnyak, A. S., Balyuk, S. A., Lisovyy, M. V., & Komarysta, A. V. (2012). The balance of humus and nutrients in the soils of Ukraine. *Visnyk ahraryoi nauky*, 1, 28-32. Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vaan_2012_1_5 [In Ukrainian].
13. Khrystenko, A. O. (2023). Calculation method for determining the level of supply of plants with macronutrients. *AgroChemistry and Soil Science*, 94, 15-21. <https://doi.org/10.31073/acss94-02> [in Ukrainian].
14. Miroshnychenko, M., Khristenko, A., & Hladkikh, Ye. (2021). 50-year dynamics of the content of moving compounds of nitrogen, phosphorus and potassium in degraded chernozem according to the stationary field experiment. *Bulletin of Agricultural Science*, 99(8), 5-14 <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202108-01> [In Ukrainian].