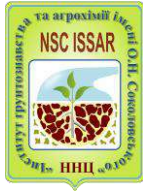




НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК
УКРАЇНИ



НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР
ІНСТИТУТ ҐРУНТОЗНАВСТВА ТА АГРОХІМІЇ
імені О. Н. СОКОЛОВСЬКОГО

АГРОХІМІЯ і ҐРУНТОЗНАВСТВО

МІЖВІДОМЧИЙ
ТЕМАТИЧНИЙ
НАУКОВИЙ
ЗБІРНИК

90

ХАРКІВ – 2020

Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвідомчий тематичний науковий збірник.
Випуск 90. Харків: ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського», 2020. 90 с.

AGROCHEMISTRY and SOIL SCIENCE. Collected papers.
No. 90. Kharkiv: NSC ISSAR, 2020. 90 p.

Збірник публікує наукові статті за результатами теоретичних, експериментальних та методичних досліджень з актуальних напрямів ґрунтознавства, агрохімії, агроекології, землеробства та інших наук, які містять оригінальну інформацію та обґрунтовані висновки.

Згідно з наказом МОН України № 1643 від 28.12.2019 збірник внесено до Переліку наукових фахових видань України в галузях сільськогосподарської та біологічної науки за спеціальностями:

201 – Агрономія і 091 – Біологія і включено до групи «Б»

Мови видання: українська, англійська, російська

Редакційна колегія:

С.А. Балюк д.с-г.н. (відповідальний редактор); ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»
А.Б. Ачасов д.с-г.н.; Харківський національний аграрний ун-т ім. В.В. Докучаєва
А.Д. Балаєв д.с-г.н.; Національний ун-т біоресурсів і природокористування України
Т.Ю. Биндич к.б.н.; ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»
В.А. Величко д.с-г.н.; Державне видавництво «Аграрна наука» НААН
З.Г. Гамкало д.б.н.; Львівський національний ун-т імені Івана Франка
Г.М. Господаренко д.с-г.н.; Уманський національний ун-т садівництва
Ю.М. Дмитрук д.б.н.; Чернівецький національний ун-т ім. Ю. Федьковича
В.В. Іванина д.с-г.н.; Інститут енергетичних культур і цукрових буряків НААН
Т.М. Лактіонова к.с-г.н. (відп. секретар); ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»
М.В. Лісовий д.с-г.н.; ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»
В.В. Медведєв д.б.н.; ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»
М.М. Мірошниченко д.б.н. (заст. відп. редактора); ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»
І.Д. Пачев д.с-г.н.; Інститут виноградарства та виноробства (Болгарія)
Є.В. Скрильник д.с-г.н.; ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»
О.І. Старченко к.б.н.; ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»
Т.Г. Лях д.с-г.н.; Ін-т педології, агрохімії та захисту ґрунтів "Н. Дімо"(Молдова)
Р.С. Трускавецький д.с-г.н.; ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»
А.І. Фатєєв д.с-г.н.; ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»
Ю.Л. Цапко д.б.н.; ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»
В.Р. Черлінка д.б.н.; Чернівецький національний ун-т ім. Ю. Федьковича
С.Г. Чорний д.с-г.н.; Миколаївський національний аграрний університет

Склад редакційної колегії затверджено Вченою радою ННЦ
«ІГА імені О.Н. Соколовського», протокол № 7 від 05.04.2019 р.

Рік заснування: 1966

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 20942-10742Пр

**Засновник: Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії
імені О.Н. Соколовського» (ННЦ ІГА) вул. Чайковська, 4, м. Харків, 61024, тел. (057) 704-16-69
e-mail: agrochemsoilsci.org@gmail.com
www.agrochemsoilsci.org**

Збірник представлено

- у базі даних CrossRef
- на порталі Національної бібліотеки України ім. В.І. Вернадського,
- у загальнодержавній реферативній базі даних (РБД) «Україніка наукова»
- у виданні УРЖ «Джерело» Інституту проблем реєстрації інформації НАН України (ІПРІ)

Збірник індексується

Science Index (Російський індекс наукового цитування)

Рекомендовано до видання Вченою радою ННЦ ІГА, протокол № 12 від 15.09.2020 р.

ISSN 0587-2596
e-ISSN 2616-6852
DOI: <https://doi.org/10.31073/acss90>

© Національний науковий центр
«Інститут ґрунтознавства та агрохімії
імені О.Н. Соколовського»

ЗМІСТ / CONTENT

ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТІВ / SOIL PROPERTIES

Дегтярьов В В, Чекар О. Ю.

Зв'язок показників гумусового стану та рухомості важких металів у чорноземах
Degtyarjov V. V., Chekar O. Yu Relationship between humus condition indicators and mobility of heavy metals in chernozems **4**

Попірний М. А., Сябрук О. П., Акімова Р. В., Шевченко М. В.

Новітні інтегративні методи дослідження стабілізації органічного вуглецю за різного обробітку ґрунту
Popirny M. F., Siabruk O. P., Akimova R. V., Shevchenko M. V. The newest integrative methods of research of soil organic carbon stabilization at different tillage **13**

Круглов О. В.

Магнітометрія ґрунтів у діагностуванні деградаційних процесів
Kruglov O. V. Soil magnetometry in the diagnosis of degradation processes **29**

Cherlinka V. R., Dmytruk Yu. M., Bodyan Yu. H.

Effect of DEM sources on quality indicators of predictive maps of soil cover
Черлінка В. Р., Дмитрук Ю. М., Бодян Ю. Г. Вплив джерел ЦМР на якісні показники предикативних карт ґрунтового покриття **36**

ҐРУНТОВЕ ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН / SOIL NUTRITION of PLANTS

Христенко А. О.

Теоретичні проблеми методології балансового оцінювання кругообігу макроелементів живлення в системі «добрива-ґрунт-рослина»
Khristenko A. O. Theoretical problems of the methodology of balance assessment of the cycle of macroelements in the "fertilizer-soil-plant" system **47**

Гладких Є. Ю.

Ефективність комбінування добрив із стресопротекторами та регуляторами росту для послаблення впливу абіотичних стресів на рослини
Hladkikh Ye. Yu. The effectiveness of combining fertilizers with stress protectors and growth regulators to reduce the impact of abiotic stress on plants **57**

ҐРУНТ І ПЕСТИЦИДИ / SOIL and PESTICIDES

Найдьоновна О. Є.

Динаміка чисельності мікрофлори і біохімічної активності чорнозему типового за застосування комплексу пестицидів
Naidonova O. E. Dynamics of microflora number and biochemical activity in typical chernozem under pesticides complex application **65**

Тохтарь К. І., Гаврилюк Ю. В.

Чи можливе безпечне використання пестицидів?
Tokhtar K. I., Gavriljuk Yu. V. Is it possible to use pesticides safely? **76**

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЛОДИХ НАУКОВЦІВ / STUDIES of YOUNG SCIENTISTS

Хохрякова А. І.

Особливості будови профілю ґрунтів у межах міста Одеси
Khokhryakova A. I. Features of the structure of soil profiles within Odessa city **86**

ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТІВ SOIL PROPERTIES

УДК 631.417.2:[631.453:631.445.41]

Зв'язок показників гумусового стану та рухомості важких металів у чорноземах

В.В. Дегтярьов*, О.Ю. Чекар**

Харківський Національний аграрний університет ім. В.В. Докучаєва, Харків, Україна,

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 27.04.2020. Отримано після доопрацювання 11.09.2020. Затверджено до публікації 15.09.2020. Доступно онлайн 01.11.2020	Особлива роль гумусових речовин в поглинанні й утриманні важких металів є актуальним напрямом досліджень. Метою роботи було виявити зв'язок між вмістом у ґрунті рухомих форм деяких важких металів та параметрами індикаторів гумусового стану ґрунту, зокрема дослідити роль активного гумусу в регулюванні рухомості важких металів у ґрунті. Досліджувані показники: загальний вміст гумусу (за Тюриним); вміст власне гумусових речовин і детриту (за Шпрингером); вміст активного і пасивного гумусу (за Соколовським); вміст власне гумусових речовин у складі пасивного гумусу. Досліджувані рухомі форми важких металів (екстракцією амонійно-ацетатним буфером рН 4,8): цинк; кадмій; нікель; кобальт; залізо; манган; свинець; мідь. Об'єкти: (1) чорнозем типовий середньосуглинковий на території відділення «Михайлівська цілина» Українського природного степового заповідника (Сумська область); варіанти землекористування - абсолютна цілина; випалювана цілина; лісосмуга; переліг; рілля; (2) чорнозем типовий важкосуглинковий на лесоподібному суглинку на території дослідного поля ХНАУ ім. В.В. Докучаєва (Харківська область); варіанти - переліг; лісосмуга; рілля. Проведено кореляційний аналіз для виявлення залежності вмісту рухомих форм важких металів від параметрів гумусового стану у шарах ґрунту 0-10 і 10-20 см. Згідно з коефіцієнтами кореляції вміст рухомих форм важких металів у ґрунті визначається якістю і співвідношенням компонентів його органічної частини. У шарі 0-10 см ґрунту Михайлівської цілини в усіх досліджуваних варіантах землекористування з окремими складовими гумусу найбільш тісно пов'язаний вміст рухомих форм мангану, міді, цинку, кадмію, заліза, у ґрунті Роганського стаціонару – міді, цинку, кобальту і свинцю. У шарі 10-20 см у деяких випадках починає проявлятися роль тих показників гумусового стану, які в шарі 0-10 см характерного впливу практично не виявляли. Із зразків ґрунту, з яких було вилучено активний гумус, екстраговано значно більшу кількість важких металів, ніж із звичайних зразків, чим аргументовано, що активний гумус стримує перехід важких металів у ґрунтовий розчин, тобто, знижує рухомість важких металів і доступність рослинам. Цей феномен названо блокувальною функцією активного гумусу.
Ключові слова: власне гумусові речовини; детрит; колоїдні форми гумусу; кореляційний аналіз; параметри індикаторів гумусового стану; рухомі форми важких металів; чорнозем;	

E-mail: * DVV4013@gmail.com; ** chekaralena@gmail.com

Форма цитування: Дегтярьов В.В., Чекар О.Ю. Зв'язок показників гумусового стану та рухомості важких металів у чорноземах. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 90. Харків: ННЦ "ІГ" ім. О.Н. Соколовського". 2020. С. 4-12. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss90-01>

1. Вступ

На особливу роль гумусових речовин у поглинанні й утриманні важких металів вказується у ряді робіт. Істотну роль ступеню гумусованості і карбонатності ґрунту в закріпленні важких металів у ґрунті підкреслювала М.А. Глазовська [1]. У роботі Т.О. Гринченко і А.І. Фатєєва зазначено, що такі показники, як високий вміст гумусу, висока ємність вбирання ґрунтового поглинального комплексу та нейтральна реакція середовища сприяють переводу важких металів у нерухомі та нетоксичні для рослин форми, і навіть за значного забруднення такого ґрунту, як чорнозем, важкі метали часто не виявляють на рослини токсичної дії [2]. Обумовленість ступеню рухомості важких металів як загальним вмістом гумусу, його груповим та фракційним складом, так і рівнем гідролітичної кислотності ґрунту та вмістом гранулометричної фракції <0,01 мм виявили В.Л. Самохвалова, Є.В. Скрильчик та інші [3].

У роботі А.І. Фатєєва, Д.О. Семенова та ін. [4] звертається увага не те, що розподіл мікроелементів та важких металів між різними фракціями гумусу є нерівномірним, тобто вони накопичуються в різних компонентах органічної частини ґрунтів по-різному. Наприклад, Cu, Zn, Co, Pb, Cd, Cr та Ni концентрувалися у фульватній частині гумусу і лише Mn — у гумінових кислотах. Саме тому, зміни співвідношення між цими 2-ма групами гумусових речовин у різних типах ґрунтів України призводять до змін у рухомості мікроелементів та важких металів.

Гумусові речовини, як відмічає Л.М. Александрова, здатні як посилювати рухомість важких металів, так і послаблювати її [5]. Авторка виділяє два види реакцій за участю гумусових речовин – реакції, які зводяться до утворення сполук, здатних мігрувати у профілі ґрунту і реакції формування органо-мінеральних сполук, у результаті чого відбувається накопичення в ґрунті багатьох металів. Відносно того, який з цих механізмів є домінантним, єдиного погляду не існує, оскільки їх відносний внесок у сорбцію металів визначається реакцією ґрунтового розчину [6, 7], властивостями сорбованого елементу [6], ємністю вбирання і ступенем гумусованості [8]. Так, наприклад, Є.М. Моргун констатує, що на території заповідника «Асканія-Нова» профільний розподіл умісту цинку в цілинному ґрунті і ґрунтах агроценозів носить, в основному, рівномірно-аккумулятивний характер – біологічна акумуляція металу спостерігається в найбільш гумусованому шарі за відносно рівномірного розподілу по глибині [9]. Досліджуючи ґрунти урбоекосистем, С.С. Волощинська, на основі кореляційного та кластерного аналізів, виявила, що вміст калію, гумусу та азоту, а також кислотність є визначальними для кількості важких металів у ґрунтах, впливаючи на їх рухомість і форми [10]. На тісний зв'язок металів (Zn, Cu, Pb) з органічною речовиною ґрунту і Fe-Mn оксидами звертається увага у роботі Т.В. Бауер, Т.М. Мінкіної та ін. [11]. У статті Х.А. Джувелікян наведено результати кореляційного аналізу, які свідчать, що уміст рухомих форм важких металів обернено залежить від умісту гумусу в профілі ґрунту [12]. Але, слід зазначити, що зв'язок з умістом гумусу розкривають не завжди і не для всіх важких металів.

Метою роботи було виявлення залежності між умістом рухомих форм деяких важких металів у ґрунті та індикаторами його гумусового стану, і зокрема визначення ролі активного гумусу в регулюванні рухомості важких металів у ґрунті.

2. Матеріали і методи дослідження

Для досліджень було обрано два об'єкта. Перший об'єкт – чорнозем типовий середньосуглинковий на лесоподібному суглинку на території відділення «Михайлівська цілина» Українського природного степового заповідника, що знаходиться в Лебединському районі Сумської області. За агроґрунтовим районуванням об'єкт знаходиться у межах північно-західної підпровінції лівобережної високої провінції Лісостепової зони чорноземів типових та сірих опідзолених ґрунтів. Географічні координати: 50°44'45,30" Північної широти та 34°11'41,68" Східної довготи. Проби ґрунту для досліджень відбирали на таких варіантах землекористання: абсолютно цілина (абсолютно цілинна ділянка заповідника); випалювана цілина (випалювання трав'яного покриву проведено навесні після танення снігу у 1986, 1988, 1990, 1992 рр.); лісосмуга (на момент відбирання проб її вік – 42 роки, насаджена кленом у 1952-1956 рр. по межі абсолютно цілинної ділянки); переліг (на момент відбирання проб вік – 42 роки, ця ділянка розорювалася до 1956 р., після чого була засіяна костицею лучною); рілля (на момент відбирання проб – 65 років). Характеристика ріллі: ділянка поля №1 кормово-травопільної сівозміни КСП «Червона зірка», яка в 1933 р. була відведена від заповідника і розорана. До 1987 року поле №1 входило до складу польової сівозміни, насиченість сівозміни просапними культурами становила 50 %. За період з 1967 до 1987 рр. на полі було внесено 369 кг/га д.р. азотних, 306 фосфорних і 142 калійних добрив. Гній вносили у 1976 році в дозі 30 т/га. У зв'язку з реорганізацією господарства у 1988 році поле переведено до кормово-травопільної сівозміни, добрива не вносили за декілька років перед відбиранням проб ґрунту.

Другий об'єкт – чорнозем типовий важкосуглинковий на лесоподібному суглинку Роганського стаціонару, який знаходиться у межах дослідного поля ХНАУ ім. В.В. Докучаєва (Харківський район, Харківська область). Географічні координати дослідного поля кафедри агрохімії: 49°54'12,61" Північної широти та 36°26'24,71" Східної довготи. Згідно з агроґрунтовим районування України територія Роганського стаціонару (створено у 1946 р.) знаходиться в Лісостеповій зоні чорноземів типових і сірих опідзолених ґрунтів східної підпровінції лівобережної високої провінції. Проби ґрунту відбирали на таких варіантах землекористання: переліг; лісосмуга; рілля.

Характеристика варіантів: *переліг* (на момент відбирання проб вік – 42 роки, ділянка розорювалася до 1956 р., після чого була залишена під заростання природною рослинністю; у складі трав'яного покриву на момент відбору переважали тонконіг бульбистий, пирій повзучий, лядвенець кримський); *лісосмуга* (вік – 42 р.), закладена у 1956 р.; у деревостані переважають дуб черешчатий, зрідка – ясен звичайний та клен гостролистий, в нижньому ярусі – акація жовта); *рілля* – ділянки стаціонарного польового досліду кафедри агрохімії ХНАУ (на момент відбирання проб 15 років): (а) контроль (без удобрення); (б) мінеральна система удобрення (сумарна насиченість NPK – 281 кг/га д.р.);

(в) органо-мінеральна система (насиченість органічними добривами 11,3 т/га, мінеральними (NPK) – 120 кг/га). У досліді використовували напівперепрілий гній, аміачну селітру, суперфосфат простий гранульований і калійні солі. З 1995 року добрива не вносили.

Проби ґрунту на обох об'єктах відбирали у 1998 р. у третій декаді травня - першій декаді червня із двох шарів ґрунту 0-10 і 10-20 см. Шар степової повстини (2-3 см) відкидався; глибину відбору відраховували від поверхні ґрунту. Проби ґрунту відбирали буром методом конверту – у 5 точках ділянки. На території Михайлівської цілини по варіантах дослідження обирали типові полігони, площею приблизно 1 га, де відбирали індивідуальні проби ґрунту, які у подальшому використовували для виготовлення змішаних середніх зразків для досліджень. У межах Роганського стаціонару проби також відбирали з 5 точок на кожному варіанті землевикористання.

Аналітичні дослідження. Уміст рухомих форм важких металів визначали атомно-абсорбційним методом за М.К. Крупським та А.М. Олександровою, з екстракцією амонійно-ацетатним буфером ААБ рН 4,8 [13] (на сьогодні ця методика відповідає ДСТУ 4770.1:2007 - ДСТУ 4770.9:2007). Загальний уміст гумусу – методом І.В. Тюріна, який на сьогодні описано у ДСТУ 4289:2004. Уміст власне гумусових речовин (ВГР) та детриту – модифікованим методом Ю. Шпрингера [14, 15], який ґрунтується на здатності суміші оцтового ангідриду, льодяної оцтової кислоти та концентрованої сірчаної кислоти, взятих у співвідношенні 5:5:1, розчиняти негуміфіковані органічні рештки – детрит. Уміст колоїдних форм гумусу (активного (АГ) і пасивного (ПГ) – методом О.Н. Соколовського [16, 17]. Цей метод полягає у декальціюванні зразка ґрунту 1 н розчином хлористого натрію, з подальшим відмиванням активного гумусу із ґрунту дистильованою водою та визначенням у висушеному залишку ґрунту умісту пасивного гумусу (методом І.В. Тюріна). Уміст активного гумусу вираховують за різницею між загальним умістом гумусу і кількістю пасивного гумусу у ґрунті. Активний гумус – це та частина гумусу, яка здатна пептизуватись внаслідок заміни у ґрунті обмінно-увібраного кальцію натрієм. Пасивний гумус – та частина гумусу, яка не пептизується навіть після повної заміни у ґрунті обмінного кальцію натрієм [17]. Також, визначали уміст власне гумусових речовин у складі пасивного гумусу (ВГР у складі ПГ) за запатентованою методикою [18]. Підоснова цієї методики зводиться до вилучення активного гумусу із вихідного зразка ґрунту за методом О.Н. Соколовського (описано вище) і подальшого визначенням у пасивному гумусі вмісту ВГР та детриту модифікованим методом Ю. Шпрингера, суть якого описано вище.

Аналізи виконували у трикратній повторності. Здобуті результати обробляли математично дисперсійним методом з використанням кореляційного аналізу та програми Statgraf.

3. Результати досліджень та їх обговорення

3.1. Зв'язок умісту важких металів з індикаторами гумусового стану в чорноземі Михайлівської цілини

Для досягнення поставленої мети визначили вміст рухомих форм деяких важких металів у ґрунті і провели кореляційний аналіз залежності їхнього вмісту від параметрів гумусового стану чорноземів на варіантах різного землевикористання двох об'єктів.

Результати визначення вмісту рухомих форм важких металів у поверхневих (0-10 і 10-20 см) шарах чорнозему типового Михайлівської цілини показано в табл.1.

Виявлено, що обрані для досліді варіанти землевикористання за вмістом рухомих форм важких металів у ґрунті майже не різняться між собою. Винятком є уміст рухомих форм цинку і мангану, найвищі значення яких зафіксовано в ґрунті варіанта абсолютної цілини. В основному, це стосується шару 0-10 см. Зменшення вмісту цих елементів у чорноземі спостерігаємо в ряду: абсолютна цілина → випалювана цілина → лісосмуга → переліг → рілля. Також, до винятку слід віднести вміст рухомих форм свинцю, який збільшується разом із зменшенням вмісту гумусу.

Однак, як ми вже показали раніше [19], ґрунт на цих варіантах суттєво відрізняється за вмістом і якістю гумусу. Дані кореляційного аналізу, який проводили з метою виявлення зв'язку між параметрами показників гумусового стану та вмістом рухомих форм важких металів у ґрунті шару 0-10 см на всіх досліджуваних варіантах наведено в табл. 2.

Таблиця 1

Уміст рухомих форм важких металів у чорноземі типовому Михайлівської цілини (амонійно-ацетатна витяжка)

Варіант	Шар ґрунту, см	Уміст рухомих форм металів, мг/кг ґрунту							
		Zn	Cd	Ni	Co	Fe	Mn	Pb	Cu
Цілина абсолютна	0-10	0,90	0,05	0,40	0,05	0,55	27,5	0,50	0,38
	10-20	0,52	0,00	0,50	0,05	0,60	12,5	1,00	0,30
Цілина випалювана	0-10	0,85	0,07	0,35	0,05	0,55	19,5	1,50	0,30
	10-20	0,63	0,07	0,55	0,05	0,35	7,0	1,50	0,30
Лісосмуга	0-10	0,71	0,07	0,35	0,13	0,90	12,5	2,25	0,30
	10-20	0,50	0,07	0,50	0,20	0,90	10,5	2,25	0,20
Переліг	0-10	0,57	0,07	0,50	0,05	0,55	7,0	1,50	0,30
	10-20	0,87	0,05	0,40	0,13	0,35	16,0	1,50	0,30
Рілля	0-10	0,50	0,05	0,40	0,13	0,35	7,0	3,25	0,25
	10-20	0,60	0,07	0,35	0,20	0,60	7,5	1,75	0,30
НІР ₀₅	0-10	0,03	0,02	0,08	0,04	0,25	0,4	0,09	0,09
	10-20	0,04	0,01	0,09	0,08	0,25	0,2	0,06	0,08

Однак, як ми вже показали раніше [19], ґрунт на цих варіантах суттєво відрізняється за вмістом і якістю гумусу. Дані кореляційного аналізу, який проводили з метою виявлення зв'язку між параметрами показників гумусового стану та вмістом рухомих форм важких металів у ґрунті шару 0-10 см на всіх досліджуваних варіантах наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Кореляційний зв'язок параметрів гумусового стану з умістом рухомих форм важких металів у чорноземі типовому Михайлівської цілини (всі варіанти)

Метал	Шар ґрунту, см	Показник гумусового стану					
		Загальний уміст гумусу	ВГР	Детрит	Активний гумус (АГ)	Пасивний гумус (ПГ)	ВГР у складі ПГ
Zn	0-10	+0,89	+0,60	+0,91	-0,43	+0,96	+0,76
	10-20	-0,02	+0,34	-0,14	+0,33	-0,21	-0,24
Cd	0-10	+0,40	+0,41	+0,30	+0,88	+0,01	-0,38
	10-20	-0,66	-0,34	-0,68	+0,01	-0,82	-0,37
Ni	0-10	-0,26	-0,35	-0,19	+0,17	-0,30	-0,37
	10-20	+0,48	-0,21	+0,64	-0,07	+0,63	-0,16
Co	0-10	-0,62	-0,09	-0,79	+0,11	-0,60	-0,15
	10-20	-0,39	+0,23	-0,53	+0,36	-0,68	-0,38
Fe	0-10	+0,55	+0,93	+0,28	+0,35	+0,35	+0,35
	10-20	+0,16	+0,22	+0,12	+0,27	+0,04	-0,28
Mn	0-10	+0,76	+0,43	+0,81	-0,68	+0,94	+0,85
	10-20	+0,72	+0,92	+0,58	+0,76	+0,49	-0,42
Pb	0-10	-0,85	-0,50	-0,89	+0,32	-0,89	-0,62
	10-20	-0,28	+0,07	-0,36	+0,39	-0,56	-0,64
Cu	0-10	+0,79	+0,56	+0,77	-0,58	+0,92	+0,86
	10-20	-0,28	-0,33	-0,23	-0,57	-0,03	+0,72

Примітка: ВГР – власне гумусові речовини

Найбільш тісний прямий кореляційний зв'язок встановлено між умістом рухомих форм цинку і загальним умістом гумусу, а також вмістом детриту та пасивного гумусу (ПГ). Близьким до цього є кореляційний зв'язок цинку з умістом власне гумусових речовин у складі пасивного гумусу (ВГР у складі ПГ). Аналогічні результати було отримано й раніше, під час встановлення кореляційного зв'язку між досліджуваними показниками гумусового стану чорноземів та вмістом рухомих форм мангану й міді [20]. Дуже тісним є прямий зв'язок між умістом рухомих форм заліза і вмістом власне гумусових речовин та між

умістом рухомих форм кадмію і вмістом активного гумусу (АГ). Сильний обернений кореляційний зв'язок простежується між умістом рухомих форм свинцю і такими показниками гумусового стану ґрунту, як загальний уміст гумусу, уміст детриту і пасивного гумусу. В результаті кореляційного аналізу не зафіксовано істотного зв'язку між умістом рухомих форм нікелю і параметрами досліджуваних показників гумусового стану ґрунту.

Отже, у шарі 0-10 см у різних варіантах використання чорнозему Михайлівської цілини з окремими показниками гумусового стану тісно корелює уміст рухомих форм таких важких металів, як цинк, кадмій, залізо, манган і мідь. Але розглянуті показники гумусового стану з різною направленістю або з різною інтенсивністю впливають на вміст рухомих форм вищевказаних елементів.

Із глибиною встановлені закономірності порушуються, тобто вже в шарі 10-20 см втрачається зв'язок металів з показниками гумусового стану ґрунту, з якими в шарі 0-10 см констатовано сильний і середній кореляційний зв'язок. І тільки з рухомими формами лише деяких елементів міцні зв'язки зберігаються.

3.2. Зв'язок умісту важких металів з індикаторами гумусового стану в чорноземі Роганського стаціонару

Результати визначення вмісту рухомих форм важких металів у шарах 0-10 і 10-20 см чорнозему типового Роганського стаціонару представлено в табл. 3. І хоча, варіанти мало різняться, на загальному фоні можна виділити декілька важких металів (цинк, залізо, манган, свинець, кобальт), уміст рухомих форм яких у чорноземі на різних варіантах помітно відрізняється.

Таблиця 3

Уміст рухомих форм важких металів у чорноземі типовому Роганського стаціонару (амонійно-ацетатна витяжка)

Варіант	Шар ґрунту, см	Уміст рухомих форм металів, мг/кг ґрунту							
		Zn	Cd	Ni	Co	Fe	Mn	Pb	Cu
Переліг	0-10	0,76	0,09	0,50	0,13	0,15	20,0	3,25	0,25
	10-20	0,62	0,05	0,50	0,20	0,55	20,0	3,75	0,15
Лісосмуга	0-10	0,62	0,10	0,50	0,13	0,55	15,0	2,75	0,25
	10-20	0,98	0,12	0,55	0,20	0,90	20,0	2,75	0,25
Рілля. Без удобрення	0-10	0,50	0,11	0,50	0,13	0,55	31,5	3,00	0,30
	10-20	0,60	0,05	0,55	0,05	0,55	12,0	0,50	0,30
Рілля. Мінеральна система удобрення	0-10	0,62	0,05	0,50	0,05	0,65	22,5	0,50	0,25
	10-20	0,71	0,07	0,50	0,13	0,35	23,0	1,00	0,20
Рілля. Органо-мінеральна система удобрення	0-10	0,71	0,07	0,60	0,28	0,90	31,5	1,50	0,20
	10-20	1,10	0,12	0,80	0,20	1,15	21,0	1,75	0,20
НІР ₀₅	0-10	0,07	0,04	0,10	0,04	0,09	0,3	0,25	0,05
	10-20	0,06	0,06	0,15	0,06	0,10	0,2	0,15	0,05

На відміну від чорнозему Михайлівської цілини в чорноземі Роганського стаціонару спостерігаються дещо інші закономірності зв'язку між умістом рухомих форм важких металів і показниками гумусового стану ґрунту в шарах 0-10 і 10-20 см. Так, уміст у ґрунті рухомих форм цинку в шарі 0-10 см найбільш тісно корелює з умістом активного гумусу (Табл. 4). Прямий середній кореляційний зв'язок зафіксовано між умістом рухомих форм цинку і вмістом детриту та загальним умістом гумусу. Також, прямий середній кореляційний зв'язок спостерігається між умістом рухомих форм свинцю і загальним умістом гумусу, умістом детриту і пасивного гумусу. З іншими показниками гумусового стану зв'язок слабкий, інколи майже відсутній.

Для рухомих форм мангану характерним є обернений сильний кореляційний зв'язок з параметрами показників гумусового стану ґрунту, за винятком таких показників, як уміст активного гумусу і ВГР у складі ПГ.

У шарі 10-20 см в ґрунті Роганського стаціонару кореляційний зв'язок між показниками гумусового стану і вмістом рухомих форм важких металів набуває дещо іншого характеру. Так, уміст рухомих форм цинку і кадмію прямо корелює з умістом власне гумусових речовин, а кобальту – з загальним умістом гумусу і вмістом активного гумусу.

Особливо тісного зв'язку між умістом рухомих форм нікелю, мангану, заліза і

показниками гумусового стану у шарі 10-20 см не виявлено. Відмічено прямий тісний кореляційний зв'язок між вмістом рухомих форм міді і вмістом ВГР у складі ПГ.

Таким чином, за результатами кореляційного аналізу констатовано, що в чорноземі типовому Михайлівської цілини і Роганського стаціонару по-різному проявляється зв'язок між вмістом рухомих форм важких металів і досліджуваними показниками гумусового стану. А також на різних глибинах чорнозему типового цей зв'язок проявляється з різною інтенсивністю.

Таблиця 4

Кореляційний зв'язок параметрів гумусового стану з вмістом рухомих форм важких металів у чорноземі типовому Роганського стаціонару (всі варіанти)

Метал	Шар ґрунту	Показник гумусового стану					ВГР у складі ПГ
		Загальний вміст гумусу	ВГР	Детрит	Активний гумус	Пасивний гумус (ПГ)	
Zn	0-10	+0,59	+0,20	+0,66	+0,93	+0,35	-0,75
	10-20	+0,31	+0,63	-0,03	+0,44	+0,16	+0,21
Cd	0-10	+0,29	+0,27	+0,27	-0,04	+0,40	+0,27
	10-20	+0,43	+0,77	+0,01	+0,54	+0,28	+0,26
Ni	0-10	-0,30	-0,20	-0,30	+0,34	-0,55	-0,50
	10-20	-0,22	+0,12	-0,33	-0,09	-0,36	+0,22
Co	0-10	-0,08	-0,04	-0,09	+0,46	-0,31	-0,50
	10-20	+0,70	+0,25	+0,69	+0,77	+0,61	-0,59
Fe	0-10	-0,69	-0,18	-0,79	-0,32	-0,75	+0,16
	10-20	+0,28	+0,44	+0,06	+0,40	+0,15	+0,04
Mn	0-10	-0,80	-0,82	-0,70	-0,36	-0,88	-0,35
	10-20	+0,33	+0,18	+0,28	+0,39	+0,25	-0,24
Pb	0-10	+0,55	+0,29	+0,58	+0,28	+0,59	-0,03
	10-20	+0,80	-0,01	+0,98	+0,79	+0,80	-0,90
Cu	0-10	-0,14	-0,19	-0,11	-0,66	+0,11	+0,49
	10-20	-0,22	+0,42	-0,54	-0,23	-0,19	+0,74
Примітка: ВГР – власне гумусові речовини							

Примітка: ВГР – власне гумусові речовини

3.3. Місія активного гумусу у знешкодженні дії важких металів

На сьогодні відомо, що біогенна акумуляція поживних елементів стала можливою завдяки появі в мінеральному субстраті органічних речовин специфічної природи з високою депонуючою здатністю [21]. Існують роботи, в яких пропонується після забруднення ґрунтів важкими металами вносити органічні добрива, поживні рештки рослин, продукти руйнування яких вкривають плівкою сорбовані раніше важкі метали [22]. Отже, біогенно накопичувані елементи локалізуються переважно в гумусі, тоді як більша кількість інших елементів зосереджена в основному в мінеральній частині ґрунту. Це, своєю чергою, привело до упорядкування співвідношень між елементами живлення в ґрунті, наблизивши їх до співвідношень, які спостерігаються в рослинах [21].

Спираючись на такі повідомлення, ми спробували експериментально дослідити, яку саме роль відіграє активний гумус (АГ) у регулюванні цих співвідношень. З цією метою ми порівняли вміст рухомих форм важких металів у вихідному ґрунті (Табл. 1 і Табл. 3) і в зразках ґрунту, з яких було вилучено активний гумус (Табл. 5 і Табл. 6). Виявили, що в ґрунті, звільненому від активного гумусу, суттєво більшим є вміст важких металів, тобто, з нього можна екстрагувати більшу кількість металів.

Дані для ґрунту Михайлівської цілини подано в табл. 5. Найпомітнішою є різниця щодо цинку, мангану й заліза. Так, у зразку чорнозему з варіанту «Цілина абсолютна» після вилучення АГ вміст рухомого заліза збільшується майже в 95 разів порівняно з вихідним ґрунтом, цинку – у 30 разів, мангану – в 6. До цієї групи можна віднести і вміст рухомих форм кобальту, але ця закономірність проявляється не завжди (виняток – чорнозем на варіанті «Рілля»). Аналогічні результати спостерігаються і на варіанті «Цілина випалювана». Вміст рухомого цинку у чорноземі як на ріллі, так і на цілині, після вилучення АГ, зростає приблизно в 30 разів порівняно з вихідним ґрунтом.

Ґрунт під перелогом за кількістю практично всіх рухомих форм важких металів, які переходять із ґрунту, з якого вилучено АГ, у витяжку знаходиться майже на одному рівні з орним чорноземом. Водночас чорнозем на варіанті «Лісосмуга», з якого вилучено АГ, за такими показниками, як уміст рухомих форм цинку, кадмію, кобальту, у пасивному гумусі наближається до рівня цілинного аналогу, а за вмістом рухомих форм заліза і міді – до рівня чорнозему на варіанті «Рілля». За рештою досліджуваних показників чорнозем під лісосмугою займає проміжне положення між цілинним і орним чорноземом. Ураховуючи те, що лісосмугу висаджено на цілинному ґрунті, можна передбачити, що дія лісової рослинності, впливаючи на гумусовий стан чорнозему, обумовлює деякі зміни рухомості важких металів. Необхідно звернути увагу на те, що не всі метали стають мобільнішими після вилучення АГ. Винятком є кадмій, нікель і, в деяких випадках, – свинець.

Таблиця 5

Уміст рухомих форм важких металів у зразках чорнозему типового Михайлівської цілини, з яких вилучено активний гумус

Варіант	Шар ґрунту, см	Уміст рухомих форм важких металів, мг/кг							
		Zn	Cd	Ni	Co	Fe	Mn	Pb	Cu
Цілина абсолютна	0-10	30,65	0,10	0,40	0,90	52,50	167,50	4,50	0,85
	10-20	29,65	0,05	0,40	0,45	18,50	87,50	2,00	1,15
Цілина випалювана	0-10	30,65	0,10	0,70	0,90	44,00	140,00	5,00	2,70
	10-20	17,65	0,10	0,70	0,90	14,00	100,00	2,50	3,05
Лісосмуга	0-10	33,65	0,10	0,60	0,75	5,00	140,00	2,50	2,80
	10-20	19,65	0,10	0,60	0,60	3,50	120,00	2,50	2,50
Переліг	0-10	12,15	0,10	0,60	0,45	5,00	100,00	1,50	0,65
	10-20	13,65	0,10	1,00	0,00	5,00	120,00	1,00	1,25
Рілля	0-10	14,65	0,05	0,85	0,00	2,50	120,00	2,00	1,95
	10-20	15,90	0,05	0,70	0,00	1,50	100,00	2,00	0,60
HIP ₀₅	0-10	0,90	0,05	0,08	0,07	0,30	10,20	0,10	0,18
HIP ₀₅	10-20	1,10	0,02	0,05	0,04	0,25	4,50	0,10	0,22

У чорноземі типовому Роганського стаціонару також спостерігається посилення рухомості важких металів у ґрунті, з якого вилучено АГ відносно вихідного (Табл. 6). Найбільш помітно проявляється посилення рухомості цинку, кобальту, мангану й заліза.

Таблиця 6

Уміст рухомих форм важких металів у зразках чорнозему типового Роганського стаціонару, з якого вилучено активний гумус

Варіант	Шар ґрунту, см	Уміст рухомих форм важких металів, мг/кг							
		Zn	Cd	Ni	Co	Fe	Mn	Pb	Cu
Переліг	0-10	31,65	0,10	2,25	1,50	12,00	220,00	2,00	1,15
	10-20	29,65	0,10	2,25	1,10	12,00	220,00	2,00	2,25
Лісосмуга	0-10	24,65	0,10	1,75	1,50	18,00	220,00	2,00	0,55
	10-20	27,65	0,10	1,90	1,10	14,00	242,50	3,00	0,65
Рілля. Без удобрення	0-10	33,65	0,10	2,25	1,50	17,00	220,00	2,5	0,65
	10-20	30,65	0,10	2,25	1,30	21,50	220,00	3,0	0,80
Рілля. Мінеральна система удобрєння	0-10	37,15	0,05	2,25	1,10	30,50	235,00	3,0	0,65
	10-20	33,65	0,05	2,25	1,20	26,50	250,00	3,0	2,30
Рілля. Органо-мінеральна система удобрення	0-10	19,65	0,00	1,75	1,10	22,50	220,00	2,5	0,55
	10-20	19,65	0,00	2,25	1,50	23,00	195,00	3,0	1,55
HIP ₀₅	0-10	1,85	0,05	0,15	0,20	2,55	3,00	0,5	0,05
HIP ₀₅	10-20	1,05	0,05	0,05	0,30	2,35	1,45	0,5	0,05

На основі проведених досліджень можна зробити припущення, що в закріпленні важких металів гумус (його кількість і якість) грає не останню роль. Так, у чорноземі тих варіантів, де виявлено більш високий уміст пасивного гумусу набагато більше міститься рухомих форм переважно всіх досліджуваних важких металів. Особливо це стосується вмісту рухомих форм цинку, кобальту й заліза. Наочно це спостерігається в чорноземі Михайлівської цілини. Аналогічні закономірності дуже важко простежити в чорноземі типовому Роганського

стаціонару. Це можна пояснити не досить сильною різницею за кількістю і якістю гумусу в чорноземі Роганського стаціонару між досліджуваними варіантами, на відміну від чорнозему типового Михайлівської цілини. Також слід враховувати різний гранулометричний склад об'єктів дослідження.

Можна припустити, що активний гумус регулює доступ елементів, або, інакше кажучи, співвідношення елементів, які переходять у рухому форму і стають доступними для рослин. Активний гумус у такому випадку виконує функцію блокування, тобто регулює необхідне співвідношення окремих елементів у ґрунті, зокрема важких металів. Отже, та кількість рухомих форм важких металів, яка екстрагується із ґрунту, з якого вилучено АГ, майже не потрапляє у ґрунтовий розчин завдяки блокувальній функції активного гумусу. На таку роль гумусу, але в дещо іншому аспекті, звертав увагу Н.І. Горбунов [23], відмічаючи, що катіони здатні проникати в міжпакетний простір таких мінералів, як монтморилоніт і бейделіт. У роботі інших дослідників підкреслюється, що депонувальна здатність ґрунту щодо важких металів і швидкість переходу останніх із твердої фази в розчин залежать від умісту в ґрунті мулистий фракції і частки мінералів з розбухаючою кристалічною решіткою та умісту гумусу [22]. Для зменшення швидкості переходу важких металів з твердої фази в розчин, у ґрунт вносять мінерали з інтерміцелярним типом поглинання (бентоніт, монтморилоніт, цеоліт). Потім, у результаті покриття цих мінералів плівками інших колоїдів – органічних речовин, катіони не витісняються, опинившись у заблокованому стані. Тільки протягом тривалого часу, або в результаті змін ґрунтових умов катіони знов переходять в обмінну форму.

4. Висновок

Результати проведених досліджень дозволяють стверджувати, що різні складові органічної частини ґрунту, якими характеризують його гумусовий стан, з різною інтенсивністю впливають на вміст рухомих форм важких металів. У шарі 0-10 см чорнозему Михайлівської цілини з окремими індикаторами гумусового стану найбільш тісно пов'язаний вміст рухомих форм мангану, міді, цинку, кадмію, заліза, а в чорноземі Роганського стаціонару – вміст рухомих форм міді, цинку, кобальту і свинцю. Із глибиною виявлені закономірності порушуються, а саме, майже втрачається зв'язок окремих металів з показниками гумусового стану в шарі 10-20 см, який у верхньому шарі набував сильного і середнього ступеню. Натомість, у шарі 10-20 см у деяких випадках починає проявлятися вплив тих показників гумусового стану, які в шарі 0-10 см характерного впливу практично не виявляли.

Із зразків ґрунту, з яких було вилучено активний гумус, екстраговано значно більшу кількість важких металів, ніж із звичайних зразків, чим аргументується висновок, що активний гумус стримує (блокує) перехід важких металів із ґрунту в ґрунтовий розчин, тобто, знижує рухомість, доступність важких металів рослинам. Цей феномен названо блокувальною функцією активного гумусу, завдяки якій у кореневмісному шарі ґрунту створюється оптимальне співвідношення корисних для рослин поживних елементів.

Список використаних джерел

1. Глазовская М.А. Проблемы и методы оценки эколого-геохимической устойчивости почв и почвенного покрова к техногенным воздействиям. *Почвоведение*. 1999. №1. С. 114-124.
2. Грінченко Т.О., Фатеев А.І. Вплив рівня забруднення чорнозему опідзоленого важкими металами на урожай гречки. *Актуальні питання екології та охорони навколишнього середовища*: зб. наук. праць. Вип. 1. Харків, 1995. С. 79-85.
3. Прогнозування рівнів вмісту мікроелементів і важких металів у ґрунтах різного генезису для оцінювання їх екологічних та продукційних функцій / В.Л. Самохвалова, Є.В. Скрипник, Л.О. Шедей [та ін.]. *Ecology and poospherology*. 2016. Vol. 27, №. 1–2. С. 72-88. DOI: <https://doi.org/10.15421/031607>.
4. Співвідношення Сгк/Сфк у ґрунтах України як показник рухомості мікроелементів / А.І. Фатеев, Д.О. Семенов, М.М. Мірошніченко [та ін.]. *Вісник аграрної науки*. 2013. №7. С. 16-19. URL: https://agrovisnyk.com/oldpdf/visnyk_07_2013.pdf.
5. Александрова Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. Ленинград: Наука, 1980. 288 с.
6. Ачасова А.А. К вопросу о роли гумуса в аккумуляции тяжелых металлов в почвах. *Вісник ХДАУ ім. В.В. Докучаєва. Серія «ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство»*. 1999. №2. Харків: ХДАУ. С. 106-114.
7. Ильин В.Б. Буферные свойства почвы и допустимый уровень ее загрязнения тяжелыми металлами. *Агрохимия*. 1997. №11. С. 65-70.
8. К экологической обстановке в Новосибирске: тяжелые металлы в местных почвах и огородных культурах / В.Б. Ильин, А.И. Сысо, Г.А. Конарбаева, Н.Л. Байдина. *Агрохимия*. 1997. №3. С. 76-83.
9. Моргун Є.М. Вміст Zn в темно-каштанових ґрунтах біосферного заповідника «Асканія-Нова». *News Biosphere Reserve «Askania Nova»*. 2009. Vol. 11. С. 112-115.
10. Волощинська С.С. Важкі метали в ґрунтах урбоекосистем м. Ковеля. *Біологічні системи*. 2012. Т. 4, Вип. 2. С. 145-148.

11. Фоновое содержание и состав соединений цинка, меди и свинца в черноземе обыкновенном естественных ландшафтов Ростовской области / Т.В. Бауэр, Т.М. Минкина, С.С. Манджиева [и др.]. *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*. 2015. №4 (20). С. 186-199. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/fonovoe-soderzhanie-i-sostav-soedineniy-tsinka-medi-i-svintsa-v-chernozeme-obyknovennom-estestvennyh-landshaftov-rostovskoy-oblasti/viewer>.
12. Джувеликян Х.А. Подвижные формы тяжелых металлов в черноземах незагрязненных ландшафтов. *Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация*. 2005. №1. С. 107-112. URL: <http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/chembio/2005/01/djuvelikyan.pdf>.
13. Крупский Н.К., Александрова А.М. К вопросу об определении подвижных форм микроэлементов. Микроэлементы в жизни растений, животных и человека. Киев: Наукова думка, 1964. Т.1. С. 125-133.
14. Практикум з ґрунтознавства: навч. посібник / Д.Г. Тихоненко, В.В. Дегтярьов, С.В. Крохін [та ін.]; за ред. проф. Д.Г. Тихоненка і В.В. Дегтярьова. Харків: Майдан, 2009. 448 с.
15. Лактионов М.И., Дегтярьов В.В., Шелар І.А. Лабораторний практикум з ґрунтознавства. 5-е вид., перероб. і доп. Харків: ХДАУ, 1998. 122 с.
16. Соколовский А.Н. Из области явлений, связанных с коллоидальной частью почвы. Избр. труды. Киев: Урожай, 1971. С. 10-128.
17. Лактионов Н.И. Органическая часть почвы в агрономическом аспекте: Монография / Харьк. гос. аграр. ун-т. им. В.В. Докучаева. Харьков: ХГАУ, 1998. 95 с.
18. Спосіб визначення інтенсивності антропогенного навантаження на чорноземні ґрунти. Патент на корисну модель 58047 Україна МПК G01N 33/24 (2011.01). / Дегтярьов В.В., Тихоненко Д.Г., Крохін С.В., Моргунова О.І., Жернова О.С.; Власник - Харківський національний аграрний університет ім. В.В. Докучаєва. № у 2010 11240; заявл. 20.09.2010. Бюл. №6.
19. Чекар О.Ю. Роль гумусу в стабілізації ґрунтових процесів у чорноземах типових Лівобережного Лісостепу України: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня к-та с.-г. наук: 06.01.03. Харків, 2001. 20 с. [http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis64r_81/cgiirbis_64.exe?Z21ID=&I21DBN=ARD&P21DBN=ARD&S21STN=1&S21REF=10&S21FMT=fullwebr&C21COM=S&S21CNR=20&S21P01=0&S21P02=0&S21P03=A=&S21COLORTERMS=1&S21STR=%D0%A7%D0%B5%D0%BA%D0%B0%D1%80%20%D0%9E.%D0%AE.\\$](http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis64r_81/cgiirbis_64.exe?Z21ID=&I21DBN=ARD&P21DBN=ARD&S21STN=1&S21REF=10&S21FMT=fullwebr&C21COM=S&S21CNR=20&S21P01=0&S21P02=0&S21P03=A=&S21COLORTERMS=1&S21STR=%D0%A7%D0%B5%D0%BA%D0%B0%D1%80%20%D0%9E.%D0%AE.$)
20. Чекар О.Ю. Зв'язок вмісту рухомих форм важких металів з кількісними і якісними показниками гумусу у чорноземах. *Вісник ХНАУ ім. В.В. Докучаєва*. Серія «ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство». Харків, 2005. №1. С.100-103.
21. Методологические и методические аспекты почвоведения / В.К. Бахнов, Г.П. Гамзиков, В.Б. Ильин [и др.]; отв. ред. И.М. Гаджиев. АН СССР, Новосибирск: Наука. Сиб. отд. 1988. 168 с.
22. Информационно-энергетическая оценка состояния тяжелых металлов в черноземах / В.Н. Гукалов, В.А. Черников, В.И. Савич [и др.]. С. 178-183. 2020. URL: <https://cyberleninka.ru/article/2020/05/n/informatsionno-energeticheskaya-otsenka-sostoyaniya-tyazhelyh-metallov-v-chernozemah/viewer>
23. Горбунов Н.И. Почвенные коллоиды и их значение для плодородия. Москва: Наука, 1967. 160 с.

UDC 631.417.2:[631.453:631.445.41]

Relationship between humus condition indicators and mobility of heavy metals in chernozems

V.V. Degtyarjov*, O.Yu. Chekar**

Kharkiv National Agrarian University named after V.V. Dokuchaev, Kharkiv, Ukraine,

*E-mail: *DVV4013@gmail.com; **chekaralena@gmail.com

The special role of humus substances in the absorption and retention of heavy metals is an important area of research. The aim was to establish a correlation between the content of the mobile forms of some heavy metals and the parameters of soil humus indicators, in particular to investigate the role of active humus in regulating the mobility of heavy metals in the soil. The studied indicators: the total humus content (according to Tyurin); the content of the actual humus substances and detritus (semi-decomposed, lost anatomical structure of organic remains) (according to Springer); the content of active humus (this is the part of humus that can be peptized due to the replacement of metabolically absorbed calcium in the soil by sodium) and passive humus (that is not peptized after complete removal of calcium), the content of the actual humus substances in the composition of passive humus) (according to Sokolovsky). Investigated mobile forms of heavy metals (extraction with ammonium acetate buffer pH 4.8): zinc; cadmium; nickel; cobalt; iron; manganese; lead; cuprum. The research sites: (1) chernozem typical (Calcic Voronic Chernozem SiL UE1) on the territory of the «Mykhailivska tsilyna» (Sumy region); land use options: absolute virgin land; burnt-out virgin land; forest belt; fallow land; arable; (2) chernozem typical (Calcic Voronic Chernozem CL UE1) at the experimental field in Kharkiv region - Rogan station; options: fallow land, forest belt, arable land: (a) unfertilized; (b) the mineral system; (c) organo-mineral system. Correlation analysis was performed to identify the dependence of the content of mobile forms of heavy metals on the indicators of the humus state separately in two soil layers (0-10 and 10-20 cm). In the layer of 0-10 cm for Mykhailivska tsilyna in all investigated land use options the content of mobile forms of manganese, cuprum, zinc, cadmium, iron is most closely connected with separate components of humus, at the same time. In the soil of Rogan station in layer 0-10 cm the closest relationship can be traced between humus and the content of mobile forms of cuprum, zinc, cobalt and lead. On the contrary, in a layer of soil of 10-20 cm other features were shown. Significantly more heavy metals were extracted from soil samples from which active humus had been previously removed than from conventional samples. This is an argument that active humus inhibits the transition of heavy metals into the soil solution, ie, reduces the mobility of heavy metals and accessibility to plants. This phenomenon is called the "blocking function" of active humus.

Keywords: actual humus substances; chernozem; colloidal forms of humus; correlation analysis; detritus; humus state indicators; mobile forms of heavy metals

Citing: Degtyarjov V.V., Chekar O.Yu. 2020. Connection of the humus state indicators and the heavy metals mobility in the chernozems.. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 90. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 4-12. (Ukr.). DOI: <https://doi.org/10.31073/acss90-01>.

УДК 631.421: 631.417.2: 631.433.5

Новітні інтегративні методи дослідження стабілізації органічного вуглецю за різного обробітку ґрунту

М. А. Попірний¹, О. П. Сябрук^{1*}, Р. В. Акімова¹, М. В. Шевченко²

¹Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського», Харків, Україна,

²Харківський національний аграрний університет імені В. В. Докучаєва, Харків, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 18.05.2020 Отримано після доопрацювання 07.09.2020 Затверджено до друку 15.09.2020 Доступно онлайн 01.11.2020	У землеробстві однією з технологій повернення втраченого органічного вуглецю є мінімальні та нульовий способи обробітку ґрунту, які сприяють підвищенню вмісту органічної речовини й глобальній стабілізації вуглекислого газу. Але ефективність секвестрації вуглецю в ґрунті обмежена через те, що органічний вуглець швидко вивільняється з ґрунту з поверненням до оранки. Цим і обумовлена актуальність дослідження процесів реагування гумусових молекул, що ведуть до структурування органічної речовини ґрунту, для управління секвестрацією вуглецю та інтегративного моніторингу емісії CO ₂ . Метою роботи було виявити процеси реагування гумусових молекул як цілісної супрамолекулярної системи, що визначають стабілізацію ґрунтового вуглецю та обумовлюють динаміку емісії CO ₂ з ґрунту з використанням інтегративних біофізико-хімічних параметрів (комплексними спектроскопічними методами). Досліджували зміни інтегрованих характеристик спектрів у комплексному спектроскопічному аналізі всього екстракту гумусових кислот чорнозему типового для виявлення впливу різних способів обробітку на динаміку емісії CO ₂ з ґрунту. Комплексний спектроскопічний аналіз виконано в лабораторіях ХНУ імені В. Н. Каразіна та Науково-технологічного комплексу «Інститут монокристалів». Інструментальний контроль інтенсивності виділення діоксиду вуглецю з поверхні ґрунту проводили за допомогою портативного газоаналізатора testo 535. За результатами досліджень сучасними спектроскопічними методами нефракціонованих екстрактів гумусових кислот чорнозему типового за різного обробітку виявлено процеси переорганізації гумусової супраструктури, які характеризуються перебудовою міжмолекулярних сил, що зумовлює зміну реакційної здатності та стабільності гумусових кислот. Виявлено, що гумусова супраструктура орного чорнозему типового характеризується високою молекулярною рухомістю, зумовленою гідрофільною позитивною гідратацією та доброю розчинністю, високою сорбційною та комплексуютьовальною здатностями, але слабкою здатністю закріплюватися, внаслідок міграційного «розсіювання» вглиб ґрунтового профілю. Доведено, що найбільшими сумарними обсягами емісії CO ₂ з чорнозему типового характеризується технологія прямого посіву (нульового обробітку), чому сприяє кращий водний режим та більш повна мінералізація рослинних решток на поверхні ґрунту. За основного обробітку способом дискування на 10-12 см річні втрати вуглецю найменші. Систематична оранка (6 років поспіль) призвела до зменшення вмісту лабільної органічної речовини і фульвокислот та зниження потенційної здатності до продукування CO ₂ у верхньому шарі ґрунту порівняно з поверхневим обробітком та технологією прямого посіву.
Ключові слова: вуглекислий газ; гумінові кислоти; інтегративні методи; комплексні спектроскопічні методи; обробіток ґрунту; органічний вуглець	

* E-mail: syabryk86@gmail.com

Форма цитування: Попірний М.А., Сябрук О.П., Акімова Р.В., Шевченко М.В. Новітні інтегративні методи дослідження стабілізації органічного вуглецю за різного обробітку ґрунту. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 90. Харків: ННЦ «ІГ ім. О.Н. Соколовського». 2020. С. 13-28. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss90-02>.

1. Вступ

1.1 Органічна складова ґрунту та сучасна парадигма хімії гумусових речовин

У ХХІ ст. на передній план висуваються проблеми глобальних змін природного середовища та клімату [1], дефіциту продовольства й енергії [2], втрати біорізноманіття та стійкості ґрунтових екосистем [3] і деградації ґрунтів [3]. Ці проблеми й зумовили домінування не тільки екосистемної але й молекулярної парадигми органічної складової ґрунту [4] в рамках яких, ключовим завданням є розробка теоретичних основ молекулярних процесів трансформації органічної речовини [5] методів [1, 6], технологій [7], підходів [8] та показників [9], управління й контролю гумусосфери Землі [10] як головного джерела емісії вуглекислого газу в атмосфері. У зв'язку з цим, вивчення процесів стабілізації ґрунтового вуглецю, є вкрай складним та актуальним завданням регулювання емісії CO₂ за інтенсивного антропогенного навантаження. Органічна частина ґрунту є сховищем найбільших запасів (1395,3 Гт) [11] вуглецю в наземних екосистемах. Таким чином, ґрунтовий покрив своєю газовою функцією (стосовно вуглецю) виконує в біосфері найважливішу роль підтримки сучасного оптимального клімату [12].

Ґрунт – складна багатокомпонентна та динамічна система, але більшість фізичних та хімічних методів дослідження ґрунту та його компонентів базуються на редукційному підході, якому притаманно поділяти складну систему на окремі, більш гомогенні або індивідуальні компоненти, отримуючи при цьому обмежену інформацію про фізико-хімічні процеси в цілому. За такого методичного підходу створюється плутанина щодо інтерпретації отриманих результатів, особливо в екстраполяції розшифрування спектрів індивідуальних молекул органічних речовин ґрунту та неможливо зв'язати з базовими молекулярними перетвореннями, які пов'язані зі стабілізацією органічної речовини ґрунту. Через що дуже складно розробити технології управління ґрунтовими процесами *in situ*. Тому новітній підхід до вивчення складних систем базується на макроскопічному описі всієї системи шляхом виділення інтегративного показника, що характеризує складну систему в цілому.

Відомо, що діоксид вуглецю атмосфери приблизно на 90 % має ґрунтове походження [13]. Оскільки, серед потоків CO₂, що надходять до атмосфери, його емісія з поверхні ґрунту є одним з найпотужніших джерел вуглекислоти, навіть незначні порушення ґрунтового дихання в глобальному масштабі можуть призвести до змін концентрації CO₂ в атмосфері [14].

Сільськогосподарська діяльність, що провокує емісію парникових газів із ґрунту, складається з таких процесів, як спалювання біомаси, оранка, інтенсивне використання органічних добрив, надмірне навантаження пасовищ тощо. Інтегративним показником, що адекватно відображає стан ґрунтових агрофітоценозів, є ґрунтове дихання [15, 16]. Параметри ґрунтового дихання характеризують мікробіологічну активність ґрунту й запаси лабільних органічних речовин, що дає змогу визначити екологічний стан ґрунту.

Значні втрати органічних речовин, що мають місце за інтенсивного обробітку ґрунту внаслідок зміщення рівноваги між процесами синтезу та розпаду гумусу, змінюють співвідношення між мінералізацією й стабілізацією новоутворених органічних речовин.

В рамках сучасних інтегративних методів дослідження складних органічних систем, таких як нафта чи кам'яновугільні смоли, розробляються методи холістичного вивчення процесів перетворення гумінових кислот, як супрамолекулярних систем, що дає змогу виявити макроскопічні показники, які відповідають усередненому значенню всієї динамічної структури.

1.2 Потенційна залежність виділення вуглекислого газу з ґрунту від способів його обробітку

Багато дослідників вважають, що сільське господарство, за впровадження відповідних технологій обробітку ґрунту, може стати одним із найбільших поглиначів CO₂ з атмосфери. У разі добре вираженого депонування можна отримувати не тільки високі врожаї, але й запобігати ефекту глобального потепління. Розбалансованість циклів кругообігу вуглецю у ґрунті, навпаки, призводить до втрати як органічних речовин, так і доступних елементів живлення, необхідних рослинному й мікробіологічному світу, та додаткового надходження парникових газів в атмосферу.

Емісія CO₂ з ґрунту, своєю чергою, тісно пов'язана зі способами його обробітку. Зміни параметрів ґрунтового дихання можуть залежати як від загальної кількості та доступності вуглецю органічних речовин, так і від здатності мікробних угруповань до метаболізму вуглецевих сполук.

Обробіток ґрунту та ступінь його окультуреності дуже сильно впливають на його повітряний режим [17]. Проте, питання залежності виділення вуглекислого газу з ґрунту від способів обробітку в літературі висвітлюється дуже неоднозначно. Згідно з результатами дослідження І. Б. Ревута та І. І. Кочурової [18] на прикладі дерново-підзолистих ґрунтів, різні способи обробітку помітно впливають на вміст повітря у ґрунті та його склад. За застосування безвідвального обробітку спостерігається підвищення вмісту CO₂ в ґрунтовому повітрі, звичайна ж оранка (з обертаннем скиби) на глибину 20-22 см створює сприятливі умови для розкладу клітковини в ґрунті та прискорює газообмін між ґрунтовим та атмосферним повітрям [19, 20]. Дослідження ВНДІ землеробства та захисту ґрунту від ерозії на чорноземних ґрунтах показали, що емісія CO₂ за відвального обробітку є в 1,4 раза більшою, ніж за безвідвального [21].

Метою досліджень було визначити процеси реагування гумінових молекул як цілісної супрамолекулярної системи за інтегративними спектроскопічними параметрами (комплексними спектроскопічними методами), які контролюють стабілізацію ґрунтового вуглецю та обумовлюють динаміку емісії CO₂ з ґрунту.

Для досягнення поставленої мети було проведено дослідження процесів формування та реагування гумінових молекул чорнозему типового; виявлено зміни фізико-хімічних властивостей, електронної структури, молекулярних параметрів гумінових кислот та структурного складу гумінових кислот чорнозему типового та проведено порівняння інтенсивності виділення CO₂ ґрунтом за різних способів основного обробітку ґрунту.

2. Об'єкти та методи дослідження

Об'єктом дослідження слугував стаціонарний польовий дослід кафедри землеробства ім. О.М. Можейка, Харківського національного аграрного університету імені В. В. Докучаєва (керівник дослідження – доктор с.-г. наук, доцент Шевченко М. В.), який було закладено у 2005 році поблизу с. Рогань Харківського району Харківської області (географічні координати: 49°54'12,61" Північної широти та 36°26'24,71" Східної довготи).

У досліді вивчаються 6 чотирирічних зерно-просапних сівозмін з таким чергуванням культур: попередники озимої пшениці - озима пшениця - цукрові буряки - ячмінь. Попередниками озимої пшениці та першими культурами сівозмін є: чорний пар, горох, чина, вико-вівсяна сумішка, соя та кукурудза. Горох та чина вирощуються на зерно, вико-вівсяна сумішка та соя – на зелений корм, кукурудза – на силос.

Загальна площа дослідів 1,4 га. Розміщення ділянок в досліді послідовне, повторність триразова. Площа дослідних ділянок 400 м². Добрива не вносили. Способи обробітку повторювалися беззмінно з початку закладки дослідів. До початку дослідів, на цій ділянці був 50-ти річний переліг, частину якого, що залишилася, використано як контроль.

Для досліджень було обрано п'ять варіантів – переліг і 4 способи обробітку ґрунту в досліді:

1. Переліг більше 60 років (контроль);
2. Оранка плугом ПЛН-4-35 на 20-22 см;
3. Дискування бороною ДМТ-4 на 10-12 см;
4. Передпосівна культивация культиватором КПЕ-3,8 на 6-8 см (як основний обробіток);
5. Нульовий обробіток – прямий посів сівалкою Grate plains (без основного обробітку ґрунту).

Ґрунт дослідного поля – чорнозем типовий середньогумусний важкосуглинковий на лесоподібних суглинках з такими параметрами властивостей в орному шарі: вміст гумусу за Тюрніним – 4,9-5,1 %; загальний вміст азоту за ДСТУ 4726:2007 в модифікації ННЦ ІГА ім. О. Н. Соколовського – 0,25 %; вміст рухомих сполук фосфору та калію за Чириковим – відповідно 100 та 150 мг/кг ґрунту.

Дослідження проводили впродовж 2011-2016 рр. Проби ґрунту для екстрагування ГК відбирали з шару 0-20 см. Аналітичні та спектроскопічні дослідження проводили згідно з чинними стандартизованими та загальноприйнятими методиками, а саме: загальний вміст органічного вуглецю в ґрунті – методом І. В. Тюріна (ДСТУ 4289:2004); загальний вміст азоту – методом Й. К'ельдаля (ДСТУ 7926:2015); груповий та фракційний склад гумусу – за методом І. В. Тюріна у модифікації Пономарьової та Плотникової (ДСТУ 7828:2015).

Екстрагування ГК з ґрунтових проб для комплексних спектроскопічних досліджень проводили за стандартною методикою Д.С. Орлова [22]. Комплексний спектроскопічний аналіз виконано в лабораторіях Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна та у Науково-технологічному комплексі "Інститут монокристалів" (Харків).

Отримання молекулярних спектрів в ультрафіолетовій (УФ) області поглинання витяжками гумінових кислот (ГК) (без розбавлення) проводили на приладі Stellarnet BLACK-Comet (Інститут хімії ХНУ імені В. Н. Каразіна, відділ гетероциклічних та флуоресцентних сполук) в області діапазону вимірювань від вакуумного (90 нм) до видимого (445 нм) з використанням кювети зі зменшеною довжиною оптичного шляху (0,5 см), що є основною технікою проведення молекулярної спектроскопії рідких та концентрованих зразків [23].

Зразки для зйомки спектрів інфрачервоного пропускання з фур'є трансформацією (FTIR) з метою вивчення особливостей гідратації ГК в розчині (невисушені витяжки ГК) було підготовлено за процедурою сушіння на повітрі (Air Drying Procedure) [24, 25] з використанням тонкої плівки (Науково-технологічний комплекс "Інститут монокристалів" Національної академії наук України).

Аналіз зразків гумінових кислот електронним парамагнітним резонатором (ЕПР) проводили за допомогою спектрометра JES-ME-3х, який працює в трисантиметровому

діапазоні довжин хвиль (X-band) з частотою модуляції 100 кГц (ХНУ імені В. Н. Каразіна, радіофізичний факультет, лабораторія ЕПР кафедри молекулярної та медичної біофізики). Досліджувані зразки ГК для ЕПР спектроскопії масою 100 мг, поміщали в кварцові ампули фірми JEOL.

Для визначення g-фактора та інтенсивності ЕПР спектрів як стандарт використовували полікристалічний зразок дифенілпікрілгідразилу (ДФПГ), середнє значення g-фактора якого дорівнює $(2,0036 \pm 0,0003)$. Оскільки кожна молекула ДФПГ має один неспарений електрон, то ДФПГ використовували як еталонний зразок для вимірювання інтенсивності ЕПР спектрів. Оксид алюмінію (III) використовували для калібрування розгортки магнітного поля спектрометра, а монокристал рубіну – для вимірювання відносної інтенсивності ліній ЕПР спектру. Досліджувані зразки в кварцових ампулах поміщали в пучність надвисоких частот (НВЧ) магнітного поля резонатора ЕПР спектрометра. Дослідження ЕПР зразків ГК проводили через 12 годин після їх приготування за кімнатної температури. Концентрацію парамагнітних центрів у зразках ГК визначали методом порівняння відносних амплітуд сигналів, ДФПГ та зразка ГК [26].

Для дослідження рухомості молекул води та супраструктури ГК чорнозему типового використовували циліндричний H_{01n} -резонатор на робочій частоті 9,2 ГГц. Ця методика дозволяє зафіксувати зміну частоти релаксації дипольних моментів води та функціональних груп, що обумовлено рухливістю вільних диполів, здатних орієнтуватися в полі НВЧ та контролювати кооперативний рух молекулярного ансамблю за відклику повного дипольного моменту зразка на перемінне електричне поле (зміну потужності) і є комплексною мірою [27, 28].

Як еталон для обчислення зсуву частот (f_0 , кГц) та НВЧ потужності електричного поля у мікроамперах (u_0 , ма) за абсолютною величиною використовували порожній резонатор без зразка (вимірювання проводили на радіофізичному факультеті ХНУ імені В. Н. Каразіна в лабораторії ЕПР під керівництвом к.ф.-м.н. О.Т. Ніколова, с.н.с., кафедри молекулярної і медичної біофізики).

Елюцію (вилучення) зразків ГК здійснювали 0,1 н NaOH та 0,1 н лимонною кислотою. Збір елюенту здійснювали у 3 мл пробірки, реєстрацію молекулярних фракцій проводили на спектрофотометрі СФ-24 за довжиною хвилі 465 нм (фракціонування проводили в інституті біології «Віварій» біологічного факультету ХНУ імені В. Н. Каразіна в лабораторії молекулярної та клітинної біотехнології).

Дослідження динаміки емісії CO_2 за різних способів обробітку ґрунту вели на вищеописаному дослідному об'єкті. Моніторинг емісії CO_2 з ґрунту здійснювали в польових умовах (раз на місяць протягом вегетаційного періоду) та в лабораторних умовах, стандартизованих за параметрами температури і вологості (тричі за вегетаційний період). Змішані проби ґрунту відбирали у п'ятиразовій повторності з ділянок площею 1 м². Інструментальний контроль інтенсивності виділення діоксиду вуглецю з поверхні ґрунту проводили за допомогою портативного газоаналізатору testo 535 з ізолюванням від атмосферного повітря [29]. Вимірювання виконували 3-5 разів на день із подальшим усередненням та статистичною обробкою результатів. Одночасно з вимірюваннями інтенсивності виділення діоксиду вуглецю визначали температуру ґрунту на глибині 10 см [30] та вміст вологи у шарі 0-20 см гравіметричним методом (ДСТУ ISO 11465-2001) [31].

Вимірювання продукування CO_2 ґрунтом у стандартизованих (лабораторних) умовах проводили за методикою Б. М. Макарова [32]. Зразки ґрунту відбирали згідно з чинною методикою (ДСТУ 4287:2004) та приводили до ідентичних фізичних параметрів (вологість, температура, щільність), надалі в лабораторних умовах після лужної абсорбції визначали шляхом титрування кількість CO_2 , виділеного з ґрунту.

3. Результати дослідження та їх обговорення

3.1 Фізико-хімічні властивості гумусових кислот чорнозему типового за різного обробітку за даними молекулярної спектроскопії

Процеси стабілізації органічного вуглецю ґрунту зумовлені біотрансформацією складу органічних речовин, що визначається мікробіологічною та біохімічною діяльністю, і залежить, своєю чергою, від вологості ґрунту в межах орного шару. Механічний обробіток змінює та диференціює товщу ґрунту, що відбивається на водно-повітряному режимі, функціональному складі мікробного біоценозу, щільності будови ґрунту тощо.

Узагальнені результати лабораторно-аналітичних робіт щодо складу органічної речовини чорнозему типового за різного обробітку представлено в таблиці 1, які вказують

що тривале застосування відвального обробітку викликає зменшення загального вмісту вуглецю, порівняно з 50-річним перелогом, у поверхневому 0-20 см шарі.

Таке зменшення порівняно з контролем (переліг) ми пов'язуємо з підвищенням швидкості біологічної мінералізації та зі слабкою стабілізацією новоутворених гумусових сполук, для яких характерною є висока рухомість та доступність для гідролітично активних мікроорганізмів.

Інтенсивний обробіток ґрунту призвів до збільшення вмісту органічного вуглецю, в досліджуваному шарі, що ми пов'язуємо з підвищенням активності новоутворених гумусових речовин, завдяки наявності свіжої органічної речовини та високій активності аеробних мікроорганізмів. На підвищення активності новоутворених речовин вказує збільшення вмісту фракцій гумінових кислот ГК-1 за дискування, а ФК на оранці, що зумовлює високу швидкість синтезу та розпаду органічної речовини чорнозему.

Після нульового обробітку чорнозему типового відбувається збільшення вмісту фракції ГК-2, що сприяє підвищенню стійкості органічних речовин внаслідок активізації другої стадії гуміфікації, а саме – полімеризації. На варіанті з оранкою відмічається зміна типу гумусу з гуматного на фульватно-гуматний через підвищення вмісту фульвокислот (ФК). Застосування дискування чорнозему типового призвело до збільшення вмісту ГК-1 та зменшення ФК, що є більш сприятливим для стабілізації новоутворених та лабільних органічних сполук ґрунту.

Таблиця 1

Склад органічної речовини чорнозему типового за різного обробітку

Показник	Переліг	Оранка	Дискування	Нульовий обробіток
Сзаг, %	3,03	2,75	2,65	2,53
Сгк, % до Сзаг	42,0	36,0	38,4	44,4
Сфк, % до Сзаг	23,9	26,5	23,1	21,9
Сгк/Сфк	1,7	1,4	1,7	2,0
Ступінь гуміфікації	дуже високий	високий	високий	дуже високий
Тип гумусу	гуматний	фульватно-гуматний	гуматний	гуматний
ГК-1, % до суми ГК	4,8	5,7	6,1	4,1
ГК-2, % до суми ГК	69,1	75,4	70,2	80,5
ГК-3, % до суми ГК	26,1	18,9	23,8	15,5

Примітка: Сзаг – загальний вміст органічного вуглецю; Сгк – вуглець гумінових кислот; Сфк – вуглець фульвокислот; ГК – гумінові кислоти

Складний динамічний характер структури та складу гумінових кислот зумовлено суперпозицією сигналів та екрануванням багатьох атомів а молекул, що не дозволяє їх описувати як індивідуальну структуру. Ускладнення щодо розшифрування спектрів пов'язано з накладанням та екрануванням сигналів сусідніх атомних груп через велику гетерогенність гумінових екстрактів. Тому гумусові речовини (ГР) мають дуже великий набір різноманітних атомно-молекулярних груп [22], як правило із складними та широкими смугами поглинання [33], що зумовлено суперпозицією коливально-обертальних рухів різних груп [34]. У зв'язку з цим для дослідження складних речовин, проводять комплексний фізико-хімічний аналіз, що відображає більш повну інформацію та достовірну інтерпретацію здобутих результатів [1, 5, 35, 36].

Зміна оптичних властивостей ГР за різного антропогенного навантаження вказує на різну природу їх молекулярної організації, що зумовлює зміну фізико-хімічних властивостей або макрохарактеристик [36]. Макрохарактеристики надмолекулярних структур в різних середовищах зумовлюють розчинність, в'язкість, сорбційну та комплексоутворювальну здатність та визначають активність та стабільність молекулярних біосистем [37]. Одним із найважливіших показників макрохарактеристик ГК є спектроскопічні властивості, що відображають енергетичний стан гумінових молекул в розчинах. Беручи до уваги, що стійкість та активність гумінових молекул в розчинах визначається розподілом міжмолекулярних зв'язків, дослідження молекулярних зв'язків у зразках гумінових кислот має дуже важливе значення для вивчення рухомості та стабільності гумусової системи.

У дослідженні складних конденсованих систем та сумішей (зокрема сумішей гумусових молекул), в яких утворені частинки знаходяться під впливом різноманітних міжмолекулярних сил і складного молекулярно-атомного оточення, молекулярна спектроскопія може дати цінну інформацію щодо енергетичних параметрів молекулярної системи. Джерелом інформації щодо організації ГР в різних середовищах стає не спектр індивідуальних молекул (форма, частота, інтенсивність), а зміна спектру, обумовлена міжмолекулярними силами тієї чи іншої природи (зміщення частоти, зміна інтенсивності та ширини й форми смуг). Повна енергія взаємодії макромолекул з навколишнім середовищем (розчинником) описується через загальний термодинамічний потенціал, що залежить від взаємного положення молекул (конфігурації, конформації). Фізико-хімічні властивості описуються набором функцій розподілу положення частинок та відіграють важливу роль у термодинамічному описі складної гумусової молекулярної системи [38].

У роботі розглянуто закономірності, що зв'язують квантовий континуум електронних станів, визначений за спектрами поглинання, з фізико-хімічними властивостями багатоконпонентних і складних молекулярних систем [39]. Узагальнено виявлені раніше закономірності, що зв'язують такі фізико-хімічні властивості, як коксованість і молекулярна маса, з інтегрованою силою осцилятора. Цей інтегрований параметр характеризує обсяг молекулярної квантової системи й оцінюється через площу під кривою поглинання випромінювання для видимих інфрачервоних (ІЧ) та ультрафіолетових (УФ) спектральних смуг.

Для інтегративного аналізу спектрів поглинання в УФ діапазоні ГК застосували техніку молекулярної УФ спектроскопії (зменшення довжини оптичного шляху кювети) зразків ГК рідких витягів (Рис. 1), екстрагованих з чорнозему типового без розбавлення, тому що зміна концентрації зразку впливає на нативну молекулярну організацію [40].

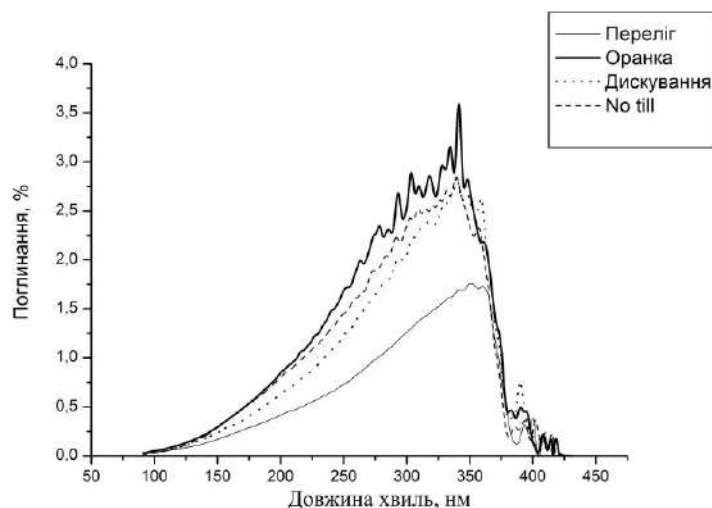


Рис. 1. Молекулярні ультрафіолетові спектри гумінових кислот, виділених із чорнозему типового за різного обробітку ґрунту

Молекулярні спектри УФ поглинання зразків ГК, виділених з чорнозему типового за різних способів його обробітку, представлені широкими й дифузними (відсутність індивідуальної коливальної структури спектра [41]) що обумовлено суперпозицією всіх атомних та молекулярних гумінових зразків [42].

Розширення форми спектрів та висока амплітуда поглинання, за даними техніки молекулярної спектроскопії, пов'язана з високою концентрацією гетерогенних структур, що зумовлюють суперпозицію сигналу та його заломлення (що викликає дифузію). Підсилення суперпозиції обумовлено збільшенням енергії коливань електронної системи ароматичних структур, за цим електронна енергія визначає будову електронної оболонки всієї ароматичної системи подвійних зв'язків. Збільшення ширини та інтенсивності молекулярного спектру поглинання ГК чорнозему після оранки та дискування ґрунту пов'язано зі збільшенням концентрації хромофорів та їх тепловим рухом, що збурює коливальні рухи та призводить до дефазування – скорочення тривалості квазігармонійного процесу і, як наслідок, розширення лінії поглинання.

Форма УФ спектру не змінюється за впливу обробітку чорнозему типового, що обумовлено схожістю в молекулярній побудові та складі досліджуваних ГК. Обробіток

чорнозему типового привів до гіперхромного ефекту на спектрах поглинання ГК (порівняно з перелогом). На спектрах ГК відбувається збільшення амплітуди поглинання в області 250-350 нм (дифузна область) за використання інтенсивного обробітку (оранки) чорнозему типового. Виникнення широкої дифузної смуги пов'язано з характером молекулярної динаміки (трансляційних та поворотних рухів молекул суміші), а також зі статистикою міжмолекулярної взаємодії в системі.

Оскільки в реальних системах через флуктуаційні процеси різні молекули знаходяться в різному структурному оточенні, можна сказати про статистичний розподіл частот коливальних переходів відносно найбільш вірогідного значення, що приводить до формування флуктуаційного загального контуру (дифузного поглинання) спектральної смуги. За цим зміна термодинамічного стану ГК визначається роботою, виробленою полем міжмолекулярних сил за зміни дипольного моменту, і поляризацією молекул від значень початкового стану до нового. За електронних переходів (на відміну від коливальних) відбувається більш значний перерозподіл електронної густини, і, як наслідок, більш сильна зміна молекулярних параметрів дипольного моменту та поляризації кетонів.

У роботах А. Ю. Кудеярової [43-45] показано, що зміна інтенсивності поглинання та зміщення в довгохвильовий діапазон за електронної спектроскопії ГР та ГК обумовлена утворенням хелатних вузлів з металами змінної валентності за рахунок формування гумінових макролігандів [43]. Що приводить до збільшення інтенсивності електронного поглинання ГК [44] через підвищення кількості оксигеновмісних функціональних груп [45].

Таким чином, спектроскопія ГК в УФ та видимому діапазонах світла виявила зміну інтегративного показника термодинамічної (енергетичної) величини гумінової електронної системи спряжених зв'язків, обумовленої перерозподілом електронної густини та поляризацією кетонних груп за різного обробітку чорнозему типового. Інтенсифікація обробітку чорнозему типового приводить до збільшення ентропії гумінової структури, що обумовлено енергетичною перебудовою електронної системи та її стабілізації донорно-акцепторними комплексами, утвореними за рахунок активних макролігандів, переважно кетонів функціональних груп ГК.

Спектри інфрачервоного пропускання з фур'є трансформацією (FTIR) досліджуваних зразків ГК чорнозему типового мають характерну форму, що не змінюється за різного обробітку ґрунту, та відрізняються амплітудою і зміщенням характеристичних смуг поглинань. Подібність форми ІЧ спектру обумовлено схожим структурним складом та подібною загальною макроструктурою усіх досліджуваних гумінових зразків (Рис. 2).

Спектри FTIR ГК характеризуються наявністю ряду смуг поглинань, що відповідають головним атомно-молекулярним структурним елементам. Дані ІЧ-спектрів вказують на присутність спряжених ароматичних C=C-зв'язків, аліфатичних структур (-CH₂, -CH₃), а також на наявність широкої смуги фенолгідроксильних груп -ОН, зміщення якої в бік низьких частот вказує на розвинену сітку міжмолекулярних Н-зв'язків. Ці зв'язки, як відомо, грають першочергову роль в розчинах, сприяючи асоціації гумінових молекул, особливо за зниження рН та стабілізації міцело-колоїдної системи.

Область валентного поглинання -ОН груп, пов'язаних з Н-зв'язками, обумовлена широким спектром з діапазоном поглинань 3500-3400 см⁻¹. На думку А. Пікколо та Ф. Стівенсона, збільшення інтенсивності смуги з максимумом 3420 см⁻¹ може бути викликано тим, що до складу адсорбованих комплексів основних солей з -ОН групою входять гідратовані метали та катіонні містки [46]. Серед інших груп, що можуть утворювати Н-комплекс, це – NH-групи в різних положеннях; але у зв'язку з тим, що їх кількість порівняно менша, ніж -ОН, їх роль у гідратації та формуванні смуги незначна [47].

На отриманих спектрах чітко проявляються смуги в області поглинання за довжиною хвиль 1710-1725 см⁻¹, що відповідає неіонізованим кетонам карбоксильних груп (-COOH). В ГК ця смуга поглинання відповідає карбоксильними групам, смуга яких зникає (або зменшує інтенсивність) за утворення різних солей з ГК, що проявляється у вигляді карбоксилат-іонів за довжинами хвиль 1590 та 1390 см⁻¹.

На всіх отриманих спектрах чітко проявляються сильна смуга поглинань за довжиною хвилі 1625 см⁻¹, що обумовлено коливанням ароматичних C=C структур (а також хінонів, карбонілів (C=O), які пов'язані Н-зв'язком з ОН-групами, та представляють переважно внутрішньомолекулярні зв'язки ароматичної частини макромолекули). За смугою поглинання можна ідентифікувати сильну смугу за 1080 см⁻¹, що обумовлена наявністю етерних (-C-O-C-) ковалентних зв'язків між полісахаридами.

Таким чином, за даними ІЧ спектроскопії ГК чорнозему типового обробіток ґрунту привів не до зміни структури, а до перерозподілу якісного складу полярних та неполярних елементів ГК. Склад ГК, залежно від способу обробітку ґрунту, визначив розподіл

міжмолекулярних зв'язків і утворення нових комплексів, що стабілізують різні гумінові структури, збільшуючи таким чином загальну енергію ГК чорнозему типового після застосування оранки та дискування. Діапазон від 1800 см^{-1} до 2500 см^{-1} виявив зміну нахилу за інтенсифікації обробітку, що може бути інтегративним показником зміни молекулярно-масових параметрів всієї гумінової супраструктури.

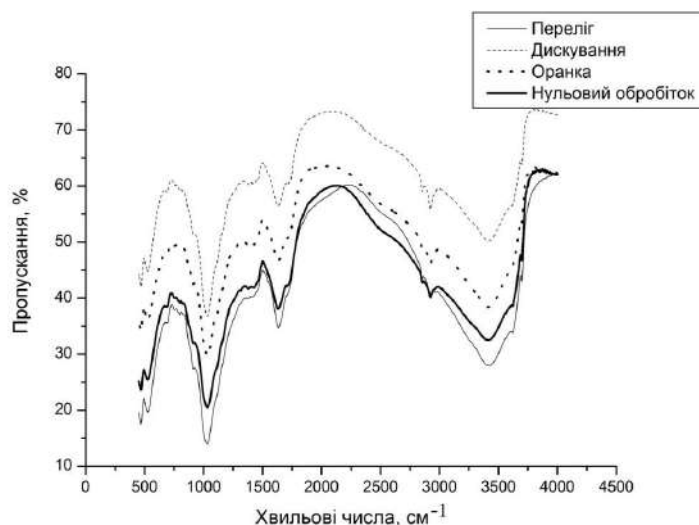


Рис. 2. FTIR спектри ГК екстрагованих із чорнозему типового за різного способу обробітку ґрунту (шар 0–20 см)

Наші ЕПР (Електронний парамагнітний резонанс) дослідження твердофазних зразків ГК, показали, що парамагнітні властивості ГК, виділених з чорнозему типового, обумовлені неспареним електроном семихінонного радикалу, а також іонами парамагнітних металів змінної валентності (Рис. 3). Встановлено, що найбільший внесок у парамагнітні властивості досліджуваних зразків ГК здійснює широкий сигнал Fe^{3+} , що накладається на вузький та слабший сигнал семихінонного радикалу.

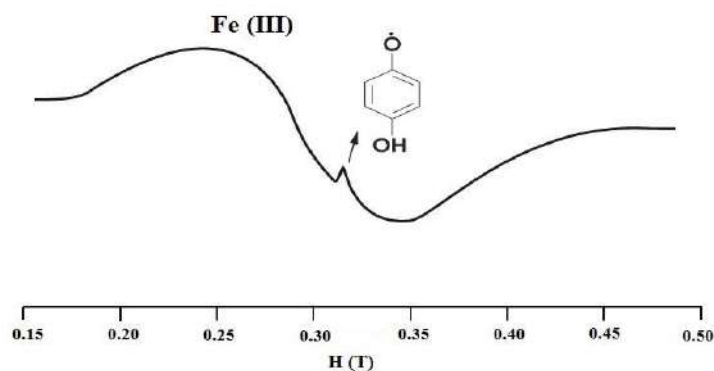


Рис. 3. Загальний ЕПР спектр досліджуваних зразків ГК чорнозему типового, в якому виявляються широкий спектр хелатних комплексів з залізом (III) та вузький сигнал семихінонних радикалів ($H(T)$ – напруженість поля, в Теслах)

У зв'язку з тим, що широка форма лінії ЕПР спектра не змінюється від інтенсивності обробітку ґрунту, а відрізняється лише інтенсивністю, можна зробити висновок щодо того, що у всіх досліджуваних зразках ГК утворюються парамагнітні центри однакової природи (одного типу) та представляють макрочарактеристику зразка.

Показано, що форма ліній всіх ЕПР спектрів не залежить від способів обробітку ґрунту і відрізняється лише інтенсивністю і, відповідно, кількістю парамагнітних центрів. Ми виявили, що оранка ґрунту викликає значне збільшення парамагнітного сигналу, що

обумовлено збільшенням кількості парамагнітних центрів, пов'язаних з металокомплексами (Рис. 4).

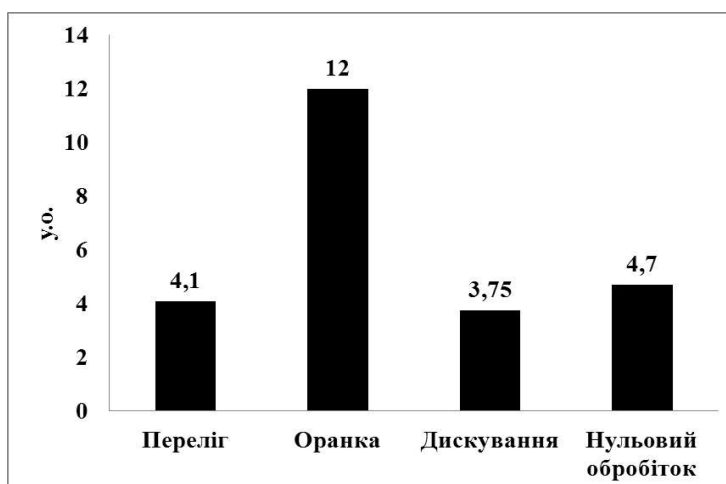


Рис. 4. Концентрація парамагнітних центрів (ПЦ, в умовних одиницях), пов'язаних з металокомплексами, в зразках, виділених з чорнозему типового за різного обробітку ґрунту

Природа отриманої широкої лінії ЕПР спектру ГК з g-фактором 2,0023 пов'язана з парамагнітними центрами, які представлені комплексами з металами. Відомо, що парамагнітні іони заліза відносяться до груп іонів з електронною конфігурацією, які знаходяться в S-стані (спінової момент 6 (5/2) характерні для Fe^{3+} і Mn^{2+}). У таких іонах орбітальний момент дорівнює нулю, тому не повинно бути розщеплення головних рівнів у кристалічних решітках, але парамагнітна активність проявляється. Іони S-стану в комплексах мають значення g-фактора, близькі до значення неспареного електрона (2,00) [48].

Комплексні спектроскопічні дослідження зразків ГК дозволили виявити інтегративні зміни у якісному складі та розподілі молекулярних зв'язків, які стабілізують гумінову супраструктуру й обумовлюють зміну фізико-хімічних макрохарактеристик – активність молекул, здатність до комплексотворення і стабілізації. За даними електронної та молекулярної спектроскопії в УФ та видимих областях світла ГК чорнозему типового після інтенсифікації обробітку ґрунту виявлено підвищення рухомості π -електронної спряженої системи подвійних зв'язків ароматичних структур. Проведені нами спектроскопічні дослідження показують, що збільшення активності гумінових молекул за інтенсифікації обробітку чорнозему типового, особливо після оранки, а також зміна фізико-хімічних властивостей зразків ГК, відбувається в результаті перебудови гумінової надмолекулярної структури, яка обумовлена зміною складу структурних елементів, що визначають розподіл полярних та неполярних зон ГК.

Вивчення динаміки та рухомості структури водного оточення та гумінових структур дає цілісну інформацію щодо молекулярних механізмів гідрофільної чи гідрофобної гідратації, які лежать в основі функціонування та стабільності біосистем в розчинах. Вода має відносно високу діелектричну проникність, що визначає діелектричні властивості біологічних середовищ (суміш надмолекулярних структур біомолекул). Діелектричні властивості води у вільному та зв'язаному стані з біомолекулами різні. Зміна відношення вільної та пов'язаної води супроводжується зміною діелектричних параметрів біосистеми, які відображаються на динаміці всього надмолекулярного ансамблю [49].

Дослідження рухомості складних гідрофобних систем та водного оточення проводили застосовуючи метод діелектричної релаксаційної спектроскопії надвисокої частоти (НВЧ) [50]. Нашими дослідженнями встановлено параметри частоти релаксації рухомих диполів води в дослідженнях гумінових зразків чорнозему типового (Табл. 2).

За нульового обробітку чорнозему спостерігається наближення результатів значення частотної релаксації диполів води в ГК до значення в ГК перелого, що обумовлено більшою кількістю неполярних ароматичних структур, обумовлюючих гідрофобні взаємодії. Тому на перелозі та за нульового обробітку відбувається гідрофобна гідратація, обумовлена деякою впорядкованістю водних кластерів навколо неполярних молекул та їх асоціатів. Як наслідок, збільшується можливість утворення гідрофобних дисперсійних π -зв'язків між ароматичними неполярними структурами. Тому зниження частоти релаксації гумінової супраструктури чорнозему типового після оранки пов'язано зі

збільшенням полярних структур меншого розміру, які обумовлюють формування гідрофільних доменів, рухомість молекул яких більш висока порівняно з гідрофобними доменами та обумовлена особливостями гідратації та структури водних кластерів.

Таблиця 2

Параметри релаксації диполів води зразків гумінових кислот чорнозему типового

Варіант	u_0 (μa)	f_0 (кГц)	u (μa)	f (кГц)	Δu (μa)	Δf (кГц)
Переліг	195,8	2943,2	88,6	2165,9	114,4	685,9
Оранка	197,8	2903,4	88,4	2124,4	109,4	779,0
Нульовий обробіток	190,2	3037,8	75,9	2351,9	114,3	685,9

Примітка: f – частота коливань вільних диполів води; u — сила електричного поля; u_0 — сила електричного поля пустого резонатора; f_0 – частота коливань пустого резонатора

Враховуючи амфіфільну природу ГР, гідратацію ГК слід розглядати як біфункціональну – специфічну гідрофобну, пов'язану з перебудовою молекул водного оточення неполярних структур, та специфічну гідрофільну. Специфічна гідрофільна гідратація ГК пов'язана з формуванням Н-зв'язків між ОН-групами та молекулами води і неспецифічною гідрофобною, що пов'язана з перебудовою водної структури. Тому після оранки чорнозему переважає специфічна негативна гідратація ГК, обумовлена більшою кількістю оксигеновмісних функціональних груп (а також вільних ОН-груп, що формують міжмолекулярні зв'язки), а за нульового обробітку та на перелозі – переважає гідрофобна позитивна гідратація, пов'язана зі структуризацією вільних кластерів води.

За дії лимонної кислоти на досліджувані гумінові зразки відбувається зміна усіх параметрів релаксації дипольних моментів води, що виражається у збільшенні частоти коливань вільних диполів води, що збільшує динаміку водного оточення та всієї гумінової супраструктури (Табл. 3). За оранки чорнозему в зразках ГК відбувається збільшення числа Н-зв'язків, що пов'язано з гідрофільною гідратацією молекул. Причому на перелозі спостерігається проміжне значення частоти релаксації дипольних моментів, що обумовлено гетерогенним складом ГК, в яких гідратація відбувається за гідрофільним та гідрофобним напрямками. За нульового обробітку чорнозему в зразках ГК відбувається зменшення кількості вільної води, що обумовлено переважно гідрофобною гідратацією гумінових молекул.

Таблиця 3

Параметри релаксації диполів води зразків гумінових кислот чорнозему типового після дії лимонної кислоти

Варіант	u_0 (μa)	f_0 (кГц)	u (μa)	f (кГц)	Δu (μa)	Δf (кГц)
Переліг	277,4	2867,5	100,3	2034,6	177,1	832,9
Оранка	247,2	2807,2	79,7	1799,7	167,5	1007,4
Нульовий обробіток	204,3	2875,3	98,0	2112,9	106,4	762,3

Примітка: f – частота коливань вільних диполів води; u — сила електричного поля; u_0 — сила електричного поля пустого резонатора; f_0 – частота коливань пустого резонатора

Методи ІЧ-спектроскопії є одними з найефективніших та найбільш розповсюджених для вивчення Н-зв'язків різних сполук та біосистем [51]. Особливої уваги потребує діапазон поглинань 3400 см^{-1} при вивченні кислотно-основних взаємодій, обумовлених протонно-акцепторними властивостями [52].

Сучасний підхід до вивчення складних систем базується на його інтегративних показниках, що дозволяє описати систему в цілому. Тому новітні методи молекулярних досліджень базуються на макроскопічному описі всієї системи, шляхом пошуку та виділення загального (інтегративного) показника, що характеризує зміну усіх складових системи [53] та розділення складної системи за процедурою “Омікс” наук [54].

3.2 Вплив систем обробітку ґрунту на динаміку емісії CO₂ з чорнозему типового

Процеси утворення вуглекислоти у ґрунті та газообміну з атмосферним повітрям залежать від типу ґрунту, його фізичних та хімічних властивостей, гідротермічних умов та рослинного покриву, а режим CO₂ є специфічним для кожного фітоценозу [55]. Результати багатьох досліджень [56, 57] показали, що інтенсивність дихання ґрунту зростала зі збільшенням температури повітря в експоненційній залежності. За однакової температури та вологості інтенсивність виділення вуглекислого газу прямо пов'язана з умістом органічної речовини у ґрунті. За цих обставин для правильної інтерпретації даних вимірювань виділення CO₂ з ґрунту необхідно враховувати щонайменше його вологість, температуру, щільність будови та співвідношення C:N.

У зв'язку із сильно вираженою добовою динамікою, для забезпечення точності та правильності оцінки обсягів емісії не можна обмежуватися тільки епізодичними вимірюваннями інтенсивності виділення CO₂ та супутніх спостережень на певну годину доби. Ми проводили циклічні визначення виділення CO₂ декілька разів протягом дня з подальшим усередненням отриманих результатів. Дні з опадами (навіть короткочасними) були виключені зі спостережень, а у весняний період кількість вимірювань протягом доби збільшувалася в 1,3-1,5 раза.

Сучасні технології, а саме, використання інфрачервоних газоаналізаторів, дозволяють зменшити тривалість вимірювань до 1–5 хв, що запобігає збільшенню температури повітря всередині камери, а також можливості похибки через зміну градієнта вуглекислого газу у системі [58]. Також для поліпшення умов вимірювань сучасні газові камери обладнано вентиляторами для вирівнювання тиску. Вплив тиску, як чинника змін емісійного потоку, досліджує П.І. Трофименко, використовуючи у роботі портативний газоаналізатор testo 535 [59]. Встановлено, що через вентилятори може втрачатися близько 3 % вуглекислого газу, але цим усувається можливість більшого негативного впливу на вимірювання через різницю тисків. Надзвичайно складно використовувати камерний метод взимку через низькі температури та наявність снігового покриву. Внаслідок зниження інтенсивності дихальних процесів в екосистемі у зимовий період необхідно збільшувати тривалість експозиції, що, своєю чергою, призводить до можливості похибки. Низькі температури призводять до погіршення роботи газоаналізаторів, що практично унеможливує використання камерного методу взимку. Крім того, порушення снігового покриву спричинює миттєвий викид вуглекислого газу, який, своєю чергою, далі абсорбується сніговим покривом. Це призводить до заниження результатів визначення виділення CO₂ із ґрунту.

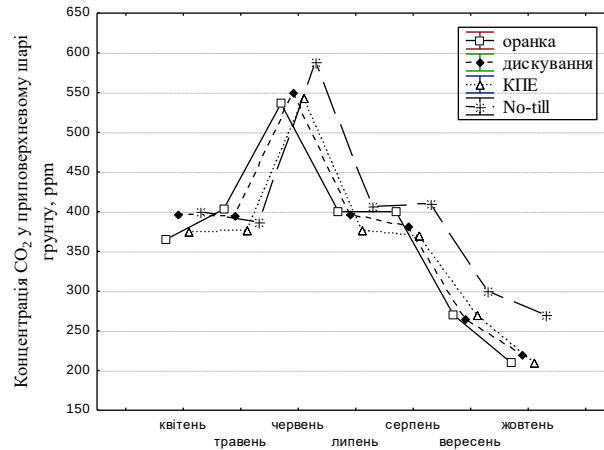
Використання респіраційних камер у дослідженнях продукування вуглекислого газу з ґрунту дозволяє оперативніше дізнаватися про біологічну активність (дихання) ґрунту, як додаток до результатів звичайних хіміко-аналітичних методів визначення стану ґрунтового покриву. Враховуючи переваги та недоліки вищезазначених інструментальних методів визначення дихальних процесів в екосистемі, можна вважати доцільним розглядати камерний метод як альтернативний до традиційних. У зв'язку з цим, у своїх дослідженнях виділення CO₂ з поверхні ґрунту ми надали перевагу портативному засобу інструментального аналізу – газоаналізатору testo 535.

Згідно з методичними рекомендаціями [60] для підвищення точності та об'єктивності результатів вимірювань слід обирати експозицію до 15 хвилин, робочу камеру із середнім об'ємом поглинання 2-3 дм³ із вертикальним закріпленням інфрачервоного зонду на відстані від поверхні ґрунту 1,5-2 см.

Узагальнені дані за вегетаційні періоди у роки дослідження не продемонстрували значної різниці інтенсивності виділення CO₂ з ґрунту між варіантами досліду у весняно-літній період (Рис. 5). Перш за все, ми пов'язуємо це зі зменшенням різниці щільності будови ґрунту, яка з часом, після обробітку, все більше наближається до рівноважної. Завдяки весняним запасам вологи у ґрунті вологість орного шару на час вимірювань коливалася в межах від 4,2 до 8,8 %, але кардинальної різниці між варіантами не було. Натомість спостерігали істотні коливання показника за сезонами року. Параметри інтенсивності виділення CO₂ змінювалися в інтервалі від 0,37 до 1,8 кг/га за годину. Одночасні спостереження за температурою та вологістю ґрунту показали, що саме остання є визначальним фактором стрибкоподібного посилення дихання ґрунту після злив наприкінці травня – початку червня. Після цього вологість ґрунту зменшувалася, причому найбільше – за оранки та поверхневого обробітку ґрунту, а за нульового обробітку була найвищою.

Відповідно до умов зволоження змінювалася й інтенсивність дихання ґрунту (див. Рис. 5). Найвищі концентрації CO₂ над поверхнею ґрунту спостерігали за технології

прямого посіву. Слід відмітити, що за умов недостатнього зволоження ґрунту зв'язок інтенсивності виділення CO_2 із температурою та вологістю хоча й був прямим, але доволі слабким ($r \approx 0,2$). Навіть за аномально низької вологості поверхневого шару ґрунту у весняний та осінній періоди років дослідження виділення вуглекислого газу з поверхні ґрунту не гальмується, можливо, завдяки продукуванню його у більш глибоких шарах та посилення газообміну.



Примітка: КПЕ - передпосівна культивация культиватором КПЕ-3,8 на 6-8 см

Рис. 5. Сезонна динаміка концентрації CO_2 у приповерхневому шарі чорнозему типового за різних способів його обробітку

Восени продукування CO_2 ґрунтом зменшилося на всіх варіантах дослідження порівняно з літнім періодом. В осінній період, у місячний термін після проведення основного обробітку ґрунту виміри показали максимальну різницю між способами, які досліджували. Ми пов'язуємо це, насамперед, із різною щільністю будови ґрунту: $1,09 \text{ г/см}^3$ за оранки та $1,16 \text{ г/см}^3$ за прямої сівби у шарі 0-10 см і $1,16$ та $1,32 \text{ г/см}^3$ у шарі 10-20 см відповідно. На більш ущільненій ділянці з прямим посівом концентрація CO_2 у повітрі над поверхнею ґрунту істотно вища, оскільки дифузійні процеси проходять значно повільніше, ніж на розораній ділянці. Як показують дослідження Hu Lifeng et al. [61], ще більшу різницю між різними видами обробітку ґрунту слід чекати у перші 5 днів після його проведення, особливо за покритої рослинними рештками поверхні. Супутні спостереження за вологою та зміною температури ґрунту також дають пояснення різниці між показниками дихання.

Спостереження за температурою ґрунту показали, що у зв'язку із відсутністю суцільного покриття рослинними рештками верхній шар чорнозему типового сильно прогривається у літні місяці. Найвищі температури зафіксовано у липні – від 27°C за прямого посіву та КПЕ до 29°C за оранки. Саме в цей період відбувалося інтенсивне висушування ґрунту і надалі технологія прямого посіву майже не виділялася за впливом на температурний режим ґрунту.

Наприкінці вегетаційного періоду у ґрунті спостерігається мінімальна кількість легкодоступних органічних речовин, які є поживним середовищем для мікроорганізмів [62]. Таким чином, спостереження показали, що інтенсивність виділення CO_2 з поверхні ґрунту значною мірою визначається такими фізичними умовами, як вологість та температура ґрунту, які в певних межах можна регулювати за допомогою основного обробітку ґрунту.

Щодо загальної різниці між способами обробітку, то виявлені відмінності у виділенні вуглекислого газу є цілком закономірними. Зменшення параметрів цього показника за оранки є наслідком не тільки меншої кількості легкодоступної частини гумусових речовин, але й переміщення рослинних решток з поверхні до нижньої частини орного шару, де утворюються більш сприятливі умови для гуміфікації. Натомість, на варіантах з поверхневим обробітком рослинні рештки були розташовані на поверхні ґрунту, що і призвело до їх більшої мінералізації та виділення CO_2 .

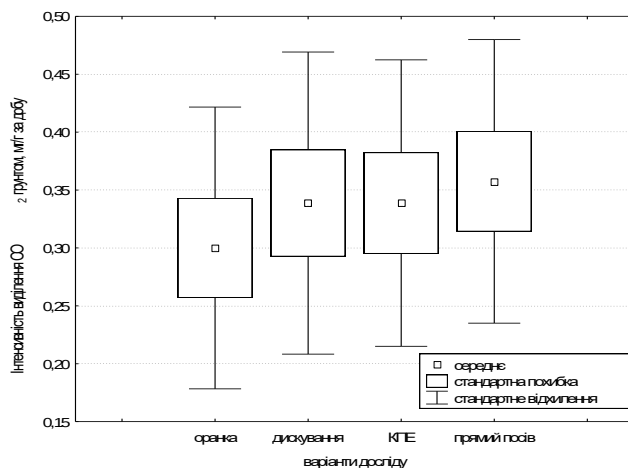
У зв'язку з тим, що через добові та сезонні зміни визначальних фізичних чинників інтенсивність продукування вуглекислого газу ґрунтом і рослинами, а також газообмін між ґрунтовим та атмосферним повітрям демонструють значні коливання, одночасно з прямими вимірюваннями виділення CO_2 у польових умовах доцільно проводити

дослідження ґрунтових зразків та рослин за стандартизованих умов навколишнього середовища. За умов приведення зразків ґрунту до однієї температури, вологості та щільності вплив фізичних факторів на дихання нівелюється, і можна кількісно оцінити вплив досліджуваного антропогенного чинника (наприклад способу обробітку ґрунту) на потенційну спроможність ґрунтового матеріалу до продукування вуглекислого газу.

Для виявлення динаміки зміни емісії CO_2 за методикою Б.М. Макарова зразки ґрунту відбирають згідно зі стандартними методами та завданнями досліджень, але висушують ощадливим способом за температури не вище 40°C . Сутність цієї методики полягає у подальшому визначенні кількості CO_2 , що надходить із ґрунту, за найбільш сприятливих умов зволоження та температури з аналітичним закінченням за методом титрування.

Вимірювання інтенсивності дихання проб ґрунту за Б. М. Макаровим, проводили тричі протягом року (навесні, влітку та восени). Узагальнення результатів вимірювань (Рис. 6) показує, що навіть за приведення вологості ґрунту до однакового рівня (60 % від польової вологості) виділення CO_2 з ґрунту на варіанті з оранкою є найменшим, а за прямого посіву – найбільшим. Це є закономірним, адже, систематична оранка призводить до тенденції зменшення вмісту лабільного гумусу та фульвокислот у ґрунті, які найбільш доступні мікробіологічному розкладу.

Можна припустити, що завдяки зменшенню аерації за технології прямого посіву на початку може відбуватися зменшення процесів мінералізації, з часом, завдяки цьому, у ґрунті накопичується більше легкодоступних органічних речовин і виділення CO_2 активізується. Таким чином може відбуватися перехід із одного рівноважного стану до іншого. Поряд з цим, узагальнені результати також свідчать про значну похибку вимірювань інтенсивності виділення CO_2 навіть за приведення фізичних показників ґрунту (вологість, температура, щільність) до однакових. Це є наслідком того, що мікробний ценоз ґрунту також має значну сезонну динаміку, і біогенність ґрунту стрімко зростає, починаючи від часу відновлення весняної вегетації до середини літа, із подальшим поступовим згасанням. Здобуті результати свідчать саме про таку динаміку на всіх дослідних ділянках. Це можливо пояснити тим, що наприкінці вегетаційного періоду у ґрунті спостерігається мінімальна кількість легкодоступних органічних речовин, що є живильним середовищем для мікроорганізмів.



Примітка: КПЕ - передпосівна культивация культиватором КПЕ-3,8 на 6-8 см

Рис. 6. Інтенсивність виділення CO_2 у стандартизованих умовах вологості та температури за різних способів обробітку ґрунту

Отже, навіть незалежно від умов навколишнього середовища, ґрунт має чітку сезону динаміку потенційної спроможності до продукування вуглекислого газу, яка збігається із динамікою його загальної біогенності.

4. Висновки

1. Шляхом комплексного інтегративного аналізу сучасними спектроскопічними методами нефракціонованих екстрактів гумінових кислот чорнозему типового за різного обробітку встановлено процеси переорганізації гумінової супраструктури, яка характеризується перебудовою міжмолекулярних сил, що зумовлює зміну реакційної

здатності та стабільності ГК. Головним продуктом гуміфікації після оранки чорнозему типового за інтенсивної мінералізації свіжих органічних залишків є полярні сполуки, які формують гумусову систему, що характеризується більшою гідрофільністю внаслідок молекулярної переорганізації гумінової супраструктури. Це дозволяє припустити можливість регулювання процесів молекулярної переорганізації гумінової конформації за допомогою дії амфифільних функціональних матеріалів, які здатні *in situ* структурувати органічну речовину ґрунту в заданому напрямі.

2. Гумінова супраструктура чорнозему типового на варіанті «оранка» характеризується високою молекулярною рухомістю, зумовленою гідрофільною позитивною гідратацією яка виявляється на ІЧ спектрах поглинання ГК та доброю розчинністю, високою сорбційною та комплексоутворювальною здатностями, але слабкою здатністю закріплюватися, внаслідок міграційного «розсіювання» вглиб ґрунтового профілю.

3. Гідрофобна супраструктура гумінових кислот чорнозему типового перелугу та після нульового обробітку виявилася стійкою до міжмолекулярної перебудови за зниження рН лимонною кислотою, що зумовлено підвищенням гідрофобного ефекту внаслідок збільшення у складі гумінових кислот неполярних ароматичних конденсованих структур та амфифільних сполук, які асоціюються за допомогою переважно дисперсійних π-π або π-CH гідрофобних сил.

4. Інтенсивність та динаміка виділення вуглекислого газу з ґрунту значно залежать від гідротермічних умов. Спостерігалися істотні коливання параметрів показника за сезонами року. Параметри інтенсивності виділення CO₂ змінювалися в інтервалі від 0,37 до 1,8 кг/га за годину.

5. Способи основного обробітку ґрунту суттєво впливають на інтенсивність виділення CO₂. Найбільша різниця емісії CO₂ спостерігається впродовж першого місяця після основного обробітку, у весняний період відмінності становлять лише 12-25 %, а після висушування верхнього шару ґрунту у літні місяці різні технології основного обробітку менше різняться між собою.

6. За сумарними (впродовж вегетаційного періоду року) обсягами емісії CO₂ з чорнозему типового технологія прямого посіву переважає над іншими дослідженими способами основного обробітку, чому сприяє кращий водний режим та більш повна мінералізація рослинних решток на поверхні ґрунту. За основного обробітку шляхом дискування на 10-12 см річні втрати вуглецю найменші. Систематична оранка протягом 6 років призвела до зменшення вмісту лабільної органічної речовини і фульвокислот та зниження потенційної здатності до продукування CO₂ у верхньому шарі ґрунту порівняно з поверхневим обробітком та технологією прямого посіву.

Список використаних джерел

1. Перминова И.В. Гуминовые вещества – вызов химикам XXI века. *Химия и жизнь*. 2008. № 1. С. 50-56. URL: <https://istina.msu.ru/publications/article/3668102/>.
2. Lal R., Mohtar R.H., Assi A.T., Ray R., Baybil H., Lahn M. Soil as a Basic Nexus Tool: Soils at the Center of the Food–Energy–Water Nexus. *Curr Sustainable Renewable Energy*. 2017. Rep 4. P. 117–129. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40518-017-0082-4>
3. Piccolo A., Spaccini R., Drosos M., Vinci G., Cozzolino V. The Molecular Composition of Humus Carbon: Recalcitrance and Reactivity in Soils. The Future of Soil Carbon, Its Conservation and Formation, Edition: 1st, Chapter: 4, Publisher: Academic Press, Editors: Garcia Carlos, Nannipieri Paolo, Hernandez Teresa, 2018. P. 87-124. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811687-6.00004-3>.
4. Семенов В.М., Когут Б.М.. Почвенное органическое вещество. Москва: ГЕОС, 2015. 233 с. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25705091>.
5. Piccolo A. The supramolecular structure of humic substances. A novel understanding of humus chemistry and application in Soil Science. *Advances in Agronomy*. 2002. № 75. P. 57-133. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(02\)75003-7](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(02)75003-7).
6. Piccolo A., Spaccini R., Nieder R., Richter J. Sequestration of a Biologically Labile Organic Carbon in Soils by Humified Organic Matter. *Climatic Change*. 2004. V. 67(2). P. 329-343. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-004-1822-1>.
7. Nuzzo A., Piccolo A. Enhanced catechol oxidation by heterogeneous biomimetic catalysts immobilized on clay minerals. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*. 2013. V. 371. P. 8-14. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molcata.2013.01.021>.
8. Nuzzo A., Piccolo A. Oxidative and Photoxidative Polymerization of Humic Suprastructures by Heterogeneous Biomimetic Catalysis. *Biomacromolecules*. 2013. V. 14, P. 1645-1652. DOI: <https://doi.org/10.1021/bm400300m>.
9. Nebbioso A., Piccolo A., Spaccini R. Humeomics for a structure-bioactivity relationship of Humic Substances. *Geophysical Research Abstracts*. 2011. Vol. 13. P. 10961-10980. URL: <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2011/EGU2011-10961.pdf>.
10. Nebbioso A., Piccolo A. Advances in humeomics: enhanced structural identification of humic molecules after size fractionation of a soil humic acid. *Anal. Chim. Acta*. 2012. V. 720. P. 77-90. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aca.2012.01.027>.

11. Добровольский Г.В. Структурно-функциональная роль почв и почвенной биоты в биосфере. Москва: Наука, 2003. 364 с.
12. Добровольский Г.В., Никитин Е. Функции почв в биосфере и экосистемах. Москва: Наука, 1990. 261 с.
13. Cole K. Soil CO₂. 1995. [Electronic resource]. Access mode : www.global/carbon/reservoirdata.htm.
14. Малханова Е.В. Эмиссия диоксида углерода мерзлотными почвами юга Витимского плоскогорья: автореф. дис. канд. биол. наук. : [спец.] 03.02.13 «Почвоведение». Улан-Удэ, 2007. 19 с.
15. Загирова С.В. Структура ассимиляционного аппарата и CO₂-газообмен у хвойных. Екатеринбург, 1999. 108 с.
16. Загирова С.В. Структура и CO₂-газообмен хвои. *Физиология растений*. 2000. Т. 47. № 6. С. 825-830.
17. Медведев В.В. Нульовий обробіток в європейських країнах. Харків: ТОВ «ЕДЕНА», 2010. 202 с.
18. Медведев В.В. Оптимизация агрофизических свойств черноземов. Москва: Агропромиздат, 1988. 158 с.
19. Витер А.Ф. Динамика углекислого газа в почвенном воздухе. *Сб. науч. работ НИИ с.-х. Центрально-Черноземной полосы*. Воронеж, 1973. Т. 10. – С. 13-17.
20. Витер А.Ф., Турсов В.И., Докучаева В.В. Углекислота как элемент питания растений и ее регулирование различными обработками почв. Влияние технологического возделывания сельскохозяйственных культур на плодородие почв. Воронеж, 1985. С. 134-140.
21. Масютенко Н.П., Масютенко М. Потоки углекислого газа из чернозема типичного за вегетационный период. Потери углерода из органического вещества почвы в зависимости от антропогенных факторов и экспозиции склона. *Материалы международной научной конференции «Современное состояние черноземов»*. Ростов-на-Дону, 2013. С. 188-190.
22. Орлов Д.С. Свойства и функции гуминовых веществ. Гуминовые вещества в биосфере. Москва: Наука, 1993. 237 с.
23. Бахшиев Н.Г. Введение в молекулярную спектроскопию. Ленинград: ЛГУ, 1987. 216 с.
24. Cabaniss S.E., McVey I.F. Aqueous infrared carboxylate absorbances: aliphatic monocarboxylates. *Spectrochim Acta*. 1995. V. 51. P. 2385-2395.
25. Cabaniss S.E., Leenheer J.A., McVey I.F. Aqueous infrared carboxylate absorbances: aliphatic diacids. *Spectrochim Acta*. 1998. V. 54. P. 449-458.
26. Ингрем Д. Электронный парамагнитный резонанс в биологии. Москва: Мир, 1972. 295 с.
27. СВЧ-диэлектрометрия биотехнологических жидкостей / Т. А. Жилиякова, О. А. Горобченко, О. Т. Николов, Г. В. Голубничая. Киев: Проект "Наукова книга", 2015. 109 с.
28. Николов О.Т., Жилиякова Т.А. Измерение комплексной диэлектрической проницаемости жидких диэлектриков с большими потерями. *Журнал физической химии*. 1991. №5. Т. 65. С. 1417-1420.
29. Сябрук О.П., Чечуй О.Ф. Методи вимірювань інтенсивності емісії CO₂ у системі ґрунт-рослина / За ред. М. М. Мірошніченка. Харків: ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», 2016. 36 с.
30. Термометры метеорологические стеклянные. Технические условия: ГОСТ 112-78. [Действ. от 1981-01-01]. Москва: Стандартинформ, 2006. 15 с.
31. Якість ґрунту. Визначення сухої речовини та вологості за масою. Гравіметричний метод (ISO 11465:1993, IDT): ДСТУ ISO 11465-2001. [Чинний від 2003–01–01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2002. 10 с. (Національний стандарт України).
32. Макаров Б.Н. Упрощенный метод определения дыхания почвы. *Почвоведение*. 1957. № 9. С. 119-122.
33. Ларина Н.К., Касаточкин В.И. Спектральные методы исследования гуминовых веществ почв. Москва, 1966. 171 с.
34. Орлов Д.С. Спектрофотометрический анализ гумусовых веществ. *Почвоведение*. 1966. №11. С. 120-130.
35. Панкратова К.Г., Щелоков В.И., Сазонов Ю.Г. Использование диффузной отражательной ИК-спектроскопии для экспрессной оценки содержания гуминовых кислот в гуминовых препаратах. *Агрохимия*. 2005. №7. С. 77-86.
36. Ayton G.S., Noid W.G., Voth G.A. Multiscale modeling of biomolecular systems: in serial and in parallel. *Curr Opin Struct Biol*. 2007. V. 17. P.192–198.
37. Lehn J.M. Toward complex matter: Supramolecular chemistry and self-organization. *PNAS*, 2002. V. 99. P. 4763-4768.
38. Маршэлл Ё. Биофизическая химия. Москва: Мир, 1981. Т.1. 360 с.
39. Рубин А.Б. Биофизика. Москва: Книжный дом «Университет», 1999. Т. 1, 2. 488 с.
40. Либов В.С. Успехи и перспективы использования метода локального поля при изучении спектральных проявлений резонансных взаимодействий в конденсированной среде. *Журнал физической химии*. 1980. Вып 4, Т. 54. С. 817-828.
41. Pédrot M., Davranche M. Dynamic structure of humic substances: rare earth elements as a fingerprint. *J. Colloid Interface Sci*. 2010. V. 345. P. 206-221. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2010.01.069>.
42. Characterization of humic acids from a Brazilian Oxisol under different tillage systems by EPR, 13C NMR, FTIR and fluorescence spectroscopy./ P. Gonzalez, L. Martin-Neto, S. Saab, E. Novotny E. [et al.]. *Geoderma*. 2004. V. 118. P. 181-190. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00192-7](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00192-7).
43. Кудеярова А.Ю. Об информативности электронных спектров гумусовых веществ. *Почвоведение*. 2001. № 11. С. 1323-1331.
44. Кудеярова А.Ю. Приложение фундаментальных положений химии к пониманию механизмов образования и трансформации гумусовых веществ (обзор литературных и собственных экспериментальных данных). *Почвоведение*. 2007. № 9. С. 1048-1063.
45. Кудеярова А.Ю. Электронная спектроскопия как метод изучения влияния анионов, минеральных кислот и удобрений на структурные характеристики гумусовых кислот. *Агрохимия*. 2007. № 11. С. 71-84.
46. Piccolo A., Stevenson F.J. Infrared spectra of Cu²⁺, Pb²⁺ and Ca²⁺ complexes of soil humic substances. *Geoderma*. 1982. V. 27. P. 195-208.
47. Stevenson F.J., Gosh K.M. Infrared spectra of humic acid and related substances. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1971. V. 35. P. 471-483.
48. Альтшулер С.А., Козырев Б.М. Электронный парамагнитный резонанс соединений элементов промежуточных групп. Москва: Наука, 1972. 366 с.

49. Конформационные перестройки супраструктуры гуминовых кислот чернозема типичного в зависимости от способов обработки почвы / Е.В. Скрыльник, М.В. Шевченко, М.А. Попирный, О.Т. Николов. *Известия национальной академии наук Беларуси. Серия биологические науки*. 2018. №2, Т. 63.С. 209-221.
50. Кустов А.В. Термодинамика гидрофобных эффектов в бинарных и тройных системах, содержащих тетраалкиламмониевые ионы, аминокислоты и неэлектролиты: автореф. дис. доктора хим. наук: [спец.] 02.00.04. Иваново, 2012. 22 с.
51. Кутуля Л.А., Пивоваревич Л.П., Суров Ю.Н. Протоноакцепторная способность гетероароматических метилкетонів при образовании Н-комплексов с фенолом. *Реакц. способность орг. соединений*. 1973. Вып. 1, Т.10. С. 119-127.
52. Кутуля Л.А., Пивоваревич Л.П., Суров Ю.Н. Протоноакцепторная способность арилиденацетонів и их гетероциклических аналогов при образовании Н-связи. *Журнал орг. химии*. 1975. Вып. 10, Т 2. С. 2094-2099.
53. Emil S., Kinsinger C. Integration of omics sciences to advance biology and medicine. *Clin Proteomics*. 2014. № 11(1). 45 p.
54. Nebbioso A., Piccolo A. Basis of a humeomics science: chemical fractionation and molecular characterization of humic biosuprastructures. *Biomacromolecules*. 2011. V. 12. P. 1187-1199.
55. Наумовська О.І. Зміни показників фізико-хімічних та біологічних властивостей чорнозему типового правобережного Лісостепу в умовах застосування ґрунтозахисних технологій: автореф. дис. канд. с.-г. наук: [спец.] 06.01.03 «Агроґрунтознавство і агрофізика». Київ: НАА, 2003. 24 с.
56. Agren G.I., Hyvonen R., Nilsson T. 2007. Are Swedish forest soils sinks or sources for CO₂ - model analyses based on forest inventory data. *Biogeochemistry*. № 82. P. 217-227.
57. Raich J.W. Schlesinger W.N. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus*. 1992. V. 44B. P. 81-89.
58. Davidson E.A., Savage K., Verchot L.V. Minimizing artefacts and biases in chamber based measurements of soil respiration. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2002. №113. P. 21-37.
59. Трофименко П.І., Борисов Ф.І. Визначення маси вуглецю під час його виділення з ґрунту за допомогою газоаналізатора. *Вісник ЖНАЕУ*. Житомир, 2014. № 2. С. 345 – 349.
60. Спосіб визначення інтенсивності емісії газів з ґрунту (на прикладі CO₂). / П. І. Трофименко, О. П. Сябрук, Ф. І. Борисов [та ін.]. Харків: ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», 2019. 29 с.
61. Lifeng H., Li H., Zhang X. Using conservation tillage to reduce greenhouse gas emission in northern China. *Department of Agricultural Engineering. China Agricultural University*, 2008. P. 78-82.
62. Емцев В., Мишустин Е. Микробиология (6-е издание). Москва: Дрофа, 2006. С. 112-116.

UDC 631.421: 631.417.2: 631.433.5

The newest integrative methods of research of soil organic carbon stabilization at different tillage

M. A. Popirny¹, O. P. Siabruk^{1*}, R. V. Akimova¹, M. V. Shevchenko²

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

Kharkiv, Ukraine

²Kharkiv national agrarian university named after V. V. Dokuchaev,

Kharkiv, Ukraine

*E-mail: syabryk86@gmail.com

In agriculture, one of the technologies for the recovery of lost organic carbon is the minimum and no-till methods, which contribute to the increase of organic matter and the global stabilization of carbon dioxide. But the effectiveness of carbon sequestration in soil by such methods is limited by the fact that organic carbon is quickly released from the soil, which is returned to plowing. Therefore, this necessitates an urgent need to study the response processes of humus molecules, leading to the structuring of soil organic matter to manage carbon sequestration and integrative monitoring of CO₂ emissions. The purpose of the work was to identify and establish the processes of response of humic molecules as a complete supramolecular system by integrative spectroscopic approach that determine the stabilization of soil carbon and determine the dynamics of CO₂ emissions from the soil. The studies were aimed at detecting changes in the integral characteristics of the spectra in complex molecular spectroscopic analysis of all humic acid (HA) extract of chernozem typical and to determine the impact of different tillage methods on soil CO₂ emissions. Complex spectroscopic analysis was performed in the advanced laboratories of KNU named after V. N. Karazin and the Scientific and Technological Complex "Institute of Single Crystals". Instrumental control of the carbon dioxide release rate from the soil surface was performed using a portable gas analyzer testo 535. With using modern spectroscopic methods of unfractionated chernozem typical humic acid extracts, there were established processes of reorganization of humic superstructure, characterized by the restructuring of intermolecular forces, which causes a change in the reactivity and stability of HA. It is revealed that humic superstructure of arable chernozem typical is characterized by high molecular mobility, due to hydrophilic positive hydration and good solubility, high sorption and complexing properties, but with poor ability to attach, due to migratory "scattering", deep into the soil profile. It is proved that the largest total volumes of CO₂ emissions from typical chernozem are characterized by the technology of direct sowing (no - tillage), this is facilitated by better water regime and fuller mineralization of plant residues on the soil surface. During basic tillage by disking of 10-12 cm, the annual carbon losses are the lowest. In addition, systematic plowing over 6 years led to a decrease in the content of labile organic matter and fulvic acids. and a reduction in the potential for CO₂ production in the topsoil compared to surface tillage and direct sowing technology.

Keywords: organic carbon, tillage system, integrative methods, complex spectroscopic, humic acids, carbon dioxide

Citing: Popirny M., Siabruk O., Akimova R., Shevchenko M. 2020. The newest integrative methods of research of soil organic carbon stabilization at different tillage. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 90. Kharkiv: NSC ISSAR, P.13-28. (Ukr.). DOI: <https://doi.org/10.31073/acss90-02>.

УДК 631.551.321

Магнітометрія ґрунтів у діагностуванні деградаційних процесів**О.В. Круглов****Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»
Харків, Україна**

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 18.08.2020 Отримано після доопрацювання 12.09.2020 Затверджено до друку 15.09.2020 Доступно онлайн 05.11.2020	Деградація ґрунтів – основна проблема сучасності. Завдання аграрної науки – удосконалення методів її дослідження та моніторингу. Серед численного переліку таких методів, завдяки експресності та низькій вартості, виділяються магнітометричні. Мета роботи – показати їх інформативність у визначенні процесів, що є факторами деградації орних ґрунтів. Використовували методики відбирання проб ґрунту за ДСТУ 4287:2004 та визначення вмісту гумусу за ДСТУ 4289:2004. Для всіх зразків було визначено питому магнітну сприйнятливості (МС) ґрунту за допомогою капамістка KLY-2 за методикою Evans (2003). Дослідження проводили в агроландшафтах на території Харківської та Полтавської областей. Дослідженнями виявлено високу інформативність результатів визначення питомої магнітної сприйнятливості ґрунту у діагностуванні еродованості. Фізичною основою такого діагностування є тісний кореляційний зв'язок між магнітною сприйнятливостю та вмістом гумусу. Це дозволяє стверджувати про можливість заміщення визначення вмісту гумусу на визначення магнітної сприйнятливості (за винятком опорних розрізів, на основі яких проводиться інтерполяція та екстраполяція даних). Гідроморфні та галоморфні процеси також впливають на магнітну сприйнятливості ґрунту. У цьому випадку кореляційний зв'язок між нею та вмістом гумусу слабше з ростом неоднорідності проявів деградаційних процесів. Картограми магнітних характеристик дають змогу діагностувати такі прояви, навіть у випадках, коли це ніяк не виражено станом поверхні ґрунту. Сольові та гідроморфні процеси суттєво знижують МС як верхнього горизонту ґрунту, так і ґрунотвірної породи, причому найбільш суттєве зниження пов'язане з процесами оглеєння. Таким чином можна проводити диференціацію не тільки агротехнологічних груп ґрунтів а й ґрунотвірних порід.
Ключові слова: ґрунт; гумус; деградація; ерозія; магнітометрія; процес	

* E-mail: alex_kruglov@ukr.net

Форма цитування: Круглов О.В. Магнітометрія ґрунтів у діагностуванні деградаційних процесів. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 90. Харків: ННЦ "ІГ" ім. О.Н. Соколовського". 2020. С. 29-35. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss90-03>.

1. Стан проблеми

Основними факторами погіршення якості ґрунтового покриву, прямо не пов'язаними з діяльністю людини, вважаються ерозія та сольові й гідроморфні процеси. У запобіганні або корегуванні їх впливу велика роль належить своєчасній ідентифікації. Серед значного переліку методів для вирішення цього завдання – агрохімічних, агрофізичних, оптичних і фізичних, виділяють групу, традиційно використовувану у дослідженнях гірських та осадових порід – магнітометричні. Вони характеризуються як високою експресністю і дешевизною визначення, так і відсутністю фізичного чи хімічного впливу на зразок, тобто стан досліджуваного зразка максимально відповідає природному.

Методичною основою використання магнітометричних методів є стан найбільш магнітних сполук ґрунту – мінералів заліза. До цих сполук відносять гідроксиди (феригідрит, лепідокрокит) та оксиди (гематит, магнетит, маггеміт). Понад 90 % значень магнітних характеристик у сірих лісових ґрунтах та чорноземах забезпечується парою мангетит-маггеміт. Частка карбонатів заліза (сидерит) у загальному магнетизмі ґрунту дуже незначна [1].

Педогенні (утворені в результаті педогенезу) сполуки заліза є термодинамічно нестабільними, тобто, під дією зовнішніх факторів (тепло, волога, рН, мікробіологічні процеси) вони змінюють свою мінеральну форму. Вимірювальні засоби для досліджень магнітних властивостей ґрунтів характеризуються високою чутливістю, що дозволяє фіксувати ці зміни досить точно. Так, сумарна похибка у вимірюванні питомої магнітної сприйнятливості (МС) не перевищує 1,5 %. Перспективними є як повна заміна традиційних методів, так і використання магнітних характеристик для інтерполяції та екстраполяції даних з опорних розрізів [2].

Магнітні характеристики ґрунтів залежать від екологічних умов їх утворення. Інформативність педомагнітних даних виявилась придатною для прогнозування умов утворення ґрунтів. Так у роботі Long et al. [3] було показано відмінності у магнітних властивостях ґрунтів із різних природно-кліматичних зон. Особливості формування

педогенних оксидів, на думку авторів, можна описати співвідношенням педогенних мінералів гематит/гьотит. На прикладі ґрунтів Балканського півострова (Сербія) показано зв'язок між питомою магнітною сприйнятливістю ґрунту та річною сумою опадів ($R=0,81$) і середньорічною температурою ($R=0,58$) [4]. Схожі результати отримали іранські дослідники на ґрунтах північної частини країни: кореляція між МС ґрунту та сумою опадів $R=0,80$ [5]. Ще вищий ступінь зв'язку було показано для фералітних ґрунтів на території китайського острова Хайнань: $R=0,90$ [3]. Комплекс магнітних показників застосовували для ідентифікації ґрунтів мегакатени у Франції (Середземноморське узбережжя – підніжжя Альп), ускладненої впливом різних антропогенних чинників, пов'язаних із забрудненням і сільським господарством. Продемонстровано перевагу використання комплексу магнітних методів (МС, IRM, SIRM) перед застосуванням окремих магнітних та хімічних методів [6]. Мароканські дослідники запропонували ступінь деградації ґрунтового покриву визначати локалізацією та концентрацією оксидів заліза у ґрунтах **[Ошибка! Источник ссылки не найден.]**.

Застосування магнітних показників ґрунту для вирішення ерозієзнавчих завдань пов'язано з високим ступенем зв'язку між ними та ґрунтовими факторами, що застосовуються у моделях ерозії, на зразок фактора К у моделі RUSLE [8]. До його складу входять гранулометрія та уміст гумусу, які, як показано нижче, корелюють зі значеннями магнітних властивостей ґрунту. Взагалі, вважається, що методичною основою для застосування МС в ерозієзнавстві є її зв'язок зі стійкістю ґрунтових агрегатів [9], вмістом глинистої фракції [10] та вмістом органіки [11]. Подібні висновки зробили науковці бразильсько-іспанського колективу на ґрунтах південно-східної Бразилії [12]. Педомагнітна ситуація там ускладнена тим, що ґрунти розвиваються на корі вивітрювання базальтів, та, відповідно, можуть містити значну кількість теригенних мінералів заліза, прояви яких у просторі розміщені безсистемно. Аналізувались зв'язок між магнітними характеристиками ґрунтів та фактором К рівняння USLE, розрахованим за версією Денарді [13] та факторами K_i та K_r моделі WEPP, розрахованими за версією Фленагана та Лівінгстона [14]. Кореляція Пірсона для трьох показників дорівнювала відповідно 0,63, 0,74 та 0,56 ($p<0,05$). Ще вищий ступінь зв'язку було знайдено між значеннями фактора К, розрахованими на основі значень МС та фактично виміряними: $R^2=0,92$ [12]. У будь-якому випадку застосування передбачених значень К у вигляді картограм значно поліпшує результати математичного моделювання ерозійних процесів. Високий ступінь зв'язку між показником ерозійної небезпеки, умістом гумусу та питомою магнітною сприйнятливістю ($R^2=0,84$) ми показали на прикладі чорнозему опідзоленого на схилах у Харківській області [15].

Методи магнітометрії виявились придатними до застосування в цих дослідженнях. Вміст та мінеральна форма оксидів заліза є індикатором багатьох показників, пов'язаних з органічним вуглецем. Вони беруть участь, прямо чи опосередковано, в циклі окиснення-відновлення С, задіяні в транспортних процесах [16]. Чеські дослідники показали високий ступінь зв'язку між $C_{орг}$ та МС – зафіксовано $R^2=0,971$ [17]. Цими дослідженнями чорноземних ґрунтів південної Моравії показано ступінь кореляції між дітронітцитратним залізом та $C_{орг}$ $R=0,599$, а з амонієвооксалатним – $R=0,863$. Дослідження ґрунтів Мораво-Сілезького краю також показало високий ступінь зв'язку $C_{орг}$ та МС – $R=0,89$ [18].

Бразильські дослідники у ґрунтах сухих субтропіків виявили факт підвищеного ступеню кореляції між МС та умістом фізичної глини $R^2=0,83$, загальним умістом вуглецю $R^2=0,85$ та загальним умістом азоту $R^2=0,77$ [19]. Там же було виявлено тісний зв'язок вмісту оксидів заліза та вмісту глинистої фракції і адсорбованих сполук фосфору [20]. Застосування в польових умовах об'ємної МС дає важливий інструмент для розуміння просторових неоднорідностей ґрунтового континууму, особливо за ускладнених умов залягання ґрунотворних порід, безпосередньо на місці досліджень. На прикладі тропічних фералітних ґрунтів Колумбії показано зв'язок об'ємної МС з їх основними фізичними показниками: уміст піску $R=0,88$; уміст мулистої фракції $R=0,85$; щільність ґрунту $R=0,51$; теплопровідність $R=0,67$ [21]. Взагалі щільність будови ґрунту, за визначенням, оптимально повинна корелювати з відношенням $МС_{об'ємна}/МС_{питома}$, проте дуже часто спостерігається відсутність такого ефекту, спричинена особливостями окисно-відновного режиму за різних діапазонів ущільнення [22]. Саме зміни окисно-відновного режиму педогенезу обумовлюють особливості утворення, а, відтак, і інформативність педогенних магнетиків. Звичайно за превалювання відновного режиму утворюються менш магнітні гідроксиди заліза [1]. Раніше ми вже завважували про пониження значень МС чорнозему опідзоленого під дією надлишкового зволоження порівняно з автоморфними ґрунтами [23]. Це пониження характерне для всього ґрунтового профілю або ж для нижньої його частини (у випадку розвитку напівгідроморфних ґрунтів) [24].

Мета роботи – показати інформативність магнітометричних методів у визначенні процесів, що є факторами деградації орних ґрунтів.

2. Умови проведення досліджень

Ерозійну складову вивчали на прикладі агрогеофізичного стаціонару «Слобожанський» (Балаклійський район Харківської області). Ця територія характеризується значним вертикальним розчленуванням рельєфу та поширенням ерозійних процесів. На схилах розвинуті чорноземи звичайні та їх слабо змиті відміни. Вододільні ділянки зайнято чорноземами типовими. Проби ґрунту відбирали за системою трансект через кожні 30 м, крім обумовлених випадків (Рис. 1).

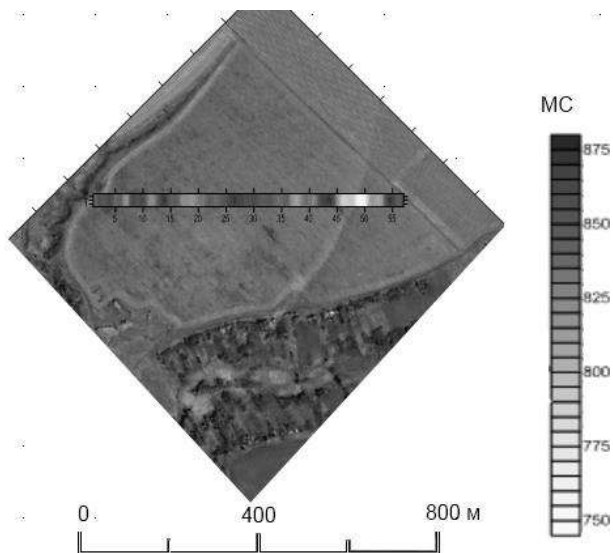


Рис. 1. Магнітна сприйнятливість (МС) ґрунтів на еродованих землях, $10^{-9} \text{ м}^3/\text{кг}$

Сукупну дію гідроморфних та галоморфних процесів досліджували в долині річки Сула (Лохвицький район Полтавської області). Кут нахилу території $0-1^\circ$. Ґрунти: чорноземи глибокі залишково-глибоко-солонцюваті; лучно-чорноземні глибоковилуговані (осолоділі); лучно-чорноземні глибоко-середньо- і сильносолонцюваті.

Методи дослідження. Використовували методики відбирання проб ґрунту за ДСТУ 4287:2004 та визначення вмісту гумусу за ДСТУ 4289:2004. Для визначення статистичних показників, користувались стандартним програмним продуктом Statistica®. Візуалізацію результатів дослідження було проведено в середовищі MapInfo та Surfer. Для всіх зразків було визначено питому МС за допомогою капамістка KLY-2 за методикою Evans [25].

3. Результати та їх обговорення

Зазвичай пониження значень МС відповідають еродованим ділянкам: нижня частина схилу та улоговини стоку (Рис. 1).

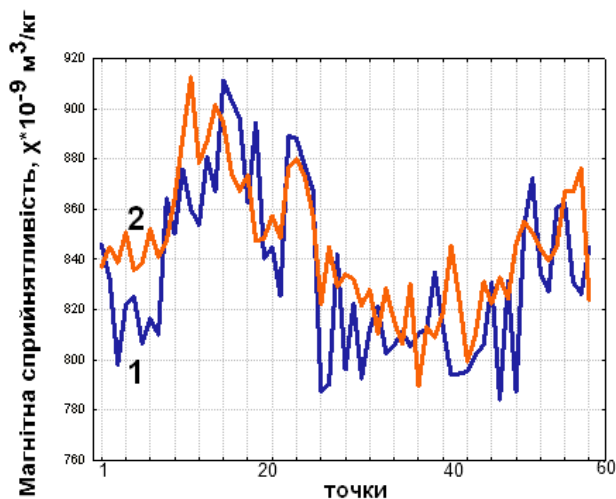


Рис. 2. Магнітна сприйнятливість ґрунту дослідної ділянки, визначена з річним інтервалом

Значення магнітної сприйнятливості доволі стабільно відображують еродовані ділянки (тт. 27-45 на рис. 2). Відбір проб на даному профілі проводили з інтервалом 1 рік – вибірки 1 та 2.

Як бачимо, графіки 1 та 2 подібні. Було визначено коефіцієнт кореляції Спірмена $\rho=0,69$ ($p<0,05$), тобто показано існування тісного зв'язку між двома вибірками. Варіативність двох вибірок також подібна – табл. 1.

Таблиця 1

Описова статистика вибірок МС ґрунтів агрогеофізичного стаціонару «Слобожанський»

№	n	Середнє арифметичне	Медіана	Мінімум	Максимум	Стандартне відхилення	Коефіцієнт варіації, %
		10 ⁻⁹ м ³ /кг					
1	61	834,60	830,80	784,20	911,20	33,20	4,00
2	61	845,19	844,80	789,70	912,50	26,04	3,10

Дані таблиці 1 свідчать що варіативність ознаки двох вибірок незначна. Середнє арифметичне в обох випадках дорівнює медіані. Значення мінімуму та максимуму (розмах вибірки) також аналогічні. Зважаючи на штучний характер вибірки (обумовлений межами одного поля сівозміни) характер розподілу не досліджували.

Падіння значень МС ґрунту на еродованих ділянках ми пов'язуємо зі зменшенням умісту гумусу. Паралельно доведено високий ступінь зв'язку з ерозійними характеристиками території [25]. Це відповідає нинішнім уявленням про природу педогенного магнетизму [1]. Так, свого часу ми показали зв'язок між МС різних шарів орних ґрунтів (0-10, 10-30 та 30-40 см) та умістом гумусу в цих шарах на прикладі еродованої ділянки чорнозему опідзоленого (Табл. 2).

Таблиця 2

Показники кореляції досліджуваних характеристик. Рангова кореляція Спірмена ($p<0,050$) [2]

Показник	Коефіцієнт кореляції		
	Вміст гумусу, 0-10 см	Вміст гумусу, 10-30 см	Вміст гумусу, 30-40 см
Вміст гумусу, 0-10 см	-	0,8884	0,7704
Вміст гумусу, 10-30 см	0,8884	-	0,9048
Вміст гумусу, 30-40 см	0,7704	0,9048	-
МС, 0-10 см	0,6973	0,7283	0,7572
МС, 10-30 см	0,7174	0,7474	0,7667
МС, 30-40 см	0,6405	0,7620	0,8944

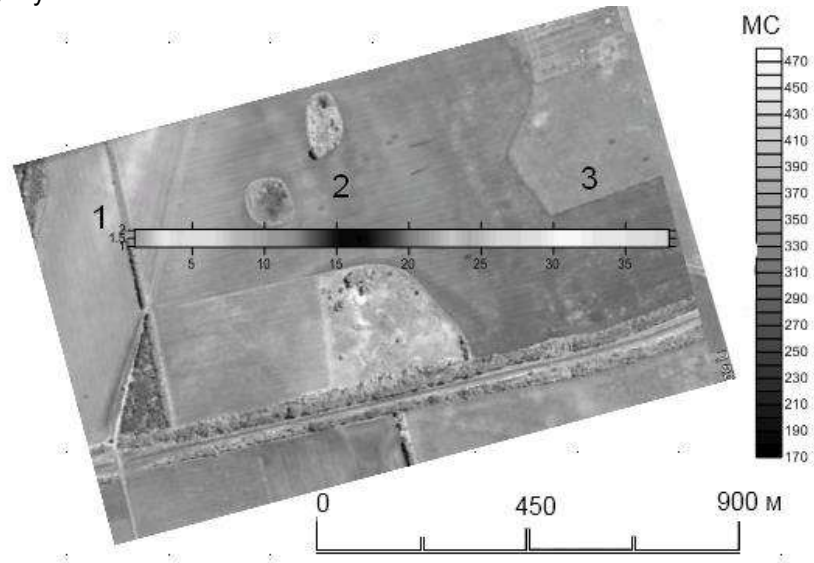
Як свідчать дані таблиці 2, уміст гумусу має тісний зв'язок з МС ґрунту, причому ступінь зв'язку практично однаковий для всіх досліджуваних шарів. Найбільш стабільним є зв'язок у підорному (30-40 см) шарі.

Зниження умісту гумусу в орному шарі, притаманне еродованим ґрунтам, може бути з високим ступенем достовірності виявлене дослідженням МС ґрунту. Ця залежність спостерігається для всього орного та підорного шарів та є стабільною в часі.

МС ґрунту успішно використовується як індикатор еродованості для ґрунтів різного походження [7, 13, 18, 19], крім ґрунтів, розвинутих на магнітних корах вивітрювання [12, 26]. Однак з ускладненням ландшафтних умов та появою сильно змитих відмін ґрунтів можливе зниження рівня зв'язку у парі МС-уміст гумусу [2].

Більш складними є інтерпретації досліджень магнітних характеристик ґрунтів у випадках сукупної дії кількох факторів деградації ґрунту, наприклад, сукупної дії гідроморфних та галоморфних процесів. Для виключення впливу прискореної ерозії ми вибрали дослідну ділянку, розташовану в долині річки Сула (Лохвицький район Полтавської області). Кут нахилу території 0-1°. Тут розвинуті, згідно з картограмою ґрунтів, чорноземи глибокі залишково глибокосолонцюваті (1), лучно-чорноземні глибоковилуговані (осолоділі) ґрунти западин (2) та лучно-чорноземні глибоко-середньо- і

сильносолонцюваті ґрунти (3). На рисунку 3 показано результат визначення МС верхнього (0-20 см) шару ґрунту.



Умовні позначення: 1 – чорноземи глибокі залишково глибоко-солонцюваті; 2 – лучно-чорноземні глибоковилуговані (осолоділі) ґрунти западин; 3 – лучно-чорноземні глибоко-середньо- і сильносолонцюваті ґрунти; 5...35 – точки відбирання проб ґрунту

Рис. 3. Магнітна сприйнятливість ґрунтів на ділянці з гідроморфними процесами

Як показано на рисунку 3, МС чорноземних глибоко вилугованих (осолоділих) ґрунтів западин значно нижча (понад 60 %) ніж фонових чорноземів глибоких залишково-глибоко-солонцюватих. Ці западини практично не виражені в мікрорельєфі та не впливають на стан поверхні ґрунту. Ознаки оглеєння спостерігаються з глибини 55 см. Висновок про понижену родючість ґрунтів у певній частині профілю (т.т. 12-18) зроблено на основі огляду стану рослин ярового ячменю.

Відрізняються ґрунти також і за вертикальним розподілом МС у профілях. Результати обстеження показано на рисунку 4.

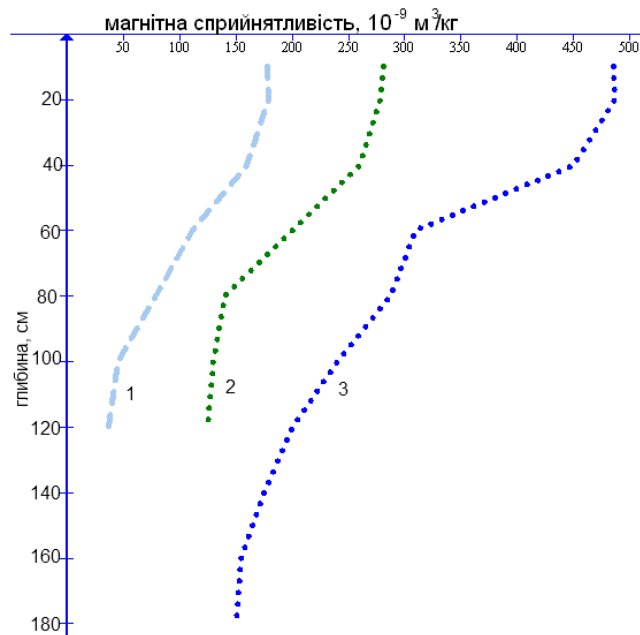


Рис.4. Профільний розподіл магнітної сприйнятливості досліджуваних ґрунтів:

1 - лучно-чорноземні глибоковилуговані (осолоділі) ґрунти западин; 2 - лучно-чорноземні глибоко-середньо- і сильносолонцюваті ґрунти; 3 - чорноземи глибокі залишково глибокосолонцюваті.

Як показано на рисунку 4, чорноземи глибокі залишково глибокосолонцюваті мають на всіх глибинах найвищі значення МС, у 1,5-2,0 рази більші порівняно з іншими

досліджуваними ґрунтами. Так само і МС ґрунтотвірної породи: у лучно-чорноземних глибоковилугуваних (осолоділих) ґрунтах западин вона найнижча та у понад 3,5 рази нижча за ґрунти без ознак гідроморфності. Подібні результати є характерними для ґрунтів акумулятивного типу, що широко проілюстровано у роботі Jordanova [1]. Однак існує думка про недостатність використання у подібних випадках лише одного показника – питомої МС. Існує необхідність доповнення досліджень іншими магнітними характеристиками [6].

Також слід зазначити про зниження коефіцієнтів кореляції між умістом S_{org} та МС ґрунту у випадку, коли галоморфні та гігроморфні процеси проявлені у різному ступені на території досліджень (або ж лише на частині території). Такі випадки на локальному територіальному рівні вимагають диференціації систем обробітку ґрунту та удобрення [24].

4. Висновки

Результати застосування магнітометричних методів досліджень є достатньо інформативними у визначенні деградаційних процесів у ґрунтах. МС ґрунту тісно корелює з умістом у ньому гумусу, зниження її значень пов'язане з ростом еродованості земель.

Сольові та гігроморфні процеси суттєво знижують МС як верхнього горизонту ґрунтів, так і ґрунтотвірної породи, причому найбільш суттєве зниження пов'язане з процесами оглеєння. Таким чином, параметри МС можна застосовувати для ідентифікації агротехнологічних груп ґрунтів і для діагностики ґрунтотвірних порід.

Список використаних джерел

1. Jordanova N. Soil magnetism. Academic press 2016. 466 p.
2. Kruglov O., Menshov O. To the soil magnetic susceptibility application in modern soil science. 16th EAGE International Conf. on Geoinformatics-Theoretical and Applied Aspects. (13 -14 May. 2017). Kyiv. 2017.
3. Long X., Ji J., Balsam W. Rainfall-dependent transformations of iron oxides in a tropical saprolite transect of Hainan Island, South China: spectral and magnetic measurements. *J. Geophys. Res.* 2011. Vol.116, Issue F3. DOI: <https://doi.org/10.1029/2010JF001712>.
4. Quantitative relationships between climate and magnetic susceptibility of soils on the Bačka Loess Plateau (Vojvodina, Serbia) / M.G. Radaković, M.B. Gavrilov, U. Hambach [et al.] *Quaternary International*. 2019. № 502. P. 85-94. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2018.04.040>.
5. Development and magnetic properties of loess-derived forest soils along a precipitation gradient in northern Iran / M. Pourmasoumi, F. Khormali, S. Ayoubi [et al.]. *Journal of Mountain Science*. 2019 № 16. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11629-018-5288-4>.
6. Lecoanet H., Ler'v'equ' F., Ambrosi J.P. Combination of magnetic parameters: an efficient way to discriminate soil-contamination sources (south France). *Environmental Pollution*. 2003. № 122. P. 229–234.
7. Using magnetic susceptibility to assess soil degradation in the Eastern Rif, Morocco / A. Sadiki, A. Faleh, A. Navas, S. Bouhlassa. *Earth Surf. Process. Landforms*. 2009. № 34, P. 2057–2069.
8. Gyrka-Kostrubiec B., Teisseyre-Jeleńska M., Dytł'ow S.K. Magnetic properties as indicators of Chernozem soil development. *Catena*. 2016. №138. P. 91–102. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.11.014>.
9. Water stability of aggregates in subtropical and tropical soils (Georgia and China) and its relationships with the mineralogy and chemical properties / T. Alekseeva, Z. Sokolowska, M. Hajnos [et al.]. *Eurasian soils Sci.* 2009. №42. P. 415-425. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229309040085>.
10. Suscetibilidade magnetica do solo e estimaro da capacidade de suporte a aplicacao de vinhaia / Peluco R.G., Marques Junior J., Siqueira D.S., [et al.]. *Pesq Agropec Bras.* 2013. №48. P.661–672. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000600012>.
11. A 42-yr soil erosion record inferred from mineral magnetism of reservoir sediments in a small carbonate-rock catchment, Guizhou Plateau, southwest China / H. Wang, Y. Huo, L. Zeng [et al.]. *J Paleolimnol.* 2008. №40. P.897–921. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10933-008-9206-6>.
12. Barbosa R.S., Marques J.J., Barron V. Prediction and mapping of erodibility factors (USLE and WEPP) by magnetic susceptibility in basalt-derived soils in northeastern Sao Paulo state, Brazil. *Environmental Earth Sciences*. 2019. 78:12. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-018-8015-0>.
13. Denardin J.E. Erodibilidade di solo estimado por meio parametros fisicos qumisos. Thesis. Escola Superior de Agricultura Luis de Quieros. Universidade de Sao Paulo. 1990. 114 p.
14. Flanagan D.C., Livingston S.J. Water erosion prediction project: WEPP user summary. National Soil Research Laboratory & USDA, Washington, D.C. West Lafayette. 1995. 141 p.
15. Magnetic methods in tracing soil erosion, Kharkiv Region, Ukraine / O. Menshov, O. Kruglov, S. Vyzhva [et al.]. *Stud. Geophys. Geod.* 2018. №62(4). P. 681-696. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11200-018-0803-1>.
16. Cornell R., Schwertmann U. The Iron Oxides. Structure, Properties, Reactions, Occurrence and Uses. New York: Weinheim, 2003. 573 p.
17. Using magnetic susceptibility mapping for assessing soil degradation due to water erosion / O. Jakš'ik, R. Kodeš'ová, A. Kapička [et al.]. *Soil & Water Res.* 2016. №11. P. 105–113. DOI: <https://doi.org/10.17221/233/2015-SWR>.
18. Magnetism of soils applied for estimation of erosion at an agricultural land / A. Kapička, S. Dlouha, H. Grison [et al.]. *Geophysical Research Abstracts* Vol. 15, EGU2013-4774, 2013 EGU General Assembly.

19. Prediction and Mapping of Soil Attributes using Diffuse Reflectance Spectroscopy and Magnetic Susceptibility / A.S.R. Souza Bahia, J.M. Junior, N.L.S. Junior [et al.]. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2017. №81. P. 1450–1462. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2017.06.0206>.
20. Mapping of clay, iron oxide and adsorbed phosphate in Oxisols using diffuse reflectance spectroscopy / Camargo L.A., Júnior J.M., Barrón V. [et al.]. *Geoderma*. 2015. №251–252. P.124–132. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.03.027>
21. Relationship between physical properties and the magnetic susceptibility in two soils of Valle del Cauca / C.A. Jimenez, J.J. Benavides, D.I. Ospina-Salazar [et al.]. *Rev. Cienc. Agr.* 2017. Vol. 34(2). P. 33-45. ISSN 0120-0135. DOI: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.173402.70>.
22. Magnetic susceptibility of the arable layer of soil with organic farming and mineral fertilization / Z. Sokolowska, M. Hajnos, A. Alekseev, T. Alekseeva. *Acta Agroph.* 2000. Vol. 38. P. 175–183.
23. Soil mapping with magnetic methods at the agriculture land of Pechenigy, Ukraine / O. Menshov, O. Kruglov, Yu. Zalavskiy, A. Sukhorada. "New Trends on Paleo, Rock and Environmental Magnetism, 16th castle meeting": abs.conf. (16 June 2018, Chęciny, Poland). Warsaw, 2018. Vol. 423 (C-112). P. 97-98. DOI: http://dx.doi.org/10.25171/InstGeoph_PAS_Publs-2018-050.
24. Magnetic susceptibility in the prediction of soil attributes in two sugarcane harvesting management systems / R.G. Peluco, J.M. Junior, D.S. Siqueira [et al.]. *Engenharia Agrícola*. 2013. V. 33(6). P. 1134-1143. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162013000600006>.
25. Evans M., Heller F. *Environmental magnetism: principles and applications of enviromagnetics*. Academic press, 2003. 86 p.
26. Suhorada A.V., Kruglov O.V. Classification of soils by their magnetic properties. 18th International Conference Geoinformatics - Theoretical and Applied Aspects, (13-16 May 2019). Kyiv. 2019. P. 1-5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201902062>

UDC 631.551.321

Soil magnetometry in the diagnosis of degradation processes

O.V. Kruglov

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

Soil degradation is the main challenge of our time. The task of agricultural science is to improve the methods of its research and monitoring. Magnetometric methods are notable among the numerous list of such methods due to the expressiveness and low cost. The purpose of the work is to show their informativeness in determining the processes that are factors in the degradation of arable soils. Methods of soil sampling according to DSTU 4287: 2004 and determination of humus content according to DSTU 4289: 2004 were used. For all samples, the specific MS was determined using a kapabridge KLY-2 according to the method of Evans (2003). The research was conducted in agricultural landscapes in Kharkiv and Poltava regions. Studies established a highly informative results of determining the specific magnetic susceptibility of the soil when diagnosing erosion. The physical basis of such a diagnosis is the close correlation between magnetic susceptibility and humus content. This suggests the possibility of substituting the determination of the humus content for the determination of magnetic susceptibility (except for reference sections, on the basis of which the interpolation and extrapolation of data). Hydromorphic and halomorphic processes also negatively affect the value of magnetic susceptibility. In this case, the correlation between it and the humus content is weak with the increase in the heterogeneity of the manifestations of degradation processes. Maps of magnetic characteristics make it possible to diagnose such manifestations, even in cases where it is not expressed in any way by the condition of the soil surface. Salt and hygromorphic processes significantly reduce the MS of both the upper soil horizon and soil-forming rocks, and the most significant reduction is associated with gleying processes. Thus it is possible to differentiate not only agro-technological groups of soils but also soil-forming rocks.

Keywords: degradation; erosion; humus; magnetometry; process; soil.

Citing: Kruglov O. 2020. Soil magnetometry in the diagnosis of degradation processes. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 90. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 29-35. (Ukr.). DOI: <https://doi.org/10.31073/acss90-03>.

UDC 631.4: 551.4: 004.942

Effect of DEM sources on quality indicators of predictive maps of soil cover

V. R. Cherlinka^{1*}, Y. M. Dmytruk¹, Y. H. Bodyan²

¹Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Chernivtsi, Ukraine

²Chernivtsi branch of the State Institution "Soils Protection Institute of Ukraine", Chernivtsi, Ukraine

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Received 01.07.2020 Received in revised form 08.08.2020 Accepted 15.09.2020 Available online 05.11.2020 Keywords: cartogram of agro-production soil groups; DEM; digital elevation model; modelling; morphometric parameters; predicative algorithms; soil map.	The aim of the study was to identify the impact of digital elevation models of different origins on the qualitative characteristics of forecast maps of soil cover or cartograms of agro-production soil groups using predictive modeling technologies. The current situation with large-scale soil cartographic data in Ukraine is analyzed and it is shown that the fastest and most cost-effective way to fill gaps in creating a continuous cartographic coverage for unexplored areas, which make up 33% of Ukraine, is mathematical simulation. The latter is based on morphometric analysis of digital elevation models, which distinguishes a number of predictors, which are further analyzed for links with existing cartographic soil materials by creating a mathematical predictive model using landscape reference points and associated soil type. The identified difference in the quality of predictive materials using the Cohen's kappa coefficient allows us to recommend individual sources of DEM as a basis for such tasks. A demonstration of a closed production cycle of creating predicative soil cartographic materials based on free software (GRASS and Quantum geographic information systems, language and environment for statistical computing and graphics R and shareware - Easy Trace vectorizer) was conducted.
*Corresponding author: v.cherlinka@chnu.edu.ua	

Citing: Cherlinka V.R., Dmytruk Y.M., Bodyan Y.H. 2020. Effect of DEM sources on quality indicators of predictive maps of soil cover. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 90. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 36-46. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss90-04>.

1. Introduction

The complexity of the political and economic situation of the last 30 years in Ukraine and its current forecast lead to the conclusion that the current situation with large-scale soil cartographic materials should not be expected to improve. The existing problems of map relevance, quality and coverage [1-5] require the latest approaches to solve them. Filling unexplored areas with model data is a method widely used in the modern world. The number of studies on modeling the spatial distribution of soils is now growing rapidly [6-15]. The arsenal of mathematical methods used in this case is extremely wide: from multifactor regression analysis and neural networks to various classification trees [16]. The application of such methods is based on the use of reference points of landscapes and finding the dependence of soil units associated with them [17]. The main source of initial parameters is the digital elevation model (DEM), the analysis of which allows to identify a number of geomorphological and related indicators. Since soils data are a categorical type of data, and the indicators obtained from the DEM are numerical, only the use of modern mathematical methods allows to establish relationships between these parameters and build on this basis a model of soil cover [12, 18-22].

The general modeling procedure includes three main points: the analysis of the DEM (1), the construction of a training dataset for machine learning (2) and the actual modeling (3). This approach with minor variations is used by almost all researchers. Depending on the goal, the spatial coverage of the models can be local [23], national [24] or global [25, 26].

Because these models use DEM as the main source of input data, their availability and quality characteristics, which are significant for soil modeling, are important. A great role is played by such a parameter as spatial resolution. Its influence on the results of various modeling is widely discussed in the literature. Resolution affects, for example, the quality of modeling of landslide processes [27], morphometric and hydrological parameters [28], the quality of predictive simulation of soil cover [29].

The main sources of DEM now are the following [16]: topographic or kinematic GPS surveying, analog and digital photogrammetric approaches, radar technologies (SRTM, Aster GDEM and others), laser scanning of LiDAR and digitization of contours topographic map. From the point of view of accessibility in the realities of Ukraine, the most suitable still remain global DEMs based on radar technologies, digitization of contours topographic maps, and, more recently, digital photogrammetry according to UAV survey data.

In this paper, we will focus on the least expensive ways to obtain DEMs, which are suitable for obtaining data for altitude of topographic surface both nationally (global DEMs) and local coverage (global DEMs + digitization of topographic maps).

Global DEMs are freely available on the Internet and have different spatial resolutions, which allows you to select sources according to requirements. However, not every global DEM is suitable for large-scale predictive soil modeling: for example, GMTED2010 (Global Multi-resolution Terrain Elevation Data) [30] with some resolution levels (30-arc-second (1 kilometer), 15-arc-second (450 meters) and 7.5-arc-second (225 meters)) does not meet the needs of spatial resolution.

From this point of view, the new release of ASTER GDEM (Advanced Satellite Thermal Emission and Reflection Radiometer) global digital terrain model version 3 (GDEM 003 or ASTGTM V003) of the Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan (METI) and of the US National Aeronautics and Space Administration (NASA) with a resolution of 1 arc-second (~30 m) seems to be one of the preferred options for use as a source of DEM [31].

SRTM (Shuttle radar topographic mission) SRTMGL1v003 data from the NASA and the US National Geospatial Intelligence Agency (NGA) have a similar to previous Aster GDEM resolution suitable for large-scale modeling [32].

Noteworthy is the global digital surface model with a resolution of 30 meters ALOS World 3D version 3.1 (AW3D30), distributed by the Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) [33]. Although it is declared a digital model of the surface, not a relief, its global coverage encourages verification as a source for soil modeling. Unfortunately, the digital surface model EU-DEM v1.1 with a resolution of 25 meters, which is freely available for the EU countries, does not extend to the territory of Ukraine [34]. It is a hybrid product based on SRTM and ASTER GDEM data combined by the weighted average method. Therefore, the assessment of its suitability for modeling the soil cover within Ukraine can be performed using the method of analogies.

The analysis shows [35] that now there are no available sources of complete geospatial data of domestic origin in Ukraine, even within the framework of the implemented pilot project of the prototype of the National Geospatial Data Infrastructure (NGDI). Moreover, the process of building the NGDI has virtually come to a halt, and crucial issues related to legislative, institutional and financial support have not been resolved. As a result, the current state of creation of geoinformation resources and provision of geoinformation services is characterized by systemic problems [36] and unpredictable vector of development. Accordingly, obtaining low-cost high-precision DEM of local scale in the absence of state support is possible only with the digitization of large-scale topographic maps, with the described reservations at [37].

The situation is similar with soil maps: the only way to obtain them in digital form - self-scanning (in the presence of the original source), digitization and attribution. This realizes the possibility of constructing a training dataset in the above-mentioned three-stage modeling procedure.

There are two clear distinctions to the construction of a set of training data [7, 9, 10]: data of soil pits in the field survey and a sample of clearly defined contours of soil map landfills. The first approach has good prospects, but requires a large database on verified soil profiles throughout the country, work on which is intensive [38, 39, 40]. Therefore, for the local scale, we use a different approach, as more relevant in the near future and easier to implement in the current modeling environment.

Hence, the task of this study was to cover the options of predictive modeling when using as input data available maps of soils and sources of DEM and characterization of their qualitative parameters, which give the analysis to choose the best of them as a result of modeling. Accordingly, the aim of our work was to study the influence of variants of DEM sources on the qualitative characteristics of predictive soil maps. Large-scale soil and topographic maps (M 1:10000), freely available global elevation/surface models ASTGTM V003 (hereinafter ASTER), SRTMGL1v003 (hereinafter SRTM), AW3D30 (hereinafter ALOS) and free software were used for this purpose (GRASS [41] and Quantum GIS [42], the Easy Trace vectorizer [43] and R - a language and environment for statistical computing [44]).

2. Materials and methods

In accordance with the set goal, we identified a range of tasks that needed to be solved: 1) digitization and attribution of cartographic materials; 2) construction of a series of reference DEMs based on digitized topographic maps with a spatial resolution of 5, 15 and 25 m; 3) downloading and redesign data to the coordinate system of the project (Pulkovo 1942/CS63 zone X2, code epsg 7826) a global digital models Aster, Srtm and Alos; 4) analysis of digital

elevation/terrain models and excretion from them in GIS GRASS of a set of maps of morphometric and other derived characteristics; 5) creation of training dataset for machine learning; 6) modeling of soil cover in R-statistics using the predictive algorithm Random Forest [45, 46, 47]; 7) analysis of the obtained results and conclusions about the optimal source DEM for predictive modeling.

A fragment of the territory of Ukraine (Fig. 1a) within the Chernivtsi region (Fig. 1b), dated to the Prut-Dniester interfluvium (Northern Bukovyna) with contrasting geomorphological conditions and administratively belonging to the Kitsman district (Fig. 1c), was chosen as an object. We mention, that he has been involved in some previous studies [48]. This fragment has different administrative subordination and differences in the economic use of individual parts, and when choosing him, typical problems were solved [35, 37, 48, 49]. The Pulkovo 1942/CS63 zone X2 coordinate system was adopted as the base, in which scanned sheets of topographic maps M 1:10000 (M-35-124-Vg- {1,2,3,4}, M-35-124- Vb -3 and M-35-124-Vv-2) are contained (Fig. 1d). Free software tools were used for data processing: georectification of cartographic data - GIS Quantum and digitization - Easy Trace.

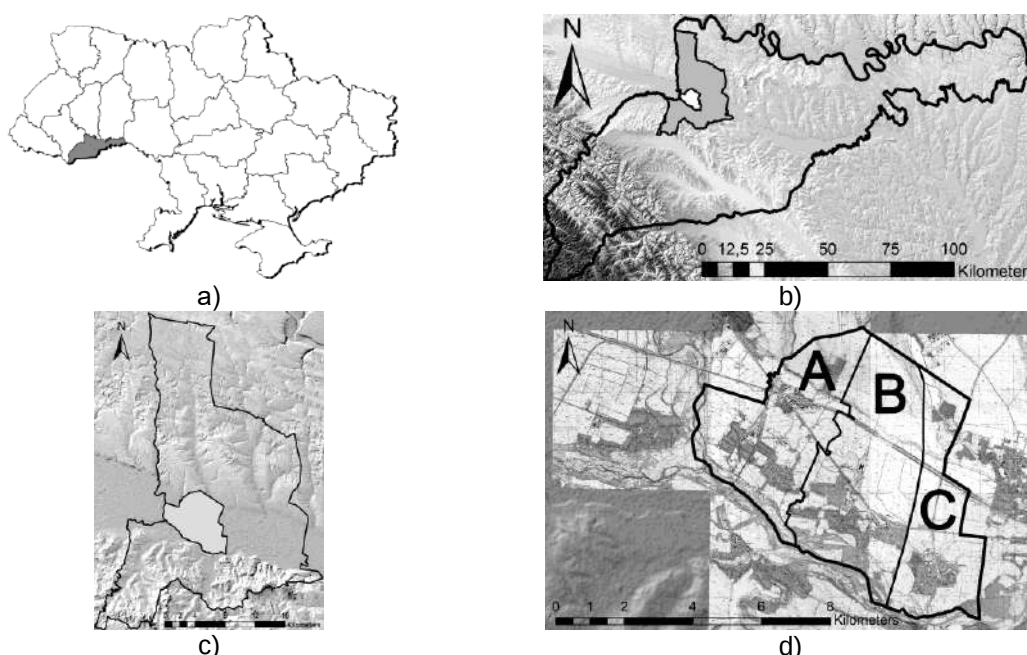


Fig. 1. Geographical location of the study region within Ukraine (a), of Chernivtsi region (b), Kitsman district (c) and test site scheme (d) *for the background used SRTM data

Topographic maps were georectified using the created vector mathematical basis and using 40-45 pinpoints per sheet, and the corresponding contours were digitized and attributed (Fig. 2a).

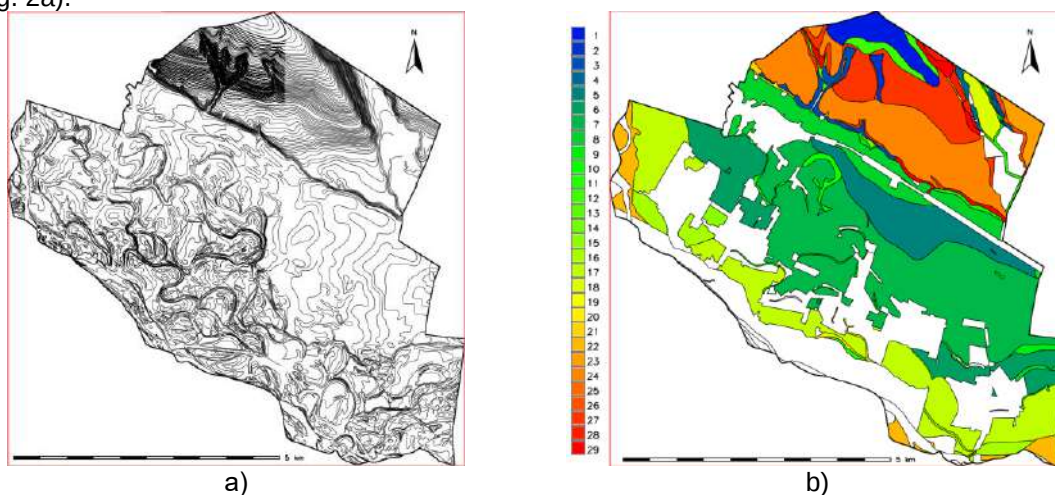


Fig. 2. Digitized contours (a) and boundaries of the soil units (b)

Georectification of soil maps was carried out to the characteristic points of the area and administrative boundaries of the currently existing village councils: Nepolokivtsi (village Nepolokivtsi) - "A", Beregomet (villages Beregomet and Revakivtsi) - "B", and Dubivtsy (village Dubivtsi) - "C" of Kitsman district of Chernivtsi region. Soil materials were based on a series of legacy soil maps of the collective farm "Soviet Ukraine" (survey of 1957 and correction of 1974). After generalization of the nomenclature list of soils and coordination of their contours, preliminary data on the percentage of soil coverage by soil surveys were obtained: from 4424.32 ha of total area for 24.86%, data are completely absent (Fig. 2b, Table 1).

Table 1
List of soil types of the study area

Id soil	Code of soil	Type of soil (transliteration from Ukrainian)
0	No data	The survey not conducted
1	1 l	Temno-siri lisovi
2	10 l	Chornozemy opidzoleni serednozmyti z pliamamy 30-50% sylnozmytykh
3	11 l	Chornozemy opidzoleni sylnozmyti
4	12 ad	Chornozemno-luchni mocharysti
5	13 a	Luchni hlyboki vyluhovani
6	14 a	Luchni pyluvato-serednosuhlynkovi
7	15 a	Luchni pyluvato-vazhkosuhlynkovi
8	16 a	Luchni hleiовi
9	17 a	Luchno-bolotni osusheni
10	18 a	Bolotni pyluvato-vazhkosuhlynkovi na davnomu aliuviiu
11	19 al	Bolotni pyluvato-vazhkosuhlynkovi na suchasnomu aliuviiu
12	2 l	Temno-siri lisovi slabozmyti
13	20 d	Bolotni pyluvato-vazhkosuhlynkovi na suchasnomu deliuviiu
14	21 d	Bolotni mocharysti
15	22 a	Dernovi hlyboki karbonatni
16	23 al	Dernovi karbonatni supishchani
17	24 al	Dernovi karbonatni pishchano-lehkosuhlynkovi
18	25 al	Dernovi karbonatni hleiовi namyti
19	26 l	Slabozadernovani skhyly yariv ta krutykh ustupiv pyluvato-vazhkosuhlynkovi na lesopodibnykh suhlynkakh
20	27 a	Slabozadernovani skhyly yariv ta krutykh ustupiv pyluvato-vazhkosuhlynkovi na davnomu aliuviiu
21	28 l	Vykhody porid
22	29 al km	Ruslovi vidklady
23	3 l	Chornozemy opidzoleni pyluvato-lehkosuhlynkovi
24	4 l	Chornozemy opidzoleni pyluvato-serednosuhlynkovi
25	5 dl	Chornozemy opidzoleni hleiuvati namyti
26	6 l	Chornozemy opidzoleni slabozmyti pyluvato-lehkosuhlynkovi
27	7 l	Chornozemy opidzoleni slabozmyti pyluvato-serednosuhlynkovi
28	8 l	Chornozemy opidzoleni slabozmyti z pliamamy 10-30% serednozmytykh
29	9 l	Chornozemy opidzoleni serednozmyti

3. Results

For the spatial resolution of a series of reference DEMs based on digitized topographic maps, the following values were selected: 5, 15 and 25 m (Fig. 3a, b, c). DEM generation was performed in GRASS GIS using a thin plate spline interpolation with regularization and covariables in the module v.surf.tps [50, 51].

The downloaded global elevation models Aster, Srtm [52] and Alos [53] have the identical 1-arc-second resolution (~30 meters), but for the latitude and longitude of the study area when reprojection in coordinate system Pulkovo 1942/CS63 zone X2, horizontal resolution of data pixel is ~20.9 m and the vertical is ~30.6 m. Because the rectangular data pixel is difficult to use for modeling, the data of global elevation models were resampled in Quantum GIS to 25x25 m spatial resolution. The remote sensing data mentioned above usually have a high noise level. This does not allow them to be used for analysis without pre-treatment [54].

Therefore, we used the r.denoise tool implemented in GRASS GIS using the algorithm [55], which allowed to eliminate random noises, maintaining clear terrain and smoothing the original data with minimal changes (Fig. 4).

The prepared series of DEMs was used to obtain maps of morphometric characteristics of the terrain, which served as predictors in the modeling, in particular the slope and aspect, surface curvature (longitudinal and maximum), solar radiation, landforms. Additional maps of hydrological indicators were also generated: topographic wetness index, accumulation, direction and length of water flows and distance to them.

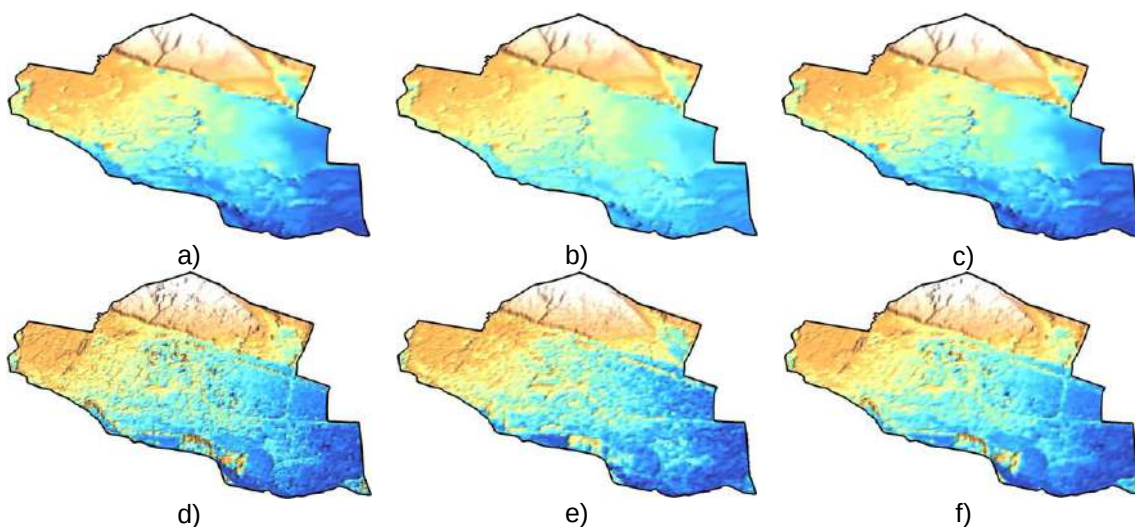


Fig. 3. 3D visualization of the generated DEMs (a - 5 m, b - 15 m and c - 25 m) and obtained on the basis of remote sensing data (d - Aster, e - Srtm, f - Alos) *view point from the south, camera height 3000 m, vertical scale 1:5

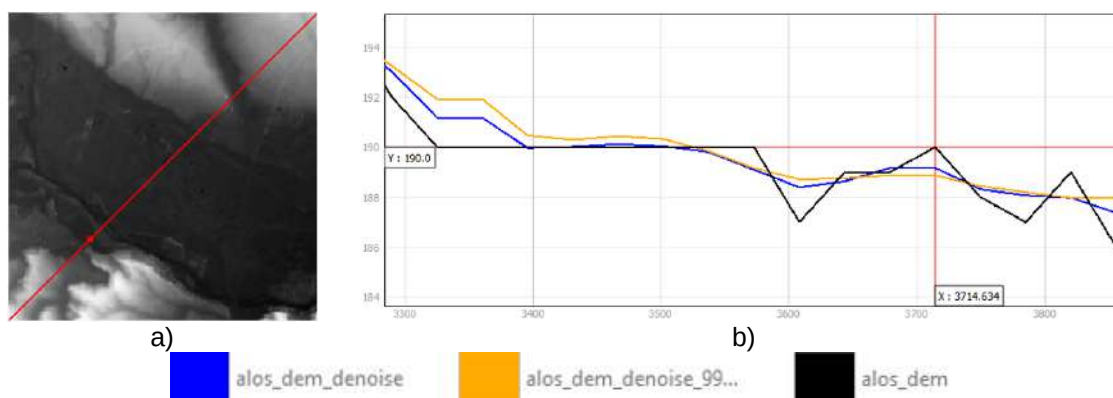


Fig. 4. Transect of research area based on Alos data (a) and the difference between the original (black) and two variants (b) of denoised data (blue and yellow)

For simulations of soil maps, we used the language and environment for statistical computing R-statistic [44], in particular the script, which included a number of adaptations to solve problems and implemented the predictive algorithm Random Forests [45-47]. Its latest implementation in the ranger package is very fast and can be used on large datasets [56].

The evaluation of the quality of the obtained models was performed on the basis of the index (quality functional) of Kappa Cohen [12, 21, 57-60]. In addition to the accuracy of the model solution, this indicator also takes into account the probability of accuracy, which could be obtained by chance. In general, the kappa shows the degree of correspondence between the original and simulated data.

As mentioned above, there are almost no materials available at the state level for soil modeling within Ukraine. Announced as a map of soils on the Public cadastral map [61] and cartograms of agricultural groups of soils on the site of the Regulatory Monetary Assessment [62] data are not available for download. In the first case, it is not really a map of soils, but a cartogram of agricultural groups of soils, and is presented in a scale of 1:200000, which allows it to be used purely for informational purposes. Given the whole set of problems that accompany these data [4, 35, 63], in practice to obtain reliable results should use self-scanned and digitized soil maps.

In this experiment, we used a method of randomized weighted training sample with 35% coverage of the area of the surveyed soils [22]. Modeling of soil cover on the basis of different sources of DEM and variations of resolution (only 6 variants) gave quite interesting results. The first thing to say is that the resolution above 5-15 m significantly reduces the compliance of resampled versions of the soil map to its scanned version. This is due to the "roughening" of small elements and contours when increasing the pixel size of the data. Therefore, for example, on the forecast map of soils with a resolution of 5 m and the corresponding Cohen's kappa 0.98 you can see almost complete coincidence of the contours of the predicate areas of soils to their scanned version (Fig. 5a, b). In the case of a similar DEM, but with a resolution of 25 m (Fig. 5c), the kappa is 0.84 and even in well-predicted areas, the contours do not match very well due to the significant pixelation of the data. Analysis of predictive map variants also reveals a significant number of single pixels of soils, which are scattered in larger areas of other soils. We believe that this can be regarded as a model "noise", which can be largely eliminated by generalizing the results. This is done by us using the GRASS *r.neighbors* module, which looks at each pixel in the input raster forecast map file and checks the values assigned to it in a certain "neighborhood" around it. As a result, we obtain a new layer of the raster map, in which each pixel is assigned a value that is a function of the values around this pixel. The experiment showed that the best results (increasing the value of the kappa) are obtained by generalizing the function "Moda" and the running window 3x3 cells, while the central pixel of this window is also included in the calculation. When applying this approach, the value of Cohen's kappa increases from 0.84 to 0.88 for the model version of the predict soil map based on interpolated DEM with 25 m resolution (Fig. 5d).

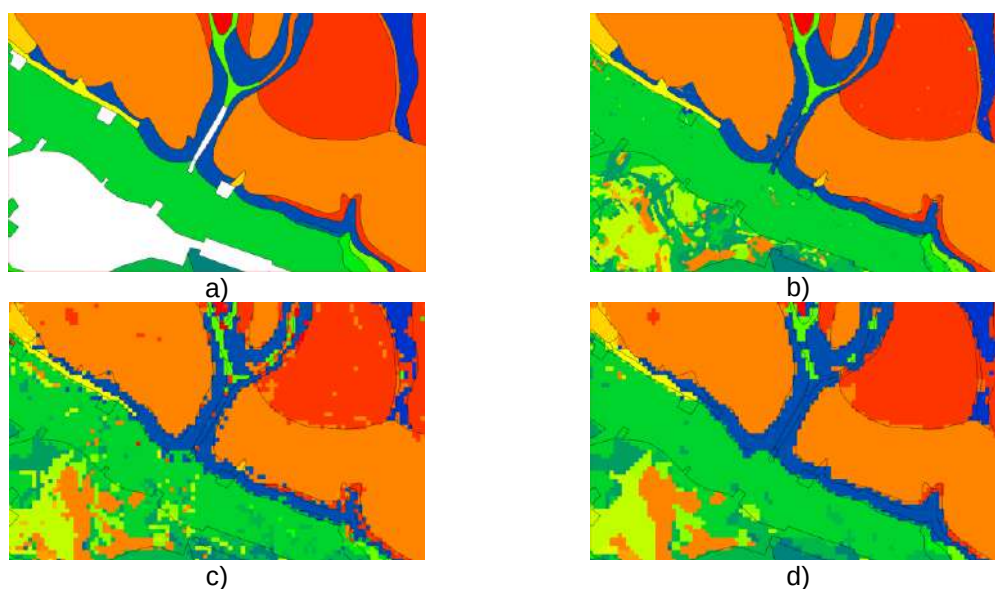


Fig. 5. Comparison of the original (some fragment) soil map (a) with its predicted variants based on interpolated DEM: resolution 5 m (b), resolution 25 m (c) and its generalized variant (d)

4. Discussion

In general, the obtained array of simulations (Fig. 6) shows a clear pattern in reducing the qualitative characteristics (Cohen's kappa) of predictive maps depending on the source of DEM and its spatial resolution. They can be arranged in the following order, according to the Kappa decreasing trend: DEM 5 m → DEM 15 m → DEM 25 m → Alos → Srtm → Aster. This is a trend due to some features of modelled maps that occur during their generalization. Thus, it was found that during generalization kappa increases in the range from 0.018 to 0.068, i.e. in any case, generalization improves Cohen's kappa (Fig. 7, graph, right scale). Accordingly, this leads to the fact that the generalized kappa of one DEM source variant may be better than the non-generalized variant of another (e.g. Alos and generalized Aster), or be close to it (DEM 15 m and generalized DEM 25 m). We get a similar result when analyzing the coincidences of pixel values of specific soil units (Fig. 7, histogram, left scale). Summarizing the data on the size of the kappa and the number of matching pixels, we can say that Alos gives better simulation results than analogues Srtm and Aster, and the last two terrain models, although differing in detail, but in modeling the soil cover show very similar results.

It is also worth noting that in addition to the generally accepted method in the literature for estimating the quality parameters of kappa-based modeling, where the original map is used

as a comparison with the original map in the same resolution, we analyzed the option when model maps for all data sources are compared with the original soil map at 5m resolution. This makes it possible, in addition to the overall accuracy of the prediction, to estimate its decrease at the boundaries of soil units when enlarging the data pixel. This parameter is called by us kappa reference, and it shows a smaller value and similar to the usual kappa trends, but with a slightly longer interval of variation - from 0.018 to 0.075.

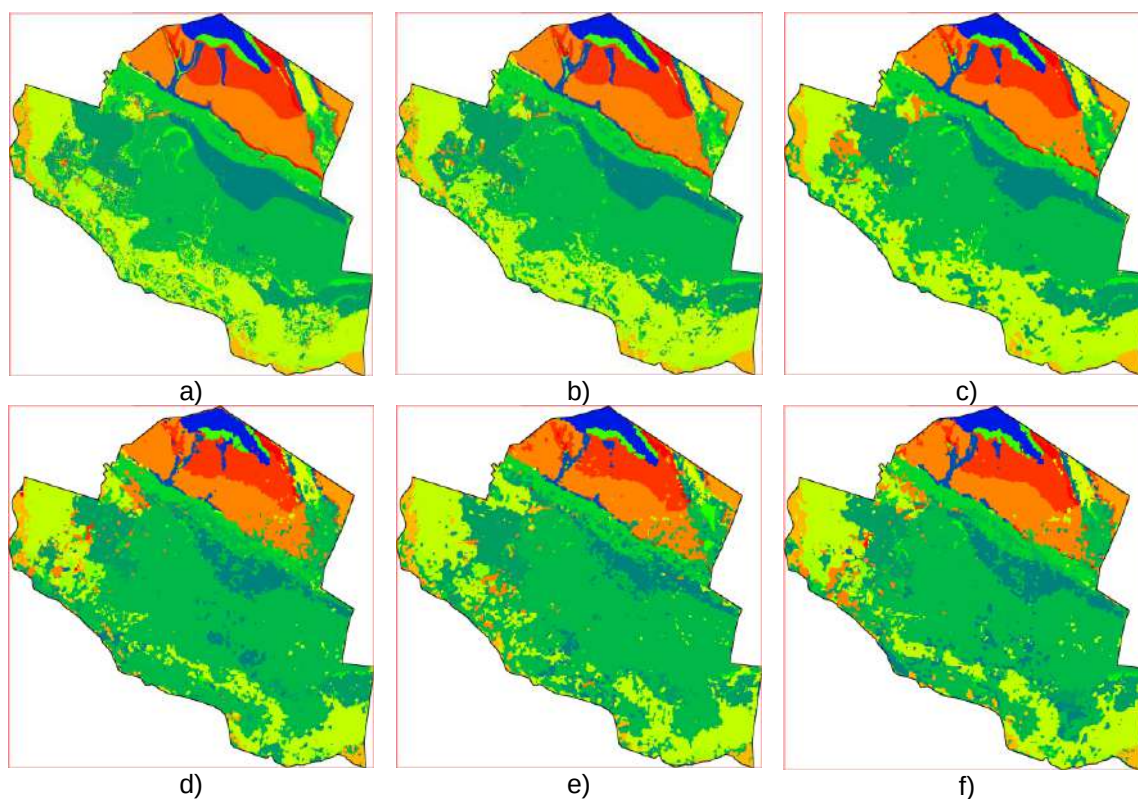


Fig. 6. The results of the prediction of soil cover based on different DEM sources: interpolated from the topographic map (a - 5m, b - 15 m and c - 25 m) and global DEM (d - Aster, e - Srtm, f - Alos)

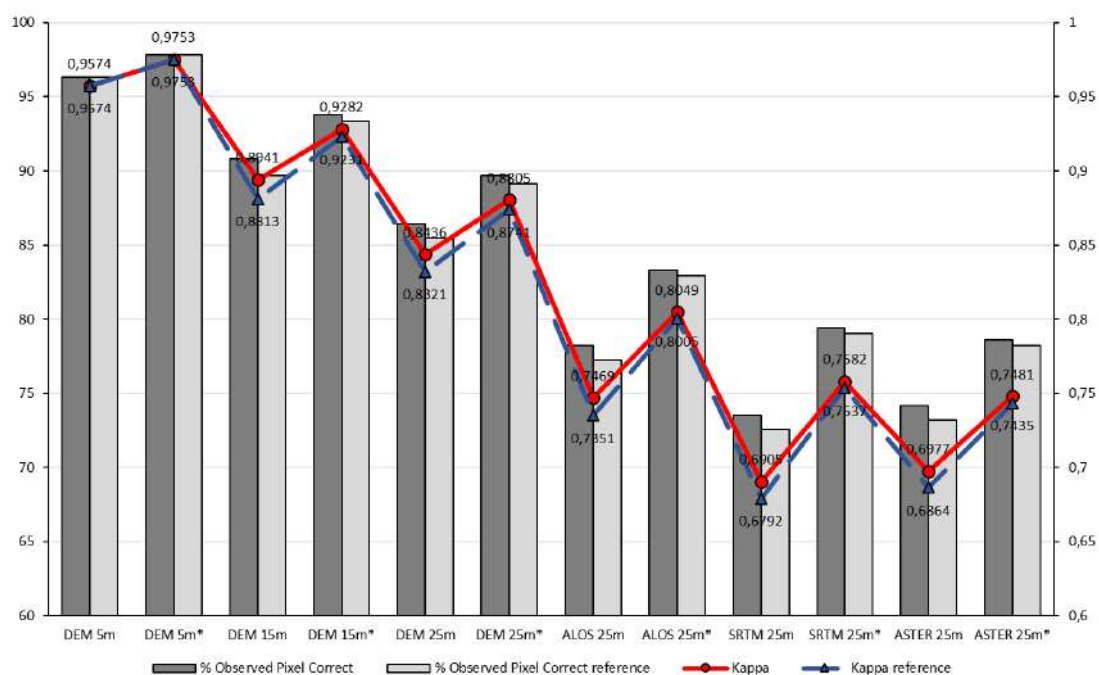


Fig. 7. Differentiation of the quality of predicative soil maps depending on the source of DEM
*generalized versions of maps

The resulting array of model variants of the soil cover is interesting in terms of its compliance with the original maps, and, in particular, the prognostic ability in areas without soil information. The rather high coincidence of model and real data obtained by us indicates a certain level of statistical reliability of data in the areas of "white spots". Moreover, although these results can be called quite encouraging in this regard, visual analysis of predicate values in these white spots often shows a rather chaotic data set. We consider this not so much as the shortcomings of the applied forecasting algorithm, but most likely as the problems of input data, in particular the originals of soil maps. Very often, the resolution of the contours of the soil situation in large-scale soil research wanted to be better. Accordingly, the generated training sample based on such maps carries the same errors and inaccuracies that are inherent in the original maps and transfers them to the model in the area of "white" spots. Therefore, when planning future rounds of large-scale soil surveys, they should be based on the latest developments to avoid the mistakes of the past, which concerns, first, the quality recognizes of soil units and their spatial differentiation.

It should be noted that our proposed method allows obtaining a complete analogue of the map for areas of "white" spots, and because it is based on archival and, accordingly, outdated materials, the result of such modeling cannot exceed the quality of the input data. Nevertheless, when using the latest surveys as training data, devoid of the shortcomings of the old mapping technique, the model situation will be much more reliable. And since the modern wide-scale and at the same time large-scale surveys within Ukraine are not yet planned, we are forced to state the fact that in the near future even such data obtained by us will be significantly informative compared to the situation when they are absent. It is also worth mentioning that based on legacy data cartograms of agricultural groups of soils underlie the normative monetary valuation of agricultural land of Ukraine. Since the proposed method gives good results in the modeling of cartograms of agricultural production groups, we believe that it can be widely applied, despite the described problems. Note also that when modeling one mapping unit (usually one collective farm or state farm), all probable errors that were made during a large-scale survey are completely transferred to the model. However, when analyzing a larger data set, such as an administrative district or region, such errors are often offset by the prediction algorithms used.

When we analyze and model the data of archival domestic surveys, we observe a high correspondence between predict and source maps. This accuracy is not inferior to the level of similar studies in the literature, and often significantly exceeds their prediction accuracy. This directly indicates the drawing of the boundaries of soil units by relief or its derivatives (slope steepness map) according to the survey methods used in the past. However, when we analyze the freely available data of foreign datasets, in them, due to the selection of predictors, we obtained better kappa values than those published by the authors, although lower in absolute terms than in the Ukrainian data. The currently proposed set of predictors gives consistently high results. However, we continue to work in this direction, and plan to expand it in future. Often the set of predictors is limited by the unavailability of large-scale data, and low-scale in the analysis of a small area act simply as additional "coefficients", without affecting the qualitative parameters of the final model. Although up to 100 predictors are used in global SoilGrid250 models [26], their results are still very inaccurate, including due to the small scale of a number of predictors.

It should also be noted that the proposed technique, unfortunately, does not yet allow to involve in the modeling of genetic features of soils. For example, our forecasting approach does not allow the separation of, for example, soils such as chernozem podzolic and dark gray soil. Differences in the genesis of these soils are due to the influence of forest vegetation, and take into account its former presence place (in the case of agricultural land) is very problematic. Therefore, the current predictive algorithms currently divide the soil areas purely based on the use of reference points of landscapes and finding the dependence of the soil type units associated with them. In general, the above allows us to offer the use of such model approaches in the applied problems of soil science, agronomy, land management and land management, i.e. areas where the need for such data is most acute.

5. Conclusions

The study found that there is a significant influence of DEM sources on the qualitative characteristics of predictive maps of soil cover. It was found that depending on the source of DEM and its spatial resolution using the Random Forests algorithm; it is possible to obtain predictive cartographic materials with the Kappa Cohen's from 0.73 to 0.98. The main problems

of availability and access to large-scale cartographic materials are highlighted and ways to solve them are shown.

An extended evaluation of predictive soil maps with ordinary and reference kappa was performed and it was shown that in the absence of highly detailed DEMs the most promising is the use global DEM of ALOS World 3D version 3.1 resampled to 25 m.

Acknowledgement

This work (programming and mathematical modelling) was partially funded by the National Scholarship Programme for the support of mobility of students, PhD students, university teachers, researchers and artists were established by the approval of the Government of the Slovak Republic [2016/2017:id17680]. NSP is funded by the Ministry of Education, Science, Research and Sport of the Slovak Republic. The programme is managed by SAIA, n.o. (Slovak Academic Information Agency). The authors gratefully thank the anonymous reviewer for their valuable comments and constructive recommendations.

References

1. Achasov A.B., Titenko G.V., Kurilov V.I. 2015. Data of remote sensing as a basis of soil mapping: economic aspect. *Bulletin of VN Karazin Kharkiv National University*. Series: Ecology (1104. Issue 10), 60–66. (Ukr.). URL http://journals.urau.ua/visnukhnu_ecology/article/download/25458/33191.
2. Cherlinka V. 2017. Using Geostatistics, DEM and Remote Sensing to Clarify Soil Cover Maps of Ukraine. In: Dent D., Dmytruk Y. (Eds.), *Soil Science Working for a Living: Applications of soil science to present-day problems*. Springer-Verlag GmbH, Cham, Switzerland, Ch. 7. P. 89–100. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-45417-7_7.
3. Cherlinka V., Dmytruk Y., Barabas D. 2019. Methods of verification of soils prediction maps: a case study from Chernivtsi region, Ukraine. *Geographia Cassoviensis*. Vol. 13, no. 2. P. 141–160. DOI: <https://doi.org/10.33542/GC2019-2-04>.
4. Cherlinka V.R., Lobova O.V. 2018. Methodical approaches to the coordination of soil cartographic materials on the borders of administrative-territorial units of Ukraine. Scientific reports of NULES of Ukraine. №6(76). P. 1–15. DOI: <https://doi.org/10.31548/dopovid2018.06.010> (Ukr.).
5. Polchyna S.M., Nikorych V.A., Danchu O.A. 2004. Application of the modern FAO / WRB soil classification system to the soil cover map of Chernivtsi region. *Soil Science*. Vol. 5(1–2). P. 27–33. URL: <http://arr.chnu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/471/1/Nikorych.pdf>.
6. Browning D.M., Duniway M.C. 2011. Digital soil mapping in the absence of field training data: A case study using terrain attributes and semiautomated soil signature derivation to distinguish ecological potential. *Applied and Environmental Soil Science*. DOI: <https://doi.org/10.1155/2011/421904>.
7. Brungard C.W., Boettinger J.L., Duniway M.C., Wills S.A., Edwards T.C. 2015. Machine learning for predicting soil classes in three semi-arid landscapes. *Geoderma*. Vol. 239. P. 68–83. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.09.019>.
8. Caten A.T., Dalmolin R.S.D., Pedron F.D.A., Ruiz L.F.C., Silva C.A.D. 2013. An appropriate data set size for digital soil mapping in Erechim, Rio Grande do Sul, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 37(2). P. 359–366. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0100-06832013000200007>.
9. Heung B., Ho H.C., Zhang J., Knudby A., Bulmer C.E., Schmidt M.G. 2016. An overview and comparison of machine-learning techniques for classification purposes in digital soil mapping. *Geoderma*. Vol. 265. P. 62–77. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.11.014>.
10. Heung B., Hodul M., Schmidt M.G. 2017. Comparing the use of training data derived from legacy soil pits and soil survey polygons for mapping soil classes. *Geoderma*. Vol. 290. P. 51–68. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.12.001>.
11. MacMillan R. 2008. Experiences with Applied DSM: Protocol, Availability, Quality and Capacity Building. In: Hartemink A.E., McBratney A., Mendonça-Santos M. (eds) *Digital Soil Mapping with Limited Data*. Springer, Dordrecht. P. 113–135. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8592-5_10.
12. Malone B.P., Minasny B., McBratney A.B. 2016. Using R for Digital Soil Mapping. *Progress in Soil Science*. Springer International Publishing. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-44327-0>.
13. McBratney A.B., Santos M.L.M., Minasny B. 2003. On digital soil mapping. *Geoderma*. Vol. 117(1-2). P. 3–52. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0016-7061\(03\)00223-4](https://doi.org/10.1016/s0016-7061(03)00223-4).
14. Scull P., Franklin J., Chadwick O. A., McArthur D. 2003. Predictive soil mapping: a review. *Progress in Physical Geography*. 27(2). P. 171–197. DOI: <https://doi.org/10.1191/0309133303pp366ra>.
15. Walter C., Lagacherie P., Follain S. 2006. Integrating pedological knowledge into digital soil mapping. In: Lagacherie P., McBratney A.B., Voltz M. (Eds.), *Digital Soil Mapping: An Introductory Perspective*. Vol. 31 of *Developments in Soil Science*. Elsevier, Amsterdam. Ch. 22. P. 281–301. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0166-2481\(06\)31022-7](https://doi.org/10.1016/s0166-2481(06)31022-7).
16. Florinsky I.V. 2016. *Digital Terrain Analysis in Soil Science and Geology*. 2 edition. Amsterdam : ACADEMIC PRESS / Elsevier. 506 p. <https://doi.org/10.1016/c2015-0-02363-2>.
17. Lagacherie P., Robbez-Masson J.M., Nguyen-The N., Barthès J.P. 2001. Mapping of reference area representativity using a mathematical soils cape distance. *Geoderma*. Vol. 101(3-4). P. 105–118. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(00\)00101-4](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(00)00101-4).
18. Giasson E., Figueiredo S.R., Tornquist C.G., Clarke R.T. 2008. Digital soil mapping using logistic regression on terrain parameters for several ecological regions in Southern Brazil. In: Hartemink A.E., McBratney A.B., de Lourdes Mendonça-Santos M. (Eds.), *Digital Soil Mapping with Limited Data*. Springer Netherlands, Amsterdam, Ch. 19. P. 225–232. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8592-5_19.

19. Kempen B., Brus D.J., Heuvelink G.B.M., Stoorvogel J.J. 2009. Updating the 1:50,000 Dutch soil map using legacy soil data: A multinomial logistic regression approach. *Geoderma*. Vol. 151(3). P. 311–326. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.04.023>.
20. Debella-Gilo M., Etzelmueller B., 2009. Spatial prediction of soil classes using digital terrain analysis and multinomial logistic regression modeling integrated in GIS: Examples from Vestfold County, Norway. *Catena*. Vol. 77(1). P. 8–18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2008.12.001>.
21. Hengl, T., 2009. A practical guide to geostatistical mapping, 2nd Edition. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg. URL http://spatial-analyst.net/book/system/files/Hengl_2009_GEOSTATE2c1w.pdf.
22. Cherlinka V.R. 2017. Variations of predictive efficiency of soil maps depending on the methods of constructing educational samples of predicative algorithms. *Ecology and noospherology*. T. 28(3-4). P. 55-71. (Ukr.) <http://erae.dp.ua/index.php/erae/article/view/20>.
23. Esfandiarpour-Boroujeni I., Shahini-Shamsabadi M., Shirani H., Mosleh Z., Bagheri-Bodaghabadi M., Salehi M.H. 2020. Assessment of different digital soil mapping methods for prediction of soil classes in the Shahrekord plain, Central Iran. *Catena*, Vol. 193. Art.104648. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104648>.
24. Kidd D., Searle R., Grundy M., McBratney A., Robinson N., O'Brien L., Jones E. 2020. Operationalising digital soil mapping – Lessons from Australia. *Geoderma Regional*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2020.e00335>.
25. Batjes N.H., Ribeiro E., van Oostrum A. 2020. Standardised soil profile data to support global mapping and modelling (WoSIS snapshot 2019). *Earth Syst. Sci. Data*. Vol. 12. P. 299–320. DOI: <https://doi.org/10.5194/essd-12-299-2020>.
26. Hengl T., Mendes de Jesus J., Heuvelink G.B.M., Ruiperez Gonzalez M., Kilibarda M., Blagotić A. [et al.]. 2017. SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning. *PLoS ONE*. Vol. 12(2): DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169748>.
27. Chen Z., Ye F., Fu W., Ke Y., Hong H. 2020. The influence of DEM spatial resolution on landslide susceptibility mapping in the Baxie River basin, NW China. *Natural Hazards*, 101. P.853-877. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-020-03899-9>.
28. Munoth P., Goyal R. 2019. Effects of DEM source, spatial resolution and drainage area threshold values on hydrological modeling. *Water Resources Management*. Vol. 33(9). P. 3303-3319. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02303-x>.
29. Cherlinka V.R. 2017. Influence of resolution of digital relief models on the quality of predicative simulation of soil cover. *Soil Science*. T. 18. №1-2. P. 79-95. URL: http://www.dnu.dp.ua/docs/zbirniki/fbem/program_5cf026b4bbf65.pdf. (Ukr.).
30. Danielson J.J., Gesch D.B. 2011. Global multi-resolution terrain elevation data 2010 (GMTED2010) (p. 26). US Department of the Interior, US Geological Survey. DOI: <https://doi.org/10.5066/F7J38R2N>.
31. NASA/METI/AIST/Japan Spacesystems, and U.S./Japan ASTER Science Team. ASTER Global Digital Elevation Model V003. 2019, distributed by NASA EOSDIS Land Processes DAAC. DOI: <https://doi.org/10.5067/ASTER/ASTGTM.003>. Accessed 2020-09-29.
32. NASA JPL. NASA Shuttle Radar Topography Mission Global 1 arc second. 2013, distributed by NASA EOSDIS Land Processes DAAC. DOI: <https://doi.org/10.5067/MEASURES/SRTM/SRTMGL1.003>. Accessed 2020-09-09.
33. Takaku J., Tadono T., Tsutsui K., Ichikawa M. 2018. Quality Improvements of 'AW3D' Global Dsm Derived from Alos Prism. In IGARSS 2018-2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. P. 1612-1615. IEEE. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8518360>.
34. EU-DEM Upgrade Documentation EEA User Manual. Available online: <https://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library/eu-dem-v1-1-user-guide> (accessed on 5 September 2020).
35. Cherlinka V.R. Digital elevation models in soil science: theoretical and methodological bases and practical application: Extended Abstract of Dr. Biol. Sciences: 03.00. Dissertation, Chernivtsi, Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, 2019. 538 p. (Ukr.). https://drive.google.com/open?id=1TZubbaD3fNik7FQUkSyZOdK_dPpozqPN.
36. Kameneva T. 2020. Formation of the National Infrastructure of Geospatial Data in Ukraine and its legal regulation. *Public opinion on lawmaking*. № 9 (194). P. 21–25. (Ukr.) URL: <http://nbuv.gov.ua/images/dumka/2020/9.pdf>.
37. Cherlinka V.R. Adaptation of large-scale soil maps to their practical use in GIS. 2015. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 84. ISSAR. Kharkiv. P. 20-28. (Ukr.). URL: <http://agrochemsoilsci.org/84/84-03.html>.
38. Resolution of the Presidium of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine No. 09/05 of 26.06.2019 (Minutes №9) on the establishment of the Ukrainian Soil Information Center on the basis of the National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky" (in Ukrainian). URL: <http://www.issar.com.ua/downloads/postanova-1.pdf>.
39. Laktionova T.M. 2018. The experience of creating and using seven soil databases in the Soil-Geoeocophysics Laboratory. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 87. ISSAR. Kharkiv. P. 63-71. (Ukr.). DOI: <https://doi.org/10.31073/acss87-10>
40. Laktionova T.N., Bigun O.N., Nakisko S.G., Uvarenko K.Yu. 2020. Design and functional features of the world's leading soil databases. Analytical review. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 89. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 4-17. (Ukr.). DOI: <https://doi.org/10.31073/acss89-01>.
41. GRASS Development Team. 2020. Geographic Resources Analysis Support System (GRASS GIS) Software. Version 7.6. URL: <http://grass.osgeo.org>.
42. QGIS Development Team, 2020. QGIS Geographic Information System. URL <http://qgis.osgeo.org>
43. EasyTrace group, 2015. Easy Trace 7.99. Digitizing software. URL <http://www.easytrace.com>.
44. R Development Core Team. 2020. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. URL: <http://www.r-project.org>.
45. Breiman L. 2001. Random forests. *Machine learning* 45(1), 5–32. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>.
46. Cutler A., Cutler D.R., Stevens J.R. 2012. Random Forests. Springer US, Boston, MA, P. 157–175. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9326-7_5
47. Xu R., Nettleton D., Nordman D.J. 2016. Case-specific random forests. *Journal of Computational and Graphical Statistics*. 25(1). P. 49-65. DOI: <https://doi.org/10.1080/10618600.2014.983641>.
48. Cherlinka V.R., Dmytruk Y.M., Zaharovskyy V.S. 2017. Comparative estimation of the accuracy of simulation modeling of soil cover and forecast of cartograms of agro-industrial groups. *Biological systems*. Vol. 9. Issue. 2. P. 298-306. http://nbuv.gov.ua/UJRN/biolsist_2017_9_2_23.

49. Cherlinka V.R., Dmytruk Y.M. 2014. Problems of creation, georectification and use of large-scale digital elevation models. *Geopolitics and ecogeodynamics of regions*. Vol. 10(1). P. 239–244. (Ukr.). https://www.researchgate.net/publication/296596582_Problemi_stvorennia_georektifikacii_ta_vikorisannia_krupnomasstabnih_cifrovih_modelej_relefu.
50. Hutchinson M.F. 1995. Interpolating mean rainfall using thin plate smoothing splines. *International journal of geographical information systems*. Vol. 9(4). P. 385–403. DOI: <https://doi.org/10.1080/02693799508902045>.
51. Wahba G. 1990. Spline models for observational data. Society for industrial and applied mathematics. DOI: <https://doi.org/10.1137/1.9781611970128>.
52. USGS Earth Explorer. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/>.
53. ALOS Global Digital Surface Model "ALOS World 3D - 30m (AW3D30)" URL: <https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/>
54. Stevenson J.A., Sun X., Mitchell N.C. 2009. Despeckling SRTM and other topographic data with a denoising algorithm. *Geomorphology*. 144. P. 238–252. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.07.006>.
55. Sun X., Rosin P.L., Martin R.R., Langbein F.C. 2007. Fast and Effective Feature-Preserving Mesh Denoising. *IEEE Transactions on Visualisation and Computer Graphics*. 13(5). P. 925–938. DOI: <https://doi.org/10.1109/TVCG.2007.1065>.
56. Wright M.N., Ziegler A. 2017. ranger: A Fast Implementation of Random Forests for High Dimensional Data in C++ and R. *Journal of Statistical Software*. 77(1). P. 1–17. DOI: <https://doi.org/10.18637/jss.v077.i01>.
57. Grinand C., Arrouays D., Laroche B., Martin M.P. 2008. Extrapolating regional soil landscapes from an existing soil map: Sampling intensity, validation procedures, and integration of spatial context. *Geoderma*. Vol. 143(1). P. 180–190. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.11.004>
58. Kuhn M. 2008. Building Predictive Models in R Using the caret Package. *Journal of Statistical Software*. Vol. 28(5). P. 1–26. DOI: <https://doi.org/10.18637/jss.v028.i05>.
59. Landis J.R., Koch G.G. 1977. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*. Vol. 33, No. 1. P. 159–174. URL <https://doi.org/10.2307/2529310>
60. Li W., Zhang C. 2007. A Random-Path Markov Chain Algorithm for Simulating Categorical Soil Variables from Random Point Samples. *Soil Science Society of America Journal*. Vol. 71(3). P. 656–668. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2006.0173>.
61. Public cadastral map of Ukraine. URL: <https://map.land.gov.ua/> (accessed on 5 September 2020) (Ukr.).
62. National (all-Ukrainian) normative monetary valuation of agricultural lands <https://ngo.land.gov.ua/uk/map/> (accessed on 5 September 2020) (Ukr.).
63. Cherlinka V.R., Dmytruk Y.M. 2018. Solving existing problems with soil maps in Ukraine. *Biological systems*. Vol. 10(1). P. 298–308. DOI: <https://doi.org/10.31861/biosystems2018.01.094>.

УДК 631.4:551.4:004.942

Вплив джерел ЦМР на якісні показники предикативних карт ґрунтового покриття

В. Р. Черлінка^{1*}, Ю. М. Дмитрук¹, Ю. Г. Бодян²

¹Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, Чернівці, Україна

²Чернівецька філія ДУ «Інститут охорони ґрунтів України», Чернівці, Україна

*E-mail: v.cherlinka@chnu.edu.ua

Метою дослідження було виявлення впливу цифрових моделей різного походження на якісні характеристики прогнозних карт ґрунтового покриття чи картограм агровиробничих груп ґрунтів за використання технологій предикативного моделювання. Проаналізовано поточну ситуацію з великомасштабними ґрунтовими картографічними даними в Україні та показано, що найбільш швидким та економічно ефективним способом заповнення прогалів при створенні суцільного картографічного покриття для необстежених територій, які складають до 33 % площі України, є математична симуляція. В основі останньої лежить морфометричний аналіз цифрових моделей рельєфу, на основі якого виділяють ряд предикторів, які в подальшому аналізують на предмет наявності зв'язків з існуючими картографічними ґрунтовими матеріалами шляхом створення математичної предикативної моделі з використанням опорних точок ландшафтів та приурочених до них ґрунтових таксонів. Виявлена різниця в якості предикативних матеріалів з використанням індексу карра Коена (Cohen's *kappa* coefficient) дозволяє рекомендувати окремі джерела ЦМР як базові для такого роду завдань. Проведено демонстрацію замкнутого виробничого циклу створення предикативних ґрунтових картографічних матеріалів на базі безкоштовного програмного забезпечення – геоінформаційних систем GRASS та Quantum, мови статистичних розрахунків R-Statistic та умовно-безкоштовного – векторизатора Easy Trace.

Ключові слова: карта ґрунтів; картограма агровиробничих груп ґрунтів; морфометричні параметри; цифрова модель рельєфу (ЦМР), предикативні алгоритми, моделювання

Форма цитування: Cherlinka V.R., Dmytruk Y.M., Bodyan Y.H. Effect of DEM sources on quality indicators of predictive maps of soil cover. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 90. Kharkiv: NSC ISSAR. 2020. P. 36–46. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss90-04>.

ГРУНТОВЕ ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН SOIL NUTRITION of PLANTS

УДК 631.811

Теоретичні проблеми методології балансового оцінювання кругообігу макроелементів живлення в системі «добриво–ґрунт–рослина»

А.О. Христенко

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

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 22.06.2020 Отримано після доопрацювання 10.09.2020 Затверджено до публікації 15.09.2020 Доступно онлайн 05.11.2020	Стратегія діяльності, спрямованої на досягнення бездефіцитного балансу поживних речовин у землеробстві, потребує коригування з науковим обґрунтуванням і визначенням економічної доцільності. Метою досліджень є удосконалення теоретичних аспектів агрохімічної балансової оцінки кругообігу макроелементів живлення в системі «добриво–ґрунт–рослина». Завданням було виявити нові закономірності формування балансу азоту, фосфору й калію і розробити базові моделі економічно обґрунтованого рівня балансу елементів живлення. Застосовували матеріали й методи: результати багаторічних досліджень у стаціонарному польовому досліді; аналіз, узагальнення і статистична обробка даних фондових і сучасних літературних матеріалів (частково об'єднаних в електронній базі даних); аналіз та узагальнення даних агрохімічної служби країни. Досліджувані об'єкти: основні ґрунти України (об'єкт прямих досліджень – чорнозем типовий важкосуглинковий); моделі економічно обґрунтованого рівня балансу елементів живлення в системі «добриво–ґрунт–рослина». Виявлено, що за систематичного внесення добрив (навіть в умовах від'ємного балансу поживних речовин) вміст рухомих сполук азоту, фосфору та калію в ґрунтах має тенденцію до підвищення. Це спонукало автора висловити припущення, що уявлення про суттєве погіршення трофічного стану ґрунтів в умовах від'ємного балансу поживних речовин є недостатньо теоретично обґрунтованим і дещо перебільшеним. У зв'язку з цим автор рекомендує з певною обережністю підходити до інтерпретації результатів розрахунків балансу. Розроблено математичні моделі та розраховано нормативи динаміки вмісту фосфору в ґрунтах України залежно від норми добрив і тривалості їх внесення. Встановлено й теоретично обґрунтовано, що за систематичного внесення навіть невеликих норм добрив, просте відтворення родючості ґрунтів досягається автоматично. Запропоновано базову модель економічно обґрунтованого рівня балансу елементів живлення для розширеного відтворення родючості ґрунтів. Параметри моделі можуть змінюватися залежно від кліматичних умов, ціни на добрива, набору культур, що вирощуються і рівня культури землеробства.

E-mail: Khristenko53@gmail.com

Форма цитування: Христенко А.О. Теоретичні проблеми методології балансового оцінювання кругообігу макроелементів живлення в системі «добриво–ґрунт–рослина». *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 90. Харків: ННЦ «ІГА ім. О.Н. Соколовського». 2020. С. 47-56. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss90-05>

1. Вступ

Важливим напрямом вирішення продовольчої проблеми багатьох країн світу, особливо тих що розвиваються, є збільшення обсягів застосування добрив [1]. При цьому виникає низка нових проблем: зростає антропогенне навантаження на навколишнє природне середовище, зростають витрати на придбання і внесення добрив внаслідок постійного зростання цін на сировину та енергоресурси.

Прийнято вважати, що балансова агрохімічна оцінка кругообігу елементів живлення в системі «ґрунт–рослина» дозволяє чітко розуміти ступінь інтенсифікації сільськогосподарського виробництва, є основою для планування і прогнозування масштабів застосування добрив, дає змогу регулювати рівень родючості ґрунтів, а також запобігати їх забрудненню. Результати оцінювання балансу також дають змогу створити оптимальний набір і співвідношення культур, формувати структуру посівних площ, планувати внесення оптимальних доз та співвідношень мінеральних добрив, активно коригувати біологічний кругообіг елементів живлення в системі «ґрунт–рослина» [2].

Баланс елементів живлення (в агрохімічному розумінні) залежить від двох основних статей – надходження поживних речовин у ґрунт з удобрювальними засобами та їх вилучення із ґрунту рослинами на побудову врожаю. Залежно від того, який із процесів домінує, змінюється відповідно й рівень родючості ґрунту [3].

В Україні у 2014 р. на гектар ріллі внесено лише 54 кг азотних, 14 – фосфорних і 14 кг д.р. калійних добрив. В результаті агрохімічний баланс основних елементів живлення у

системі «ґрунт-рослина» був від'ємним – азоту -24 кг/га, а фосфору і калію, відповідно, -13 та -15 кг/га. Найбільш несприятливим виявився стан забезпеченості рослин фосфором, оскільки дефіцит цього елементу спостерігається у ґрунтах усіх ґрунтово-кліматичних зон на території України [4].

Вважається, що якщо втрати не будуть компенсуватися добривами, меліорантами чи іншими джерелами надходжень, і баланс елементів буде від'ємним, ґрунт виснажується, втрачає рухомі поживні речовини, що знижує його ефективну родючість і врожайність сільськогосподарських культур [5]. За додатного агрохімічного балансу, коли кількість елементів живлення, що надійшли в ґрунт з добривами перевищує їх винос з урожаєм, створюються передумови зростання родючості ґрунту [6].

І хоча такі ствердження є традиційними і сприймаються як аксіома, добре відомі численні факти підвищення вмісту рухомих сполук поживних речовин у ґрунті навіть в умовах застосування низьких доз добрив, які, апіорі, не можуть забезпечити додатного балансу.

Так, наприклад, за даними Б.С. Носка [7], за внесення азотних і органічних добрив, навіть за констатованого від'ємного балансу азоту, вміст і запаси мінерального азоту в орному і підорному шарах чорнозему типового важкосуглинкового дещо підвищувалися. На думку вченого, значна роль тут належить «екстра-азоту», який утворюється під впливом взаємодії азоту добрив з азотом ґрунту. У польовому стаціонарному досліді (на фоні 140 т/га гною, сумарно, внесеного за кілька ротаций сівозміни) за виявленого дефіцитного балансу фосфору констатовано тенденцію до збільшення вмісту в ґрунті його рухомих форм. На цьому агрофоні на 25 % зростає ступінь рухомості фосфатів та майже на 30 % – уміст неміцно зв'язаних фосфатів. Це пояснюється активною мінералізацією органічних фосфатів та високою буферністю фосфатної системи, що забезпечує певну рівновагу в системі «ґрунтовий розчин – тверда фаза ґрунту» [8]. Незважаючи на від'ємний баланс калію на всіх фонах із запасним внесенням після завершення четвертої ротации сівозміни польового досліді, в орному шарі ґрунту накопичується так званий «залишковий» калій добрив. За міркуванням дослідника [9], саме калійні добрива сприяють підвищенню рухомості ґрунтових ресурсів калію і тільки цим можна пояснити накопичення у ґрунті рухомих сполук калію за загальним від'ємним балансу цього елемента.

На підставі узагальнення даних восьми основних тривалих польових дослідів, виконаних Всеросійським науково-дослідним інститутом добрив і агроґрунтознавства (ВІУА), вчені приходять до висновку, що за систематичного внесення калійних добрив відбувається накопичення калію в ґрунтах, навіть за констатованого від'ємного балансу [10]. У ґрунтах Раменської дослідної станції НІУІФ, у тривалому досліді виявлено від'ємний баланс калію і, разом з тим, збільшення вмісту обмінного калію в ґрунті. Ймовірною причиною такого явища вважають не стільки посилене використання важкорозчинного ґрунтового калію з орного шару, скільки засвоєння калію з усього кореневмісного шару, в якому помітити зміни дуже складно [10].

За даними зарубіжних дослідників [11, 12], практично у всіх типах ґрунтів калійні добрива, незалежно від дози, підвищують вміст рухомого калію і не тільки в орному шарі. Згідно з сучасними публікаціями [13], в агроєкосистемах із беззмінним вирощуванням сільськогосподарських культур (пшениця озима) як без внесення добрив, так і на удобренних ділянках (незважаючи на від'ємний баланс калію), запаси обмінного калію в шарі ґрунту 0–40 см мають тенденцію до збільшення. Дослідники пов'язують цей факт з невисоким виносом калію врожаями культури, вирощуваної беззмінно.

Взагалі, як показує короткий аналіз публікацій, пояснити можна будь-який результат досліджень, навіть незважаючи на те, що панівна теорія, з часів Ю. Лібіха, однозначно стверджує: в умовах від'ємного балансу поживних речовин можливо тільки постійне виснаження і незворотна деградація родючості ґрунту.

Як буде показано далі, можливість накопичення фосфору і калію в ґрунті в умовах від'ємного балансу поживних речовин (за внесення помірних норм добрив) підтверджується і даними польових дослідів у наукових установах, і результатами періодичних обстежень, виконаних агрохімічною службою країни (ДУ «Інститут охорони ґрунтів України»). Отже, в результатах агрохімічної балансової оцінки спостерігається явне протиріччя між домінуючою теорією і практикою землеробства.

Мета досліджень – розкриття теоретичних аспектів агрохімічної балансової оцінки кругообігу макроелементів живлення в системі «добрива-ґрунт-рослина», виявлення нових закономірностей формування балансу азоту, фосфору і калію та пропозиції щодо моделювання економічно обґрунтованого рівня балансу для простого й розширеного відтворення родючості основних типів ґрунтів.

2. Об'єкти і методи досліджень

Спосіб досліджень – аналіз, узагальнення і статистична обробка фондових матеріалів (в тому числі даних, напрацьованих академіком Б. С. Носком та його учнями), а також сучасних даних відділу агрохімії ННЦ ІГА; аналіз матеріалів електронної інформаційної бази даних, яка включає як експериментальні дані відділу агрохімії, так і літературні дані, що характеризують агрохімічні складові родючості основних типів ґрунтів України.

Крім того, було проведено аналіз та узагальнення матеріалів агрохімічної служби країни (нині – ДУ «Інститут охорони ґрунтів України») щодо динаміки вмісту рухомих сполук фосфору й калію в ґрунтах у розрізі адміністративних областей і країни в цілому за результатами І–V турів обстеження (1966–1990 рр.). Цей період вибрано саме тому, що матеріали дозволили виявити закономірності динаміки вмісту поживних речовин у ґрунтах в умовах постійного збільшення норм внесення добрив. Наприклад, внесення P_2O_5 тільки з мінеральними добривами було збільшено за той період в середньому по країні з 14 до 41 кг/га [14]. Для порівняння: за останні 20 років внесення P_2O_5 з добривами збільшилось з 2 до 13 кг/га.

Об'єкт сучасних прямих досліджень автора – дані з польового багаторічного стаціонарного дослідження, закладеного у 1969–1970 роках на чорноземі типовому важкосуглинковому після розорювання 40-річного перелугу (ДП «ДГ «Граківське» ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського», (Харківський район Харківської області). Впродовж 1969–1970 рр. дворазовим внесенням високих доз мінеральних добрив (400; 800 та 1200 кг/га д. р.) було створено чотири рівні (природний, середній, підвищений та високий) азотних, фосфорних, калійних та азотно-фосфорно-калійних агрохімічних фонів. На кожному з цих фонів було закладено дрібноділянковий дослід. Середньорічна норма добрива (до теперішнього часу) у варіанті 111 становить N50P50K50, у варіанті 222 – N100P100K100. Крім того, на всіх фонах, крім контрольних, за кілька ротацій сівозміни було внесено 140 т/га напівперепрілого гною (сумарно).

Більш детально схему і методику ведення цього дослідження описано в роботі Б.С. Носка [15]. Агрохімічні аналізи виконували за методиками відповідно до чинних нормативних документів або наведених у відповідних методичних посібниках.

Для накопичення, аналізу й обробки масивів даних використано СУБД Access 98 із застосуванням програм мовою Visual Basic for Applications (VBA). Дані оброблено за допомогою інтервованої з Access 98 програмою Microsoft Excel 98 і статистичного пакету програми Statistica 10.0.

3. Результати досліджень та їх обговорення

3.1. Динаміка вмісту мінерального азоту (нітратного й амонійного) в ґрунті

Раніше проведеними дослідженнями [16] було виявлено, що природна забезпеченість орних ґрунтів України мінеральним азотом (по непарових попередниках) характеризується зазвичай дуже низькими, низькими і, зрідка, середніми (за національними критеріями [17]) значеннями. Це пояснюється недостатнім умістом у ґрунтах органічної речовини, що легко розкладається. Але й такої кількості зазвичай виявляється цілком достатньо для того щоб підтримувати невисокий, але стабільний рівень забезпеченості рослин доступним азотом.

За результатами досліджень, проведених в умовах стаціонарного польового дослідження, було виявлено, що в перші роки після розорювання 40-річного перелугу у варіантах, де добрива не вносили, вміст нітратного азоту в ґрунті був найвищим (Рис. 1), потім поступово зменшувався і через 15–20 років стабілізувався на нижчому рівні. Деякі відмінності пояснюються погодними умовами конкретного року.

Запаси мінерального азоту в контрольних варіантах дослідження в шарі ґрунту 0-60 см після шостої ротації сівозміни становили 38 кг/га (природний вміст). За цей час внесення у ґрунт органічного добрива, порівняно з абсолютним контролем, незважаючи на від'ємний баланс азоту (-170 кг/га), підвищило запаси мінерального азоту (до 70 кг/га) у шарі ґрунту 0-60 см. Внесення у ґрунт азоту в нормі N1800 в запас обумовило від'ємний баланс азоту (-460 кг/га), але сприяло підвищенню запасів мінерального азоту до 56 кг/га [7].

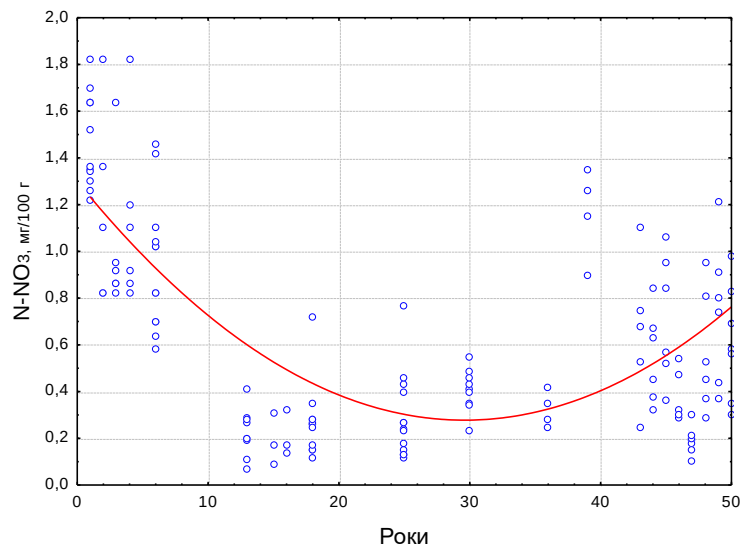


Рис.1. Динаміка вмісту нітратного азоту у чорноземі типовому протягом 50 років спостережень (стаціонарний дослід; шар ґрунту 0-60 см; неудобрювані ділянки)

Це підвищення запасів азоту у ґрунті було незначним: згідно з чинними градаціями, всі ці агрохімічні фони слабо забезпечують рослини найбільш доступними ґрунтовими сполуками азоту (менше 70 кг/га). Але факт залишається фактом: за внесення мінеральних і органічних добрив, навіть в умовах різко від'ємного балансу азоту, вміст мінерального азоту в орному і підорному шарах чорнозему типового важкосуглинкового не тільки не знижується, а й має тенденцію до підвищення.

3.2. Динаміка вмісту рухомих сполук фосфору в ґрунті

Що стосується фосфору, то за 6 ротацій зерно-буракової сівозміни на абсолютному контролі того самого польового досліді від'ємний баланс фосфору (P_2O_5) досягнув -734 кг/га, але це не вплинуло на вміст рухомих форм фосфатів (P_2O_5), параметри якого в орному шарі були такими: близько 45 мг/кг ґрунту за методом Чирикова, близько 18 мг/кг за методом Олсена і близько 16 мг/кг за методом Мачигіна.

При цьому, валовий вміст фосфору знизився з 0,111 % до 0,107 % P_2O_5 . У варіанті де було за три строки внесено з гноєм 280 кг/га P_2O_5 , незважаючи на від'ємний баланс (-646 кг/га), відбулося зростання вмісту рухомого фосфору (P_2O_5) в ґрунті: до 60 мг/кг за методом Чирикова і до 22 мг/кг за методом Олсена (за матеріалами Б.С. Носка [8]).

Інтенсивність процесів трансформації фосфатного фонду чорнозему типового істотно зростає за додатного балансу фосфору. Згідно з розрахунком, середнє підвищення вмісту P_2O_5 , за норми добрив P50, становило 0,25, а за норми P100 – 0,37 мг/100 г ґрунту за рік (Рис. 2).

Аналіз даних агрохімічного обстеження ґрунтів України також показав, що за систематичного внесення добрив, навіть в умовах від'ємного балансу фосфору, спостерігається поступове підвищення фосфатного рівня ґрунтів. Так, наприклад, у зоні Степу, незважаючи на загальний від'ємний баланс фосфору (у 1966-1970 рр. -10,1 та у 1971-1975 рр. -2,0 кг P_2O_5 /га), середньозважений вміст P_2O_5 у ґрунті в межах орного шару підвищився за період 1966-1975 рр. з 6,7 до 7,4 мг/100 г ґрунту. На основі статистичної обробки матеріалів агрохімічного обстеження ґрунтів України державною агрохімслужбою (5 турів) щодо динаміки вмісту рухомих сполук фосфору в ґрунтах, і з використанням статистичних даних про кількість внесених органічних і фосфорних добрив за цей період (25 років) [14], розроблено таку математичну модель залежності вмісту у ґрунті фосфору від норми і тривалості удобрення :

$$P = 6,61 + 0,0198H + 0,0173T - 0,0008H^2 + 0,0039HT - 0,0006T^2, \quad r = 0,70 \quad (1)$$

де P – середньозважений вміст у ґрунті P_2O_5 , мг/100 г (Україна в цілому); H – норма внесення добрив (P_2O_5), кг/га; T – тривалість систематичного застосування фосфорних добрив (роки).

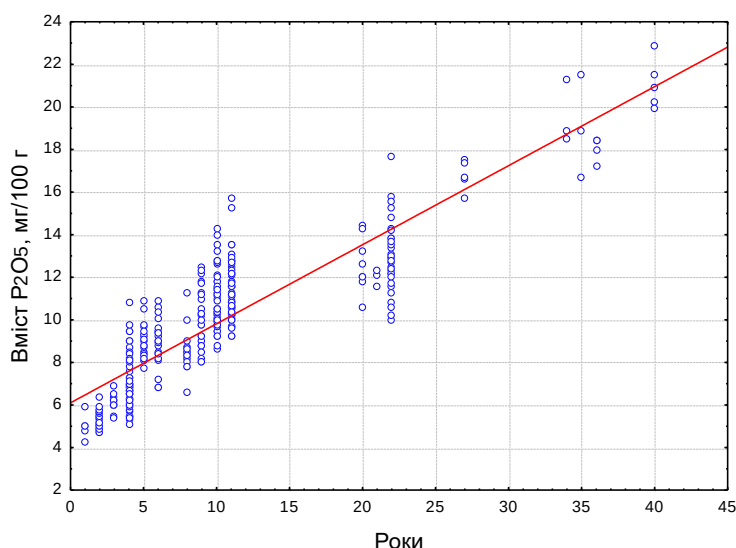


Рис. 2. Динаміка вмісту рухомих сполук фосфору (за методом Чирикова) у чорноземі типовому (стаціонарний дослід; шар ґрунту 0-30 см; середньорічна норма добрив -100 кг/га P_2O_5)

За даними моделі розраховували прогнозовані нормативи середньозваженого вмісту рухомих сполук фосфору (P_2O_5 , мг/100 г) у ґрунті залежно від норм добрив і тривалості їх застосування (Табл.1).

Таблиця 1

Прогнозовані нормативи середньозваженого вмісту рухомих сполук фосфору в ґрунтах України залежно від норм і тривалості застосування добрив (розрахунок за даними математичної моделі №1)

Норма внесення P_2O_5 , кг/га	Вміст P_2O_5 , мг /100 г			
	Тривалість застосування добрив (роки)			
	10	15	20	25
10	7,2	7,4	7,6	7,8
30	7,5	8,4	8,9	9,5
50	7,7	8,7	9,6	10,5

Як відомо [18], якщо регресійні моделі адекватні (математична форма відповідає експериментальним закономірностям) і статистично значущі, то вони легко дозволяють вивчати модельований об'єкт. У разі, якщо дослідження модельованого об'єкта виходять за область значень аргументів регресійної моделі (екстраполяція), то точність відповідних розрахунків зазвичай різко падає.

Модель, у межах фактичних значень аргументів (від 10 до 50 кг/га P_2O_5), підтверджує висновок про те, що за систематичного внесення навіть невеликих норм фосфорних добрив, наприклад 10 кг/га, спостерігається поступове накопичення залишкових фосфатів у ґрунті. Зрозуміло, що за такої норми добрив (за 10-25 років) це підвищення буде чисто теоретичним, але вже за збільшення норми до 30 кг/га і більше, підвищення фосфатного рівня чітко фіксується, а розрахункові значення повністю відповідають фактичним даним, одержаним в результаті агрохімічного обстеження ґрунтів України [14].

Про можливість підвищення вмісту фосфору в ґрунтах в умовах тривалого систематичного внесення низьких доз добрив автор статті раніше вже згадував у своїх публікаціях [16]. Порівняння фосфатного стану двох ґрунтів – чорнозему типового важкосуглинкового (варіант без удобрення в досліді ДП «ДГ«Граківське», Харківська область) і чорнозему типового легкосуглинкового (варіант Р10 досліді №51 Миронівського стаціонару, Київська область. Варіант «Абсолютний контроль (000)» у досліді №51 відсутній.) показало, що насиченість останнього ґрунту рухомими сполуками фосфору і доступність фосфору рослинам, були явно більш високими (Табл. 2).

Таблиця 2

Оцінка насиченості ґрунтів фосфором і його доступності рослинам

Ґрунт	Варіант	Вміст P ₂ O ₅ у ґрунті, мг/кг			Вміст P ₂ O ₅ у фітомасі вівса ¹ , %
		Методи визначення			
		іонообмінної хроматографії	Олсена	Карпінського-Зам'ятіної	
Чорнозем типовий, ДП «ДГ«Граківське»	Контроль (000)	20	18	0,25	0,52±0,09
Чорнозем типовий, Миронівський стаціонар	P10 кг/га щорічно	31	25	0,45	0,58±0,11

¹ Результати вегетаційного досліду 1979-1981 рр., проведеного автором

¹ Результати вегетаційного дослід 1979-1981 рр., проведеного автором

Про це свідчать дані принципово різних методів визначення: іонообмінної хроматографії, 2-х хімічних (сольовий і лужний) і біологічного (вегетаційний дослід з рослинами). А головне, за всіма показниками параметри фосфатного стану слабо удобрюваного ґрунту Миронівського стаціонару перевищували значення, притаманні неудобрюваному орному ґрунту: рівень динамічної рівноваги фосфатних систем таких ґрунтів не може перевищувати 18 ± 2 за методом Олсена (ДСТУ ISO 11236) або $0,25 \pm 0,03$ за методом Карпінського-Зам'ятіної (ДСТУ 4727) [16]. І причини цього явища очевидні: на варіанті P10 за час 1912 - 1982 рр. було сумарно внесено близько 700 кг/га P₂O₅. Тобто підвищений вміст фосфору в орному шарі ґрунту Миронівського стаціонару пояснюється наявністю залишкових фосфатів добрив.

3.3. Динаміка вмісту рухомих сполук калію в ґрунті

Дослідження закономірностей динаміки калійного стану чорнозему типового важкосуглинкового у польовому стаціонарному досліді (ДП «ДГ «Граківське», Харківський район, Харківська область) показало, що в усіх варіантах склався від'ємний баланс калію (K₂O), який різнився від -3016 кг/га на контролі до -1338 кг/га у варіанті з систематичним внесенням середньорічної норми N100P100K100 (за матеріалами Б.С. Носка). Незважаючи на це, вміст рухомого калію в орному шарі ґрунту на всіх удобрених ділянках підвищувався, а за максимального удобрення (високий калійний фон+N100P100K100) – удвічі, з 81 до 168 мг/кг.

Систематичне внесення калійних добрив у середньорічній нормі K₅₀ також сприяло накопиченню в цьому ґрунті рухомого калію. Залежність вмісту калію у ґрунті від тривалості удобрення за норми K₅₀ описується таким рівнянням:

$$Y = 8,19 + 0,12X, \quad r = 0,74 \quad (2)$$

де Y – вміст K₂O за Чириковим, мг/100 г ґрунту; X – тривалість внесення калійних добрив, роки.

Згідно з рівнянням, середнє річне підвищення вмісту K₂O, за норми K₅₀, становило 0,12 мг/100 г ґрунту. З підвищенням річної норми внесення калійних добрив до K100 підвищувалася й інтенсивність накопичення калію в ґрунті:

$$Y = 8,34 + 0,24X, \quad r = 0,80 \quad (3)$$

де Y – вміст K₂O за Чириковим, мг/100 г ґрунту; X – тривалість внесення калійних добрив, роки.

Середньорічне підвищення вмісту K₂O, при нормі K100, становило 0,24 мг/100 г ґрунту. Закономірності, виявлені у польовому досліді, щодо можливості накопичення калію у ґрунті на фоні його, загалом, від'ємного балансу (за умов внесення помірних норм добрив) також підтверджуються даними агрохімічної служби країни. У всі роки так званої «інтенсивної хімізації» (1966-1990 рр.) вміст калію в ґрунтах України, зростав, незважаючи на постійний від'ємний баланс цього елемента живлення (Табл. 3).

Таблиця 3

Динаміка агрохімічного балансу калію у землеробстві України і вмісту його в ґрунті [19, 20]

Період, роки	Статті балансу K ₂ O, кг/га			Середньозважений вміст K ₂ O у ґрунті, мг/кг
	надійшло з добривами	винесено з урожаєм	баланс	
1966-1970	34,1	75,3	-41,2	98
1971-1975	44,0	72,0	-28,0	98
1976-1980	61,8	78,7	-16,9	102
1981-1985	70,8	78,8	-8,0	111
1986-1990	79,5	92,0	-12,5	113

3.4. Базова модель економічно обґрунтованого рівня балансу елементів живлення

Отже, результати дослідження демонструють, що сприймання від'ємного балансу макроелементів живлення рослин як індикатора суттєвого погіршення трофічного стану ґрунтів, є помилковим. Проведений аналіз статистичних даних також показав, що для зсуву вмісту K_2O в орному шарі ґрунту всього на 1 мг/100 г, в середньому по країні, було внесено з мінеральними й органічними добривами 1173 кг/га калію (Табл. 4).

Таблиця 4

Витрати добрив для зсуву на одиницю середньозваженого вмісту P_2O_5 і K_2O в ґрунтах України за 1966-1990 рр.

Добрива	Сумарна доза добрив, кг/га д. р.	Підвищення вмісту P_2O_5 , або K_2O , мг/100 г ґрунту	Витрати для зсуву на 1 мг/100 г ґрунту:	
			добрив, кг/га д. р.	коштів на 1 га, у. о.
Фосфорні	1125	3,5	321	321
Калійні	1759	1,5	1173	350

Виходячи з матеріалів агрохімслужби країни, можливість (у сучасних умовах) підвищити вміст рухомого фосфору на одному гектарі всього на 1 мг/100 г ґрунту (при вартості 100 кг P_2O_5 добрив – 100 у.о.), буде коштувати 321 у.о. А відповідне підвищення вмісту калію (при вартості 100 кг K_2O добрив – 30 у.о.), буде коштувати близько 350 у.о. Тобто, дуже і дуже недешево. І це без урахування додаткових витрат на використання добрив, які становлять зазвичай не менш як 10-20 % від вартості добрива (доставка, навантаження–розвантаження, зберігання, внесення в ґрунт тощо).

Ймовірніше за все ці витрати добрив у масштабі України в цілому є дещо завищеними внаслідок непродуктивних втрат добрив в умовах виробництва. Крім того, викликає певні сумніви і достовірність тогочасних статистичних даних про кількість і якість внесених органічних добрив.

Дані, одержані в умовах тривалого польового дослідження на чорноземі типовому важкосуглинковому, в умовах відсутності таких втрат показали, що для зсуву вмісту рухомого фосфору на 1 мг/100 г ґрунту знадобилося внести з добривами за 20 років – 142, за 30 років – 182 кг P_2O_5 /га.

Для зсуву вмісту рухомого калію на 1 мг/100 г за 20 років в умовах цього дослідження потрібно було внести в ґрунт з добривами 417 кг K_2O /га. Тобто в умовах тривалого стаціонарного дослідження витрати добрив для зсуву вмісту поживних речовин на 1 мг/100 г ґрунту були значно меншими ніж у виробництві, але також були високими.

Розрахунки показують, що стратегія, спрямована на досягнення бездефіцитного балансу поживних речовин у землеробстві країни, потребує удосконалення, оскільки недостатньо виправдана економічно – застосування добрив у дозах, необхідних для цього, зазвичай є економічно збитковим. Відомо, що національна безпека країни тісно пов'язана зі збереженням родючості та раціональним використанням ґрунтів. Тому вкрай важливо, щоб ця найважливіша соціальна і політична задача була ще й обґрунтованою економічно. Як показали дослідження, просте відтворення родючості ґрунтів за систематичного внесення навіть низьких норм добрив досягається автоматично. Тому немає необхідності у розробці спеціальної моделі економічно обґрунтованого рівня балансу елементів живлення для простого відтворення родючості основних типів ґрунтів.

Цей феномен можна пояснити. З термодинамічних позицій ґрунт є відкритою поліморфною багатокомпонентною системою, яка обмінюється з навколишнім середовищем речовиною і енергією. Існує поняття "квазістаціонарний режим функціонування ґрунту", тобто режим, що забезпечує підтримку й оновлення внутрішнього складу, будови і характеру зв'язків між компонентами в умовах коливання зовнішніх факторів. Функціонування системи зводиться до здійснення роботи за рахунок енергії, що підводиться [21]. Тому кількість реально доступних рослинам сполук елементів живлення в екстенсивно використовуваному орному ґрунті є величиною постійною, за уявної (позірної) їх динамічності. Будь-яка кількість елемента живлення (фосфору або калію), що надійшла ззовні в активній формі в раніше не удобрюваний ґрунт, обов'язково призведе до тимчасового зсуву його трофічного рівня в бік підвищення. Це явище пояснюється як низьким коефіцієнтом використання добрив сільськогосподарськими рослинами, так і тією обставиною, що кількість P_2O_5 або K_2O , взятих рослинами з природних запасів ґрунту (а це десятки або навіть сотні тонн у кореневмісному шарі), обов'язково самовідновиться:

рівновага в системі «тверда фаза–рідка фаза» неудобрених ґрунтів не може бути порушеною.

Так, якщо наприклад, внесено фосфору (P_2O_5) рослинами 15 кг/га, внесено з добривами 10 кг/га, а коефіцієнт використання добрив у перший рік становить 10 %, то спостерігається таке явище: рослини виносять (14 кг із ґрунту + 1 кг із добрив = 15 кг). Взяті з ґрунту 14 кг P_2O_5 відновляться, а 9 кг P_2O_5 добрив підуть на підвищення його фосфатного рівня. Більш детально теорію цього явища автор статті виклав у роботі [16].

Складнішим є вирішення проблеми досягнення розширеного відтворення родючості ґрунтів. Проблема полягає в тому, що багато дослідників підходять до вирішення завдання збереження родючості ґрунту занадто механістично, вважаючи, що розширене відтворення є можливим лише за додатного балансу елементів живлення в землеробстві. У цьому зв'язку питання досягнення розширеного відтворення родючості ґрунтів, як і питання визначення економічно обґрунтованого рівня балансу елементів живлення в землеробстві наразі, залишається відкритим.

Автор досить критично ставиться до балансового методу і вважає, що більшість поставлених завдань можна вирішити простішими і менш витратними способами. Так, наприклад, для визначення ступеню інтенсифікації землеробства інколи досить провести порівняння рівня застосування добрив (кг/га д. р.) в Україні і у, так званих, розвинутих країнах. Можливо, така оцінка буде менш точна, проте вона обійдеться набагато дешевше й одержати її можна набагато швидше. Втім, високою точністю балансовий метод ніколи і не характеризувався. Щоб у цьому переконатися достатньо порівняти між собою дані (щодо певного регіону), отримані різними науковими установами. Зрозуміло, що ця думка досить суб'єктивна і не претендує на статус кінцевої істини. Крім того, балансовий підхід дуже поширений у світовій практиці і, як будь-який метод пізнання, має свої позитивні і негативні сторони. По суті – це лише інструмент, яким треба навчитися правильно користуватися.

Інформація, здобута аналітичними і розрахунковими методами, дозволяє стверджувати, що завдання підвищення трофічного рівня ґрунтів України (стосовно фосфору і калію) на сучасному етапі є економічно нераціональним і не повинно бути самоціллю. Основні зусилля необхідно зосередити на проблемі розробки і впровадження прийомів і способів підвищення економічної віддачі від застосування добрив.

За даними М.В. Лісового та ін. [22], за період 2001-2003 рр. від'ємний баланс поживних речовин у ґрунтах України був таким: -48,3 кг/га азоту; -18,8 кг/га фосфору і -68,0 кг/га калію. При цьому автори вважають, що ґрунти важкого гранулометричного складу відносно добре забезпечені калієм, тому можна обмежитися внесенням 45-50 % K_2O від його виносу урожаєм. Для компенсації втрат потрібно щороку вносити на 1 га посівної площі з різними видами добрив не менше 70 кг – N, 25 кг – P_2O_5 і 35 кг – K_2O . Тобто, для рівноважного балансу поживних речовин у ґрунті мінімальна потреба добрив становить 130 кг/га. Проведені відділом агрохімії експертні розрахунки (з урахуванням впливу вище перелічених факторів, а також сучасних цін на промислові добрива) в цілому співпадають з нормами добрив, запропонованими М.В. Лісовим і ін. [22].

З урахуванням фактичного збільшення середнього врожаю сільськогосподарських культур протягом останніх років, пропонується базова модель економічно обґрунтованого рівня балансу елементів живлення в системі «добрива–ґрунт–рослина» для розширеного відтворення родючості ґрунтів України, яка відповідає нормі N90P30K35.

Норма K35 обґрунтована таким положенням. Твердження, що ґрунти важкого гранулометричного складу України відносно добре забезпечені калієм, досить спірне, оскільки було доведено, що оцінка калійного стану важких ґрунтів, через недосконалість методів хімічного аналізу, штучно завищена [23]. Проте, з огляду на те, що одним із факторів, який лімітує врожаї культур на даному етапі розвитку економіки країни, є недостатньо висока культура землеробства, а також певний дефіцит вологи (особливо в зоні Степу), реальна потреба в калії може бути тимчасово знижена. Тобто, в сучасних умовах існує не стільки агрохімічна, скільки економічна доцільність вносити з добривами близько 50 % калію від виносу з урожаєм культур, що відповідає близько 35 кг K_2O на гектар посівної площі.

На основі даних із польового дослідження, а також в результаті аналізу та узагальнення матеріалів агрохімічного обстеження ґрунтів України зроблено такий експертний прогноз – за норми внесення N90P30K35, середньозважений вміст рухомого фосфору в ґрунті буде зростати з інтенсивністю 0,15 мг P_2O_5 /100 г на рік, а рухомого калію – 0,12 мг K_2O /100 г на рік. У цих розрахунках припустили, що в умовах виробництва, внаслідок різних непродуктивних втрат, інтенсивність накопичення фосфору і калію в ґрунтах буде, в середньому, на 30 % нижче ніж у польових дослідженнях.

Отже, за систематичного застосування рекомендованої норми добрив (незважаючи на певний від'ємний баланс елементів живлення), буде спостерігатися повільне, але неухильне підвищення родючості ґрунтів. Вважаємо, що параметри цієї базової моделі удобрення сільськогосподарських культур мало залежать від типу ґрунту, але можуть корегуватися залежно від кліматичних умов, змін ціни на добрива, набору вирощуваних культур і рівня культури землеробства.

4. Висновки

1. Доведено, що за тривалого систематичного внесення мінеральних і органічних добрив, навіть в умовах від'ємного балансу поживних речовин, вміст рухомих сполук азоту, фосфору й калію в орному шарі ґрунту не тільки не знижується, але й має тенденцію до підвищення. Тобто, уявлення про суттєве погіршення трофічного стану ґрунтів в умовах від'ємний балансу поживних речовин, є дещо перебільшеними. У зв'язку з цим слід коректніше підходити до інтерпретації даних, одержаних методами балансових розрахунків.

2. Теоретично обґрунтовано, що за систематичного внесення навіть невеликих доз добрив, просте відтворення родючості ґрунтів досягається автоматично.

3. Запропоновано, базову модель економічно обґрунтованого (для сучасних умов) рівня балансу елементів живлення в системі «добрива–ґрунт–рослина» для розширеного відтворення родючості ґрунтів України.

Список використаних джерел

1. Magen H. Balanced Crop Nutrition: Fertilizing for Crop and Food Quality. *Turk J Agric For*. 2008. 32 P. 183-193. URL: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/119781>
2. Баланс елементів живлення у зерно-буряковій сівозміні залежно від системи удобрення / Я.П. Цвей, В.В. Іваніна, Ю.М. Цебро [та ін.]. *Вісник аграрної науки*. 2012. №1. С. 33-37. URL: https://agrovisnyk.com/oldpdf/visnyk_01_2012.pdf
3. Лісовий М.В., Карацуба О.В., Сліденко О.І. Динаміка балансу поживних речовин у землеробстві України. // Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвід. тематич. наук. Спеціальний випуск. Книга 2. Харків: Стіль-Іздат, 2018. С.185-186.
4. Балюк С.А., Медведев В.В. Чорнозем потребує більше мінеральних добрив. *Голос України* 01.03.2016. URL: <http://www.golos.com.ua/article/264888>.
5. Баланс гумусу і поживних речовин у ґрунтах України / А.С. Заришняк, С.А. Балюк, М.В. Лісовий, А.В. Комариста. *Вісник аграрної науки*. 2012. №1. С. 28-32.
6. Снакин В.В., Попов П.Д., Присяжная А.А., Хрисанов В.Р. Баланс питательных веществ в земледелии. Атлас почв РФ. Электронная версия Национального атласа почв Российской Федерации. 2011. URL: <https://soilatlas.ru/balans-pitatelnyh-veshchestv-v-zemledelii>.
7. Носко Б.С. Азотний режим ґрунтів і його трансформація в агроєкосистемах. Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського». Харків: КП «Міська друкарня», 2013. 130 с.
8. Носко Б.С. Фосфор у ґрунтах і землеробстві України. Харків: ФОП Бровин О.В., 2017. 476 с.
9. Носко Б.С. Антропогенна еволюція чорноземів. Харків: КП «Друкарня № 13», 2006. 240 с.
10. Прокошев В.В., Дерюгин И.П. Калий и калийные удобрения: практическое руководство. Москва: Ледум, 2000. 185 с.
11. Zarrabi M., Jalali M., Hajlouei Sh.M. Kinetics of non-exchangeable potassium release through malic acid and supplying power of some soils of lamadan province. *Iran. J. Agr. Sci*. 2007. V. 37. № 6. P. 1-4.
12. Zhou J.M., Huang P.M. Kinetics of potassium release from illite as influenced by different phosphates. *Geoderma*. 2007. V. 138. Iss. 3/4. P. 221-228. URL: <https://www.researchgate.net/publication/248167151>
13. Калийный режим чернозема типичного при его длительном сельскохозяйственном использовании в различных агроэкосистемах / В.И. Лазарев, Р.И. Лазарева, Б.С. Ильин, Н.Н. Боева]. *Агрохимия*. 2020. № 2. С. 14-19. URL: <https://sciencejournals.ru/view-issue/?j=agro&y=2020&v=0&n=2>
14. Довідник з агрохімічного та агроєкологічного стану ґрунтів України / За ред. Б. С. Носка, Б.С. Пристера, М.В. Лободи. Київ: Урожай, 1994. 334 с.
15. Носко Б.С. Использование метода моделирования фонов при изучении агрохимических свойств почв. *Агрохимия*. 1981. №1. С.122-127.
16. Христенко А.А. Теоретические и практические аспекты оценки состояния и динамики азотных, фосфатных и калийных систем почв. Харьков: ФЛП Бровин А.В., 2019. 180 с.
17. Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення: керівний нормативний документ / за ред. І.П. Яцука, С.А. Балюка. Вид. 2-е допов. Київ, 2019. 108 с.
18. Фрид А.С. Современное состояние моделирования в агрохимии. *Агрохимия*. 2004. № 1. С. 40-45.
19. Столяр В.М., Медведева Л.С. Баланс поживних речовин в землеробстві. Довідник з агрохімічного та агроєкологічного стану ґрунтів України. Київ: Урожай, 1994. С. 95-99.
20. Медведева Л.С. Баланс поживних речовин в землеробстві. Довідник працівника агрохімслужби. Київ: Урожай, 1991. С.41-48.
21. Трофимов С.Я., Седов С.Н. Функционирование почв в биогеоценозах: подходы к описанию и анализу. *Почвоведение*. 1997. № 6. С.770-778.
22. Лісовий М.В. Основні завдання агрохімічного забезпечення землеробства України. Агрохімія і ґрунтознавство: спец. випуск до VIII з'їзду УТГА. Житомир: Рута, 2010. Кн. I. С. 70-76.
23. Христенко А.А. Калийное состояние почв и эффективность удобрений. Харьков: ФЛП Бровин А.В., 2017. 120 с.

UDC 631.811

Theoretical problems of the methodology of balance assessment of the cycle of macroelements in the “fertilizer-soil-plant” system

A.O. Khristenko

NSC «Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N.Sokolovsky»,

Kharkiv, Ukraine

E-mail: Khristenko53@gmail.com

The strategy of activities aimed at achieving a deficit-free balance of nutrients in agriculture requires improvement, theoretical justification and determination of economic feasibility. The aim of the research is to improve the theoretical aspects of the balance assessment of the cycle of macroelements in the soil-plant system. The task was to identify new patterns of formation of the balance of nitrogen, phosphorus and potassium in the soil-plant system and to develop basic models of economically justified level of balance of nutrients. Applied materials and methods: results of long-term research in stationary field experiment; analysis, generalization and statistical data processing of stock and modern literature materials (partially combined in an electronic database); analysis and generalization of data of the agrochemical service of the country. Researched objects: main soils of Ukraine (object of direct research- typical heavy loam chernozem); models of economically justified level of balance of nutrients in the soil-plant system. It is found that with the systematic application of fertilizers (even under the conditions of a negative balance of nutrients) the content of mobile compounds of nitrogen, phosphorus and potassium in the soil tends to increase. This led the author to suggest that the idea of a significant deterioration of the trophic state of soils in a negative balance of nutrients is not theoretically sound and somewhat exaggerated. In this regard, the author recommends approaching the interpretation of the results of balance calculations with some caution. Mathematical models are developed and standards for the dynamics of phosphorus content in the soils of Ukraine depending on the rate of fertilizers and the duration of their application are calculated. It is established and theoretically substantiated that with systematic application of even small doses of fertilizers, simple reproduction of soil fertility is achieved automatically. A basic model of economically justified level of nutrient balance for extended reproduction of soil fertility is proposed. The parameters of the model may vary depending on climatic conditions, fertilizer prices, the set of crops grown and the level of agricultural culture.

Keywords: fertility reproduction; macroelements balance; mathematical modeling; soil; theoretical aspects.

Citing: Khristenko A.O. 2020. Theoretical problems of the methodology of balance assessment of the cycle of macroelements in the “fertilizer-soil-plant” system. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 90. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 47-56. (Ukr.). DOI: <https://doi.org/10.31073/acss90-05>.

УДК 631.8:551.583.13

Ефективність комбінування добрив із стресопротекторами та регуляторами росту для послаблення впливу абіотичних стресів на рослини

Є. Ю. Гладких

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

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 17.08.2020 Отримано після доопрацювання 13.09.2020 Затверджено до друку 15.09.2020 Доступно онлайн 05.11.2020	Питання підвищення стійкості до екстремальних факторів набуває все більшої значущості, зростає актуальність пошуку прийомів та способів зниження впливу абіотичних стресів (посух, високих температур, заморозків) на реалізацію адаптивного потенціалу сільськогосподарських культур. Для деяких несприятливих факторів досліджено антистресову активність окремо фітогормонів, мікроелементів, мікродобрив, втім, найбільшої ефективності можна досягти шляхом комбінування необхідних елементів живлення, гормонів і регуляторів росту в оптимальній нормі. Роботу виконано з метою встановлення ефективності комбінованого застосування добрив і препаратів стресопротекторної та рістрегулювальної дії, для послаблення наслідків абіотичних стресів. Однією із задач було визначення оптимальних доз та способів застосування препаратів. У лабораторному експерименті, за дією на проростання насіння (за показниками: схожість, енергія, дружність і швидкість проростання), визначили набір компонентів для комплексування в інтегрованих препаратах. В результаті створили два комплексних стресопротектори (набори окремих препаратів) для послаблення наслідків абіотичних стресів. Перший – СПн, призначено для обробки насіння перед посівом; до нього входять комплекс мікроелементів, триполіфосфат натрію, фітогормони та кремній, а також полісахарид природного походження ліпогенної композиції. Другий препарат – СПп, який призначено для підживлення вегетуючих рослин, містить ті самі компоненти, а також комплекс амінокислот L-конфігурації та макроелементи живлення у мінеральній формі. Дію комплексних препаратів на фоні мінерального удобрення ($N_{30}P_{30}K_{30}$) дослідили у двох дрібноділянкових дослідах на посівах ячменю. Найбільший вплив на урожай ячменю зафіксовано за комбінування мінеральних добрив із застосуванням передпосівної обробки насіння препаратом СПн у дозі 1 л/т та одноразового підживлення рослин протягом вегетації препаратом СПп у нормі 1,0 л/га або по 0,5 л/га двічі протягом вегетації.
Ключові слова: абіотичний стрес; мінеральне живлення; регулятори росту рослин; стресопротектори; фракційний склад води; хлорофіл.	

* E-mail: ye.hladkikh@ukr.net

Форма цитування: Гладких Є.Ю. Ефективність комбінування добрив із стресопротекторами та регуляторами росту для послаблення впливу абіотичних стресів на рослини. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 90. Харків: ННЦ «ІА ім. О.Н. Соколовського». 2020. С. 57-64. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss90-06>

1. Вступ

Обмежене водозабезпечення є одним з основних абіотичних факторів, що негативно впливають на вирощування сільськогосподарських культур у всьому світі. Стрес посухи впливає на фізіологічні особливості і ріст рослин багатьма способами. Це призводить до збільшення концентрації розчинених речовин у ґрунті навколо коренів (порівняно з внутрішнім середовищем кореня) і викликає зворотний осмос. Посуха пригнічує фотосинтез у рослинах через закриття продихів на поверхні листя, що зменшує інтенсивність транспірації й призводить до пошкодження апарату фотосинтезу та зменшення вмісту хлорофілу. Це порушує баланс між виробництвом активних форм кисню (АФК) і антиоксидантним захистом, що викликає накопичення АФК та окисдаційний стрес для білків, мембранних ліпідів та інших клітинних компонентів [1, 2]. Мінеральні елементи виконують численні функції в рослинах, включаючи підтримку структурних компонентів, активацію ферментів і забезпечення осмотикуму для тургору і росту [3]. За екстремальних змін погодних умов (посуха, високі температури) оптимізація кореневого живлення рослин шляхом внесення мінеральних добрив дозволяє суттєво розширити діапазон вмісту ґрунтової вологи, що доступна рослинам, і завдяки цьому збільшити водоспоживання посівів в умовах недостатнього зволоження, що забезпечує їхню високу продуктивність [4]. Однак, почастищення екстремальних погодно-кліматичних умов зумовили потребу в удосконаленні технології застосування мінеральних добрив, а саме у комбінуванні мінеральних добрив та препаратів рістстимулювальної та протекторної дії.

Термін «стрес» в даний час широко застосовується у фізіологічних та екологічних дослідженнях на різних рівнях організації живих систем. Теорія стресу була сформульована Гансом Сельє, і термін «стрес» (від англ. *stress* - напруга) фізіологією

рослин був запозичений у медичної науки [5]. На сьогодні у науковій літературі вживаються різні найменування стресів – кліматичний, водний, осмотичний, температурний і навіть екологічний. Досліджуючи формування адаптивних реакцій рослин вчені агрономи показали, що реакція рослини на стрес (стрес-реакція) виконує оперативний короткочасний захист рослинного організму від загибелі в несприятливих умовах [6], а також ініціює формування або мобілізацію механізмів спеціалізованої адаптації [7, 8].

Задля активізації росту рослин після негативного впливу на них будь-яких чинників використовується безліч різноманітних препаратів, які, головним чином, спрямовані на регуляцію та стимуляцію росту:

- гормональні регулятори росту рослин - природні та синтетичні. Ріст та розвиток рослин регулюється складною цілісною гормональною системою, збалансованість роботи якої досягається шляхом двосторонньої регуляції усіх процесів за допомогою як стимулювальних, так і пригнічувальних біологічно активних речовин (ауксини, цитокініни [9], гібереліни [10], етилен-похідні, брасиностероїди тощо) [11];

- багатокомпонентні поліфункціональні регулятори росту рослин. Серед препаратів вітчизняного виробництва можна назвати комплексні багатокомпонентні препарати-антистресанти виробництва компанії НВК «Квадрат», які містять у складі кремній, калій, гумінові речовини, групу амінокислот, мікро- та макроелементи, екстракт морських водоростей;

- мікроелементи. У підвищенні антистресової активності рослин все більшої значущості набувають питання застосування таких мікроелементів як цинк та молібден, що позитивно впливають на живлення рослин, зокрема азотне, в умовах гідротермічних стресів [12];

- гумінові речовини. Окрім ґрунтополіпшувальних властивостей гуматів особливу роль відіграє їхня рістстимулювальна та антистресова дія. Стимулятори гумінової природи здатні до імуностимулювальної та адаптогенної дії, нормалізують мінеральне живлення рослин, прискорюють надходження у тканини макро- та мікроелементів, стимулюють розвиток кореневої системи, ріст органів та підвищення продуктивності зернових колосових культур [13, 14].

Таким чином, рістстимулювальна та протекторна дія препаратів, що містять ультрамікроелементи та більш традиційні і розповсюджені у використанні мікро- і мезоеlementи, як кремній, цинк, молібден, а також гормональні препарати (фітогормони) знаходиться на стадії активного дослідження.

Метою досліджень є визначення ефективності комбінованого застосування мінеральних добрив та комплексних препаратів стресопротекторної (СП) дії, у послабленні впливу абіотичних стресів на сільськогосподарські рослини. Однією із задач є визначення оптимальних доз та способів застосування препаратів.

2. Матеріали та методи досліджень

Дослідження проводили в умовах лабораторного та двох дрібноділянкових польових дослідів.

Лабораторний дослід - оцінка впливу комплексного препарату стресопротекторної дії та його окремих компонентів на проростання насіння ячменю та кукурудзи за такими показниками: схожість; енергія; дружність; швидкість проростання. Завданням було розробити склад комплексного препарату, тобто, обрати окремі компоненти для комплексування. Дослідили такі потенційні складові: гетероауксин; солі мікроелементів $MnSO_4$ та $(NH_4)MoO_4$; силікат калію; ліпосам; триполіфосфат.

Хід виконання: у чашку Петрі (по 4 чашки на кожен варіант досліду) на змочений водою фільтрувальний папір викладали по 30 зерен, попередньо витриманих упродовж 8-10 годин у розчинах препаратів. На контрольному варіанті викладали насіння, замочене у дистильованій воді. Чашки тримали 7 діб в освітленій лабораторній шафі, де підтримували постійну температуру повітря (25°C) та контролювали вологість фільтрувального паперу. Схему дослідів і перелік препаратів показано в таблиці 1.

Дрібноділянкові досліді проведено у 2018 р. на чорноземі типовому важкосуглинковому на території ДП ДГ «Граківське» ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського» (Харківський р-н Харківської області). Характеристика ґрунту: pH_{KCl} – 5,3; вміст гумусу – 5,4 %; вміст рухомого фосфору і калію за Чириковим – 57 і 114 мг/кг відповідно. Погодні умови вегетаційного періоду в рік досліджень характеризувались невеликою кількістю опадів – сума опадів у квітні-вересні становила 131 мм, посухи констатовано у квітні-травні.

Схеми дрібноділянкових дослідів включають по 7 варіантів. Повторність досліду на території – шестиразова. Площа ділянки кожного варіанту - 4 м². Вирощували ячмінь ярий. У дослідях, на фоні мінерального удобрення або окремо, вивчали ефективність дії двох комплексних (полікомпонентних) стресопротекторних препаратів, виготовлених за результатами модельного лабораторного експерименту з проростками. Перший – СПн, призначено для обробки насіння перед посівом; до нього входить комплекс мікроелементів, триполіфосфат натрію, фітогормони та кремній, а також полісахарид природного походження ліпкогенної композиції. Другий препарат (СПп) призначено для підживлення – позакореневої обробки вегетуючих рослин. Стресопротектор у підживлення містить ті самі компоненти, а також комплекс амінокислот L-конфігурації та макроелементи живлення у мінеральній формі. Рослини обробляли перший раз у фазу кушіння і другий раз (на деяких варіантах) у фазу виходу в трубку – «прапорцевий лист».

У дрібноділянковому досліді №1 використовували обидва препарати (СПн і СПп), у досліді №2 – тільки для підживлення (СПп). В обох експериментах досліджували дію СПп у різних дозах (0,5; 1,0; 2,0 л/га і 0,5; 1,0; 2,0 л/т), а доза СПн завжди була однаковою (1,0 л/т).

Дрібноділянковий дослід № 1:

1. Контроль (агрохімічний фон N₃₀P₃₀K₃₀)
2. Фон + СПн, 1 л/т
3. Фон + СПп, 1 л/га
4. Фон + СПн, 1 л/т + СПп, 0,5 л/га
5. Фон + СПн, 1 л/т + СПп, по 0,5 л/га двічі за вегетацію
6. 1/2 Фону (N₁₅P₁₅K₁₅) + СПн, 1 л/т + СПп, 0,5 л/га
7. СПн, 1 л/т + СПп, по 0,5 л/га двічі за вегетацію

Дрібноділянковий дослід № 2:

1. Контроль (агрохімічний фон N₃₀P₃₀K₃₀)
2. Фон + СПп, 0,5 л/га
3. Фон + СПп, 1,0 л/га
4. Фон + СПп, 2,0 л/га
5. Фон + СПп, по 0,5 л/т двічі за вегетацію
6. Фон + СПп, по 1,0 л/т двічі за вегетацію
7. Фон + СПп, по 2,0 л/т двічі за вегетацію.

У фазу кушіння у рослинах ячменю визначали основні характеристики їх водного режиму – загальний вміст води, вміст вільної та зв'язаної води, за допомогою портативного рефрактометра (RHB 0-90(REF107,HT119). У фази кушіння та цвітіння визначено вміст хлорофілу у рослинах ячменю за допомогою N-тестеру (SPAD-502Plus). Вміст N, P, K у зерні та соломі ячменю встановлювали за методикою визначення загальних форм азоту, фосфору, калію в одній навазці рослинного матеріалу, описаній у MBV 31-497058-019-2005. Суть методу полягає в розкладі органічної речовини проби в присутності каталізатора киплячою сірчаною кислотою, що призводить до утворення солей амонію. У гідролізаті проводиться роздільне визначення азоту, фосфору, калію.

Обробку експериментальних даних виконано з використанням програми STATISTICA 10.

3. Результати досліджень та їх обговорення

3.1. Вплив стресопротекторів та регуляторів росту на проростання насіння

У науковій літературі достатньо добре висвітлено дослідження антистресових заходів для посилення спротиву рослин несприятливим факторам, як тривала посуха чи високі температури; встановлено дію окремо кожного з препаратів рістстимулювальної або стресопротекторної дії, таких як фітогормони, макро- та мікродобрива і амінокислоти, які можуть бути включені, на різних етапах онтогенезу рослин, у систему їх удобрення [15-19]. Однак, максимальне поєднання позитивної дії регуляторів росту, стрес-протекторів та мікродобрив, а також визначення головних позицій технології їх застосування у сільськогосподарському виробництві (дозування, строки та способи застосування, переваги комплексної дії) є важливим питанням, вирішення якого стане одним з механізмів оптимізації системи удобрення та регулювання живлення рослин в умовах почастішання дії абіотичних стресів.

Останніми роками, з метою підвищення ефективності та розширення сфери впливу на рослину, все частіше створюють та застосовують препарати, що містять не одну діючу речовину, а цілий комплекс хімічних речовин або біологічних компонентів. Тому, ми вирішили

спробувати розробити склад комплексного препарату та перевірити ефективність його застосування для передпосівної обробки насіння (інкрустації) спочатку у лабораторних дослідженнях. Для цього використовували окремі складові компоненти препарату і комплексний препарат. До складових компонентів увійшли: гетероауксин; солі мікроелементів $MnSO_4$ та $(NH_4)MoO_4$; силікат калію; ліпосам; триполіфосфат. Результати експерименту свідчать про помітний ефект від застосування компонентів препарату, що позначився на показниках проростання насіння ячменю та кукурудзи (Табл. 1).

Таблиця 1

Показники проростання насіння, обробленого розчинами препаратів стресопротекторної дії (лабораторний дослід)

Варіант досліджу	Схожість, %	Енергія проростання, %	Дружність проростання, %	Довжина корінців, см
<i>Ячмінь</i>				
Контроль (без обробки)	32,5	30,0	4,6	4,8
Гетероауксин	50,8	43,3	7,3	4,9
Силікат калію	52,5	45,0	7,5	5,3
Ліпосам+солі мікроелементів	45,8	35,0	6,5	6,3
СПн - полікомпонентний препарат (стресопротектор на насіння)	50,0	47,5	7,1	6,5
<i>Кукурудза</i>				
Контроль (без обробки)	77,5	75,8	11,1	9,5
Гетероауксин	79,2	71,7	11,3	10,0
Силікат калію	80,8	74,3	11,5	9,7
Ліпосам+солі мікроелементів	84,2	69,2	12,0	11,0
СПн - полікомпонентний препарат (стресопротектор на насіння)	85,8	80,0	12,3	9,8

Виходячи з результатів лабораторного експерименту з проростанням насіння розроблено склад полікомпонентного препарату з найбільш дієвих компонентів у концентраціях, що дали найбільший позитивний вплив на проростки.

3.2. Ефективність стресопротекторів у польових умовах

Подальші дослідження ґрунтувались на визначенні ефективності застосування багатокомпонентних препаратів стрес-протекторів для обробки насіння та для підживлення рослин у ході вегетації в умовах польових дрібноділянкових дослідів. До складу *Препарату на насіння* (СПн) входять комплекс мікроелементів, триполіфосфат натрію, фітогормони та кремній, а також полісахарид природного походження ліпкогенної композиції. *Препарат у підживлення* (СПп) було доповнено, окрім вже перерахованого, комплексом амінокислот L-конфігурації та макроелементами живлення у мінеральній формі. Будь-яких спеціальних стресових умов для рослин протягом вегетації не створювали. Завданням було визначити оптимальні дози та способи внесення препаратів стресопротекторів у комплексі з мінеральними добривами у природних польових умовах, за тих погодних показників, що складаються протягом вегетації рослин.

Обробка насіння і позакореневе підживлення ячменю ярого протягом вегетації розробленими препаратами у різних комбінаціях дали загалом позитивний ефект (Табл. 2). На всіх досліджуваних варіантах дрібноділянкового досліді №1 отримано приріст (відносно контрольного варіанту) як загального біологічного урожаю (зерно + соломка) в межах 63,6 - 22,6 % (або 14,3 - 5,1 ц/га), так і врожаю зерна в межах 45,4 - 1,8 % (або 3,0 - 0,1 ц/га). Однак, істотну прибавку урожаю зерна (3,0 ц/га) констатовано лише для варіанту з передпосівною обробкою насіння препаратом СПн у дозі 1 л/т (варіант 2).

Крім збільшення врожаю ефективність розроблених препаратів виявлено й відносно засвоєння рослинами ячменю поживних елементів із мінеральних добрив, внесених перед посівом. Найвищі коефіцієнти використання рослинами із добрив азоту, фосфору та калію зафіксовано на тому самому варіанті (№2), де й максимальну врожайність зерна ячменю (Рис. 1), а саме за передпосівної обробки насіння препаратом СПн у дозі 1 л/т.

Таблиця 2

Прирости урожаю ячменю ярого від застосування препаратів стресопротекторної дії на фоні удобрення (дрібnodілянковий дослід №1)

Варіант	Приріст урожаю відносно контрольного варіанту			
	Зерно + солома		Зерно	
	%	ц/га	%	ц/га
2. Фон + СПн, 1 л/т	63,6	14,3	45,4	3,0
3. Фон + СПп, 1 л/га	22,6	5,1	11,3	0,7
4. Фон + СПн, 1 л/т + СПп, 0,5 л/га	34,9	7,9	1,8	0,1
5. Фон + СПн, 1 л/т + СПп, по 0,5 л/га двічі за вегетацію	35,9	8,1	8,7	0,6
6. 1/2 Фону (N ₁₅ P ₁₅ K ₁₅) + СПн, 1 л/т + СПп, 0,5 л/га	39,0	8,8	9,0	0,6
7. СПн, 1 л/т + СПп, по 0,5 л/га двічі за вегетацію	23,8	5,4	3,8	0,3
НІР ₀₅		6,94		1,68

Примітка: Контрольний варіант - агрохімічний фон N₃₀P₃₀K₃₀; СПн – полікомпонентний стресопротекторний препарат для обробки насіння; СПп – для підживлення

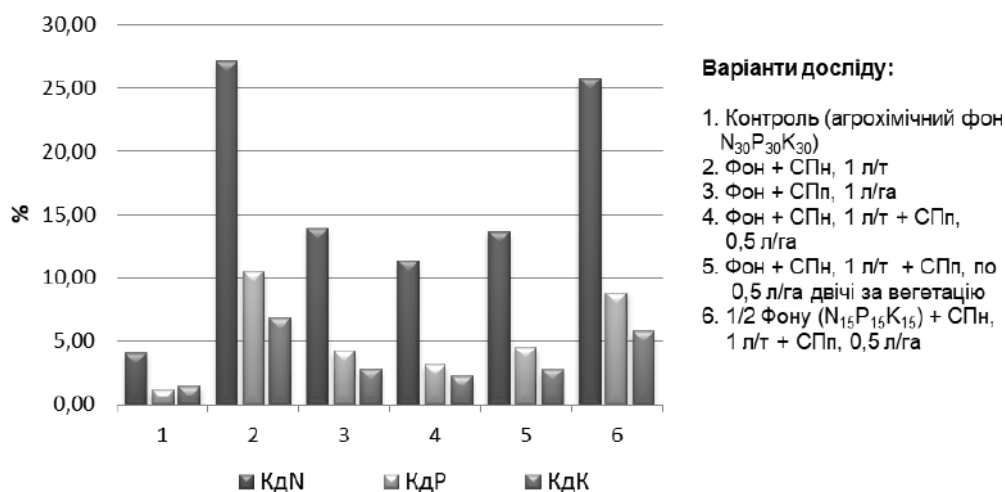


Рис. 1. Коефіцієнти використання елементів живлення (азоту, фосфору, калію) з добрив на варіантах дрібноділянкового дослід №1 із застосуванням препаратів стресопротекторної дії

У дрібноділянковому досліді №2 визначено, що оптимальною нормою позакореневого підживлення рослин ячменю «Стресопротектором у підживлення» (СПп) є 1,0 л/га у фазу куціння (варіант 3) або по 0,5 л/га двічі протягом вегетації (у фазі куціння та виходу в трубку – прапорцевий лист) (варіант 5). Істотні прирости врожаю зерна ячменю (відносно контролю) констатовано саме на цих варіантах – 36,3 % (або 2,9 ц/га) та 21,3 % (або 1,7 ц/га) відповідно (Табл. 3).

Таким чином, комбіноване внесення мінеральних добрив та полікомпонентного препарату стресопротектору, спрямоване загалом на адаптацію рослин до стресових умов, зокрема до весняної посухи, дає можливість впливати на урожайність рослин, коригуючи їхні фізіологічні реакції антиоксидантного захисту. Невеликі норми витрат препаратів як для передпосівної обробки насіння, так і для позакореневого підживлення вегетуючих рослин, у більшості випадків повна екологічна безпека, багатоспрямованість дії визначають високу перспективність їх широкого використання у сучасних агротехнологіях.

Здобуті нами результати підтверджують опубліковані дані інших дослідників, отримані у польових та виробничих умовах, де доведено можливість додаткового підвищення урожайності зернових культур на 2-4 ц/га за дворазового застосування різних препаратів адаптаційної дії [20], підвищення посухостійкості рослин на 10-60 % та підвищення урожайності пшениці озимої на 15-22 % і ячменю ярого – на 50-73 % [21].

Таблиця 3

Прирости урожаю зерна ячменю ярого від застосування різних доз препаратів стресопротекторної дії у підживлення (дрібноділянковий дослід №2)

Варіант	Приріст урожаю зерна відносно контрольного варіанту	
	%	ц/га
2. Фон + СПп, 0,5 л/га	16,7	1,3
3. Фон + СПп, 1 л/га	36,3	2,9
4. Фон + СПп, 2 л/га	17,1	1,4
5. Фон + СПп, по 0,5 л/т двічі за вегетацію	21,3	1,7
6. Фон + СПп, по 1,0 л/т двічі за вегетацію	18,8	1,5
7. Фон + СПп, по 2,0 л/т двічі за вегетацію	12,3	1,0
НІР ₀₅	-	1,45

Примітка: Контрольний варіант - агрохімічний фон N₃₀P₃₀K₃₀; СПп – полікомпонентний стресопротекторний препарат для підживлення рослин

3.3. Фізіологічні зміни рослин, зумовлені дією стресопротекторів

Однією з умов, що визначають інтенсивність та направленість фізіологічних процесів у рослинах, їх толерантність до змін зовнішнього середовища, є ступінь забезпеченості водою та її стан у тканинах рослин. Стан води у клітині визначається рядом показників, серед яких – вміст її вільної та зв'язаної фракцій. Їх співвідношення залежить від видових особливостей, віку, сезону, часу доби, умов мінерального живлення.

Вільна вода у звичайних умовах становить 60-90 % від загального запасу води у клітині рослини. Вона рухома, має практично усі фізико-хімічні властивості чистої води, добре проникає через клітинні мембрани, вступає у різноманітні біохімічні реакції, випаровується у процесі транспірації та замерзає за низьких температур. За несприятливих умов вміст вільної води у листях знижується і одночасно збільшується частка зв'язаної. Зв'язування молекул води зменшує їх енергію, що призводить до зниження інтенсивності фізіологічних процесів і темпів росту рослин, зменшення водовіддачі та збереження водного гомеостазу [22].

Зв'язана вода підтримує структуру колоїдів та забезпечує функціонування ферментів, органолідів та клітини в цілому. Вона малорухома, не бере участі у розчиненні та транспорті речовин, відрізняється пониженою температурою замерзання і більш високою температурою кипіння порівняно із вільною водою. Частка зв'язаної води у клітині може досягати 40 %. Між вмістом зв'язаної води та стійкістю рослин до стресів існує пряма кореляційна залежність [23].

Дані обліку врожаю підтверджуються результатами визначення основних характеристик водного режиму рослин ячменю ярого та вмісту хлорофілу у рослинах протягом вегетації. Передпосівна обробка насіння «Препаратом на насіння» (СПп) у дозі 1 л/т на фоні передпосівного удобрення (N₃₀P₃₀K₃₀) сприяє збільшенню частки зв'язаної води у загальному вмісті води у тканинах рослин на 1,2-3,1 % вище ніж на інших варіантах (до рівня 20,3 %), що підтримує структуру колоїдів та забезпечує функціонування як ферментної системи, так і клітини загалом. Завдяки цьому досягається значне збільшення вмісту хлорофілу у листках рослин ячменю на 1,1 - 6,7 одиниці (Табл. 4).

Вміст хлорофілу в рослинах є важливим фізіологічним параметром, який характеризує потенційну потужність фотосинтетичного апарату. Загалом інтенсивність фотосинтезу для рослин в умовах посухи грає важливу роль. Вже встановлено, що зміни температурного та водного режимів листка, які відбуваються під час атмосферної та ґрунтової посухи, призводять до порушення тонкої структури хлоропластів, конфігурації макромолекул білку, ступеню агрегації пігментів, адсорбованих білком. Ці зміни знижують інтенсивність фотосинтетичного метаболізму вуглецю. Під дією посухи змінюється кількісний та якісний склад зелених пігментів. Відомо, що у рослинних організмах вміст хлорофілу є чутливим індикатором інтенсивності фотосинтезу та одним з найважливіших показників, які визначають кількість та якість урожаю, що є особливо показовим за дії різноманітних чинників стану рослини, зокрема абіотичних та біотичних факторів [24].

З фотосинтезом пов'язані найважливіші процеси життєдіяльності рослин, насамперед – мінеральне живлення. Питання впливу умов мінерального живлення на вміст хлорофілу в рослинах у літературі добре висвітлене, де показано на прикладі багатьох культур, що використання біопрепаратів позитивно відбивається на вмісті

хлорофілу в листках, інтенсифікує фотосинтетичну активність [25]. Виявлено, що за ґрунтової посухи, з наростанням дефіциту води вміст хлорофілу в усіх досліджуваних сортах пшениці знижувався на 13-15 % [26, 27].

Таблиця 4

Фракційний склад води та вміст хлорофілу у тканинах рослин ячменю ярого у фазу кушіння

Варіант досліджу	Загальний вміст води, %	Вміст окремих фракцій води, %			Вміст хлорофілу у тканинах рослин, одиниці
		вільна вода	зв'язана вода	частка зв'язаної води	
Контроль (фон - N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀)	64,4	53,3	11,1	17,3	42,75
Фон + СПн, 1 л/т	67,9	54,0	13,8	20,3	49,51
1/2 Фону + СПн, 1 л/т + СПп 0,5 л/га	68,5	56,0	12,5	18,3	48,42
СПн, 1 л/т + СПп, по 0,5 л/га двічі за вегетацію	68,1	55,1	13,0	19,1	44,52

Примітка: СПн – полікомпонентний стресопротекторний препарат для обробки насіння; СПп – для підживлення

Отже, наші висновки щодо поліпшення дії фотосинтетичного апарату рослини завдяки застосуванню полікомпонентних препаратів антистресантів цілком логічні і підвищення вмісту хлорофілу у рослинах, порівняно з контрольним варіантом, є закономірним відгуком рослини на поліпшення водних характеристик у їхніх тканинах та посилення функціонування системи ферментів антиоксидантного захисту.

4. Висновки

Результати досліджень показали, що найбільш ефективним прийомом комбінованого застосування добрив (N₃₀P₃₀K₃₀) та полікомпонентного препарату стресопротекторної дії виявилася передпосівна обробка насіння «Стресопротектором на насіння» (СПн) у дозі 1 л/т, чим обумовлено 45,4 % (або 3,0 ц/га) приросту урожаю зерна ячменю відносно контролю.

Оптимальною дозою позакореневої (листової) обробки рослин ячменю протягом вегетації «Стресопротектором у підживлення» (СПп) (на фоні мінерального удобрення) є 1,0 л/га у фазу кушіння або по 0,5 л/га двічі протягом вегетації (у фази кушіння та виходу в трубку – прапорцевий лист). Істотні прирости врожаю зерна ячменю – 36,3 % (або 2,9 ц/га) та 21,3 % (або 1,7 ц/га) відповідно, здобуто саме на цих варіантах.

Перелік використаних джерел

1. Waraich E.A., Ahmad R., Ullah S., Ashraf M.Ya., Ehsanullah. Role of mineral nutrition in alleviation of drought stress in plants. *Australian Journal of Crop Science*. 2011; 5 (6). :764-777 URL: https://www.researchgate.net/publication/236119726_Role_of_mineral_nutrition_in_alleviation_of_drought_stress_in_plants.
2. Жук О.І. Формування адаптивної відповіді рослин на дефіцит води. *Фізіологія і біохімія культ. рослин*. 2011. 43(1). С. 26-37.
3. Kudoyarova G.R., Dodd I.C., Veselov D.S., Rothwell S.A., Veselov S.Yu. Common and specific responses to availability of mineral nutrients and water. *J. Exp Bot.* 2015. Apr; 66(8). P. 2133–2144. DOI: 10.1093/jxb/erv017.
4. IAEA (International Atomic Energy Agency). Nutrient and water management practices for increasing crop production in rainfed arid/semi-arid areas. IAEATECDOC-1468. IAEA, Vienna, Austria. 2005. 120 p. URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_1468_web.pdf.
5. Selye H.A Syndrome produced by diverse noxious agent. *Nature*. 1936. 138. P. 32. DOI: <https://doi.org/10.1038/138032a0>
6. Колупаев Ю.Е., Карпец Ю.В. Формирование адаптивных реакций растений на действие абиотических стрессоров. Киев: Основа, 2010. 352 с.
7. Колупаев Ю.Е., Горелова Е.И., Ястреб Т.О. Механизмы адаптации растений к гипотермии: роль антиоксидантной системы. *Вісник ХНАУ. Біологія*. 2018. №1. С. 6-33.
8. Пятагин С.С. Стресс у растений: физиологический подход. *Журн. общей биологии*. 2008. Т. 69, № 4. С. 294-295.
9. Веденичова Н.П., Косаківська І.В. Цитокиніни як регулятори онтогенезу рослин за різних умов зростання. Київ: Наш формат, 2017. 200 с.
10. Кушнір О.В., Кур'ята В.Г. Фізіологічні основи застосування фітогормонів та антигіберелінових препаратів в рослинництві. *Сучасні проблеми біологічної науки та методики її викладання у закладах вищої освіти*. 2018. С. 244-261.
11. Кефели В.И., Власов П.В., Прусакова Л.Д. Природные и синтетические регуляторы онтогенеза растений. Москва: ВИНТИ. сер. физиол. раст., 1990. Т. 7. 157 с.
12. Полянчиков С., Капітанська О. Ринок біостимуляторів: перспективи для розвитку в Україні. 2018. Електронне посилання: <http://infoindustria.com.ua/rinok-biostimulyatoriv-perspektivi-dlya-rozvitku-v-ukrayini/>

13. Попов А.И. Гуминовые вещества, свойства, строение, образование. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2004. 248 с.
14. Сергієнко В. Рістрегулюючий та захисний ефект гумінових речовин. *Агробізнес Сьогодні*. 2018. Електронне посилання: <https://tdnasinnya.com/uk/statist/inshi/140-ristregulyuyuchij-ta-zaxisnij-efekt-guminovix-rechovin>
15. The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants / Van Oosten M.J., Pepe O., De Pascale S. [et al.] // *Chem. Biol. Technol. Agric.* 2017. 4: 5. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40538-017-0089-5org>
16. Вихрева В.А., Лебедева Т.Б., Надежкина Е.В. Применение антистрессовых препаратов при гербицидной обработке посевов ярового ячменя. *Агрохимия*. 2011. № 5. С. 46-53. URL: <http://naukarus.com/primenenie-antistressovyh-preparatov-pri-gerbitsidnoy-obrabotke-posevov-yarovogo-yachmenya>
17. A Method for a Fast Evaluation of the Biostimulant Potential of Different Natural Extracts for Promoting Growth or Tolerance against Abiotic Stress / R. Saporta, C. Bou, V. Frías [et al.]. *Agronomy*. 2019. № 9. P. 143. DOI: 10.3390/agronomy9030143.
18. Осипова Л.В., Курносоев Т.Л., Быковская И.А. Повышение адаптивного потенциала ячменя ярового (*Hordeum Vulgare* L.) при действии абиотического стресса. *Проблемы агрохимии и экологии*. 2016. 3. С. 48-51. URL: <http://agropproblem.soil.msu.ru/index.php/content/10-uncategorised/nomer/statya/86-2016-3-48>
19. Колупаев Ю.Е., Ястреб Т.О., Луговая А.А. Роль жасмонатов в адаптации растений к действию абиотических стрессов. *Физиология растений и генетика*. 2016. 48 (2). С. 95-111. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&S21P03=FILA=&S21STR=FBKR_2016_48_2_3
20. Гринченко А.Л. Ретарданты роста в мировом растениеводстве (технические и декоративные культуры). Москва. 1981. 92 с.
21. Сорокин А., Евдокимов Н., Цевденова А. Эффективность биопрепарата Энергия М в условиях острой засухи. *Главный агроном*. 2017. 1. С. 12-15.
22. Жолкевич В.Н. Водный обмен растений. Москва: Наука. 1989. 256 с.
23. Галашева А.М., Красова Н.Г., Янчук Т.В. Фракционный состав воды в листьях у сортов яблони (*Malus Mill*). *Сортівивчення та охорона прав на сорти рослин*. 2013. 1(18). С. 18-21.
24. Jasmonic acid enhancement of anthocyanin accumulation is dependent on phytochrome A signaling pathway under far-red light in *Arabidopsis* / Li T., Jia K.P., Lian H.L. [et al.]. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 2014; 454: 78-83. DOI: 10.1016/j.bbrc.2014.10.059
25. The relations between antioxidant enzymes and chlorophyll fluorescence parameters in common bean cultivars differing in sensitivity to drought stress / Saglam A., Saruhan N., Terzi R., Kadroglu. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2011. 58(1). P. 60-68.
26. Кожухар Т.В., Кохан С.С., Кириченко О.В. Вплив передпосівної обробки насіння біологічними композиціями і мінерального удобрення на вміст хлорофілу в листках пшениці озимої. *Біоресурси і природокористування*. 2010; 2 (1/2): 49-54.
27. Влияние засухи на содержание хлорофилла и активность ферментов антиоксидантной системы в листьях трех сортов пшеницы, различающихся по продуктивности / М.К. Николаева, С.Н. Маевская, А.Г. Шугаев, Н.Г. Бухов. *Физиология растений*. 2010; 57(1). С. 94-102.

UDC 631.8:551.583.13

The effectiveness of combining fertilizers with stress protectors and growth regulators to reduce the impact of abiotic stress on plants

Ye. Yu. Hladkikh

National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky",
Kharkiv, Ukraine
E-mail: ye.hladkikh@ukr.net

The issue of increasing resistance to extreme factors is becoming increasingly important; the relevance of the search for methods and ways to reduce the impact of abiotic stresses (droughts, high temperatures, frosts) on the implementation of the adaptive potential of agricultural crops is growing. For some unfavorable factors, the antistress activity of phytohormones, microelements and micronutrients was investigated; however, the greatest efficiency can be achieved through the combination of the necessary nutrients, hormones and growth regulators in an optimal rate. The aim of the work was establishing the effectiveness of the combined application of fertilizers, stress protectors and plant growth regulators to mitigate the effects of abiotic stresses. One of the tasks was to determine the optimal doses and methods of applying stress protectors. In a laboratory experiment, the effect on seed germination (by indications: sprouting, energy friendliness and germination rate), identified a set of components for complexing in the integrated products. As a result, we created two complex stress-protective fertilizers (sets of separate preparations) to mitigate the effects of abiotic stresses. The first one - SPs, is intended for seed treatment before sowing; it includes a complex of trace elements, sodium tripolyphosphate, phytohormones and silicon, as well as a naturally occurring polysaccharide lipogenic composition. The second preparation - SPf, intended for foliar fertilizing plants, contains the same components, as well as a complex of L-configuration amino acids and macronutrients in mineral form. The effect of complex preparations against the background of mineral fertilization ($N_{30}P_{30}K_{30}$) was investigated in two small-plot experiments on barley crops. The greatest effect on the barley yield was recorded when combining mineral fertilizers with the use of pre-sowing seed treatment with SPs at a rate of 1 l/t and a one-time foliar fertilizing plants during the growing season with SPf at a rate of 1.0 l/ha or 0.5 l/ha twice during vegetation.

Keywords: abiotic stress; fractional composition of water; mineral nutrition; plant growth regulators; stress protectors; chlorophyll.

Citing: Hladkikh Ye.Yu. 2020. The effectiveness of combining fertilizers with stress protectors and growth regulators to reduce the impact of abiotic stress on plants. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 90. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 57-64. (Ukr.). DOI: <https://doi.org/10.31073/acss90-06>.

ГРУНТ І ПЕСТИЦИДИ SOIL and PESTICIDES

УДК: 631.427

Динаміка чисельності мікрофлори і біохімічної активності чорнозему типового за застосування комплексу пестицидів

О. Є. Найдюнова

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

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 25.08.2020 Отримано після доопрацювання 07.09.2020 Затверджено до видання 15.09.2020 Доступно онлайн 05.11.2020	У стаціонарному польовому досліді протягом вегетаційного періоду 2019 р. досліджено динаміку параметрів мікробіологічних та біохімічних показників чорнозему типового важкосуглинкового на ділянках, оброблених комплексом пестицидів, порівняно з контрольними, необробленими ділянками. Оцінено стан мікробних угруповань у ґрунті під пшеницею озимую за одноразового та під кукурудзою за одно- і дворазового застосування сумішей декількох сучасних гербіцидів, фунгіцидів та інсектицидів. Стан мікрофлори контролювали тричі за вегетаційний період за параметрами чисельності мікроорганізмів різних еколого-функціональних і таксономічних груп, ферментативної активності ґрунту та інтегрованих біологічних показників. Спочатку, через 1 і 4 доби після застосування пестицидів, чисельність мікроорганізмів і активність ферментів зростали, але згодом (через 3 тижні) відбувалося зниження значень показників відносно необробленого пестицидами ґрунту – чисельність мікрофлори під пшеницею знизилася у середньому на 28 %, а під кукурудзою, яку за тиждень до другого відбору проб обробили сумішшю пестицидів другий раз, – на 63 %. Через п'ять місяців після одноразового застосування комплексу пестицидів на посівах пшениці озимої значення чисельності мікроорганізмів окремих груп у ґрунті були вдвічі, а деякі і втричі меншими за відповідні значення у контрольному варіанті. З посиленням пестицидного навантаження (збільшенням кратності обробок) ступінь пригніченості мікрофлори зростає. Після двох обробок посівів кукурудзи чисельність мікрофлори й активність ферментів у ґрунті були значно нижчими порівняно з контролем, ступінь зниження був більшим, ніж за одноразової обробки пшениці. З часом відбувалося поступове відновлення біологічних властивостей ґрунту, але навіть через п'ять місяців після двох обробок посівів кукурудзи пестицидами чисельність мікрофлори залишалася значно нижчою порівняно з контролем. Наприкінці вегетації обох культур біологічні властивості чорнозему типового не досягли рівня аналогічного ґрунту без застосування пестицидів.
Ключові слова: ґрунт; мікробні угруповання; пестициди; ферментативна активність ґрунту	

E-mail: oksana_naydyonova@ukr.net

Форма цитування: Найдюнова О.Є. Динаміка чисельності мікрофлори і біохімічної активності чорнозему типового за застосування комплексу пестицидів. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 90. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2020. С. 65-75. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss90-07>

1. Вступ

Хімічні засоби захисту рослин є одним з найбільш потужних факторів антропогенного впливу на структуру і функціонування мікробних угруповань ґрунту. Проте у світовій та вітчизняній сільськогосподарській практиці пестициди залишаються основним засобом боротьби з бур'янами, хворобами та шкідниками рослин. Найбільш поширеним є застосування гербіцидів, фунгіцидів та інсектицидів. Хімічний метод ще тривалий час буде домінувати в системі інтегрованого захисту рослин у сільському господарстві з огляду на відсутність або недостатню популярність ефективних альтернативних методів [1]. Пестициди є постійно діючим фактором в агроєкосистемах, тому зростає небезпека забруднення ними ґрунту та інших компонентів навколишнього середовища, отже в Україні проблема забруднення земель сільськогосподарського призначення залишковими кількостями пестицидів залишається актуальною.

У зв'язку з ратифікацією Стокгольмської конвенції ООН про стійкі органічні забруднювачі, в Україні нині не застосовуються заборонені для використання найбільш небезпечні хлорорганічні пестициди. Але в Україні проблема забруднення ґрунтів залишковими кількостями пестицидів пов'язана з випадками порушення технологій їх застосування і перевищення рекомендованих норм.

У науковій літературі існують численні дані стосовно впливу застосування різних пестицидів на мікробні угруповання і біологічну активність ґрунту. Проте кількість засобів

захисту рослин, які використовують на теперішній час, є надто великою, до того ж, на ринку засобів захисту рослин постійно з'являються нові препарати.

Зі зростанням інтенсивності використання пестицидів у сучасному сільському господарстві питання впливу цих хімічних речовин на склад ґрунтових мікроорганізмів та перебіг процесів, які вони забезпечують, привертають усе більшу увагу [2 – 4]. Потрапляючи в ґрунт, пестициди поступово трансформуються в інші сполуки. Саме мікроорганізми здійснюють процес їх руйнування. На теперішній час вивчено процеси біодеструкції багатьох пестицидів мікроорганізмами ґрунту. Виявлено, що при розкладанні ряду пестицидів утворюються стабільні продукти деградації, причому деякі з них є більш токсичними, ніж вихідні пестициди [5]. Ці проміжні продукти можуть накопичуватися у ґрунтах, особливо за систематичного застосування, і негативно впливати на ґрунтову мікрофлору і перебіг біохімічних процесів. За хімічним складом пестициди відносяться до різних класів хімічних сполук, тому їх доля і вплив на біологічні властивості різних ґрунтів теж відрізняються і залежать від хімічної природи, доз, систематичності застосування, ґрунтово-кліматичних умов, тощо [6].

Проблема взаємодії ґрунтових мікробних ценозів з пестицидами має два аспекти: вплив пестицидів на мікрофлору і біодеструкція пестицидів під впливом ґрунтових мікроорганізмів. Обидві сторони проблеми поки що далекі від вичерпних оцінок. Мікробні ценози ґрунтів за дії пестицидів або проявляють стійкість до них, або змінюють свою структуру і характер функціонування, що може негативно відбитися на родючості ґрунту. Питання впливу сучасних пестицидів на мікробні угруповання ґрунту і їх стійкості до токсичної дії засобів захисту рослин залишаються мало дослідженими. Визначення впливу пестицидного навантаження на мікроорганізми ґрунту дозволить виявити найбільш небезпечні пестициди та їхні комбінації, які можуть негативно впливати на якість ґрунтів і сільськогосподарської продукції. Накопичення даних про вплив різних за хімічним складом пестицидів на мікробні угруповання і біохімічну активність ґрунтів допоможе дослідникам прогнозувати напрям впливу певних пестицидів на біологічні властивості тих чи інших ґрунтів, передбачати їх наслідки, визначати шляхи ремедіації ґрунтів, забруднених пестицидами.

Також актуальним є питання визначення найбільш токсичних пестицидів з метою подальшої заборони або обмеження їх застосування або заміни на нові, менш токсичні і персистентні засоби. Аналіз існуючої наукової літератури показав, що переважна більшість дослідників вбачають токсичну дію пестицидів на ґрунтові мікроорганізми у зменшенні їх чисельності і пригніченні їхньої біохімічної активності [7 – 15]. В деяких роботах також відмічається, що хімічно синтезовані пестициди чинять мутагенну дію на мікроорганізми ґрунту [11, 16, 17].

Проте існують і інші відомості стосовно впливу пестицидів на мікрофлору ґрунту. За одними даними, пестициди, зокрема гербіциди, суттєво не впливають на ґрунтові мікроорганізми, за іншими – їх вплив є істотним. Така розбіжність висновків обумовлена тим, що доля пестицидів у ґрунтах залежить від сполучення багатьох факторів, зокрема, типу ґрунту, його вологості, температурних умов та інших.

Серед пестицидів гербіциди є найбільш рухомими у ґрунтах, крім того, їх, переважно, вносять безпосередньо у ґрунт, що зумовлює найбільшу небезпеку стосовно його забруднення [18]. Тому важливим та актуальним є питання оцінювання ступеня небезпеки впливу гербіцидів на функціонування мікрофлори ґрунту та пошук шляхів щодо його мінімізації [13]. Мікроорганізми ґрунту не лише першими реагують на потрапляння пестицидів, вони також відіграють провідну роль у їх перетворенні й розкладі [18 – 21]. Одним з відомих із літературних джерел проявів деградації за застосування певних видів пестицидів є швидка дегуміфікація ґрунту внаслідок зростання чисельності нокардієподібних бактерій, які беруть участь у розкладанні гумусових сполук, спричинюючи зниження якості органічної речовини ґрунту [3, 5].

У сільськогосподарському виробництві за вегетаційний період вирощування будь-якої культури зазвичай, використовують цілий комплекс пестицидів різного призначення – гербіциди, фунгіциди, інсектициди, десиканти. До того ж, кратність обробок рідко буває меншою, ніж 2 – 3. Наслідком цього є кумулятивний вплив застосованих пестицидів на ґрунтову мікрофлору і біологічні процеси.

Не менш актуальними залишаються також дослідження здатності ґрунтових мікроорганізмів відновлювати чисельність і свої функції після застосування пестицидів. Аналіз наявної у відкритому доступі наукової літератури щодо впливу пестицидів на мікробні ценози ґрунтів, біохімічні реакції, що протікають у ґрунтах і активність ґрунтових ферментів показав велику зацікавленість дослідників цією проблемою і велику кількість різноманітних результатів, які іноді суперечливі, але це пов'язано із великою кількістю різних у хімічному відношенні пестицидів, застосовуваних у різних ґрунтово-кліматичних умовах і різноманітних агроценозах.

Негативні впливи пестицидів на мікробне різноманіття та життєдіяльність мікроорганізмів ґрунту були описані багатьма дослідниками [22 – 26]. Так, у ґрунтах, забруднених пестицидами, спостерігалась інактивація мікроорганізмів, що фіксують азот [27], і бактерій, що розчиняють важкодоступні сполуки фосфору [28]. Аналогічним чином, як показали численні дослідження, деякі пестициди впливали на ферментативну активність ґрунту, яка є біологічним індикатором родючості ґрунтів та біологічних процесів у ґрунтового середовищі [29 – 31].

Вивчення впливу пестицидів, що застосовуються нині в Україні, на чисельність і функціонування мікрофлори ґрунтів, є важливою складовою оцінювання ризику забруднення ґрунтів і довкілля. Тому метою роботи було дослідження динаміки чисельності мікрофлори та ферментативної активності чорнозему типового за застосування сумішей засобів захисту рослин, які зазвичай використовують на теперішній час в Україні. Інтегрований захист рослин передбачає застосування відразу декількох пестицидів різного призначення, тому загроза негативного впливу на мікробні угруповання ґрунту може зростати пропорційно кількості застосованих засобів та кратності обробок.

Для досягнення мети виконано такі завдання: визначено чисельність мікроорганізмів основних еколого-функціональних і таксономічних груп, з яких складаються мікробні угруповання, у пробах ґрунту з варіантів, де застосовували комплекси пестицидів, і у пробах контрольного ґрунту через різні періоди після застосування пестицидів і наприкінці вегетаційного періоду; проведено порівняльний аналіз даних; виявлено вплив пестицидів на структуру і показники функціонального стану мікробних ценозів, зокрема ферментативну активність ґрунту; виявлено напрям і ступінь змін чисельності мікрофлори і ферментативної активності чорнозему типового під впливом пестицидів, динаміку змін чисельності мікрофлори з плином часу та швидкість відновлення параметрів мікробіологічних і біохімічних показників.

2. Об'єкти (матеріали) і методи досліджень

Вплив комплексного застосування гербіцидів, фунгіцидів та інсектицидів на стан мікробних ценозів чорнозему типового вивчали у вибраних варіантах (Табл. 1) стаціонарного польового досліді «Агроекологічний моніторинг», закладеному у дослідному господарстві «Граківське» ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського» (Чугуївський р-н Харківської обл.) у 1990 р.

Таблиця 1

Пестицидне навантаження в досліді «Агроекологічний моніторинг» ДП ДГ «Граківське» (Чугуївський р-н Харківської обл.), 2019 р.

Культура	Застосовані пестициди, дози, діюча речовина, хімічна група, клас небезпечності	Дата (дд.мм)	
		обробка пестицидами	відбір проб ґрунту
Соя	Не обробляли	–	07.05 28.05 15.10
Пшениця озима	Суміш пестицидів: двох гербіцидів, інсектициду і фунгіциду: післясходовий гербіцид вибіркової дії Шериф (0,015 л/га) (д.р. – трибенурон-метил, хімічна група – сульфонілсечовини, III клас небезпечності (помірно небезпечний) за класифікацією ВООЗ) + післясходовий двокомпонентний гербіцид системної дії Примус (0,5 л/га) (2,4-дихлорфеноксиоцтова кислота, 2-етилгексильовий ефір, флорасулам, хімічний клас – похідні хлорфеноксиоцтової кислоти, триазол-піримідини, II клас небезпечності (помірно небезпечний) + інсектицид контактно-шлункової дії Альтекс (0,1 л/га) (д.р. – альфа-циперметрин (заборонений у країнах ЄС), хімічний клас – синтетичні піретроїди, клас небезпечності II (помірно токсичний)) + системний фунгіцид Меценат (0,5 л/га) (д.р. – пропіконазол, хімічний клас – триазоли, за класифікацією ВООЗ – III клас небезпечності (малотоксичний)) + коктейль мікроелементів і монохелатів (Brexil Combi) для позакореневого підживлення.	06.05	07.05 28.05 15.10
Кукурудза	1-ша обробка. Суміш двох гербіцидів: ґрунтовий досходовий селективний гербіцид Сора Нет (2 л/га) (д.р. – пропізохлор, відноситься до класу хлорацетамідів, III клас небезпечності (помірно небезпечний)) + неселективний гербіцид системної дії Грінфорт (0,5 л/га) (гліфосат, відноситься до фосфорорганічних сполук, заборонений у країнах ЄС, за класифікацією ВООЗ – III клас небезпечності (помірно токсичний)).	03.05	07.05
	2-га обробка. Суміш гербіциду й інсектициду: післясходовий системний гербіцид Таск Екстра (0,44 л/га) (д.р. – римсульфурон + нікосулфурон (клас сульфонілсечовини) + дикамба (похідне бензойної кислоти)), усі компоненти відносяться до III класу небезпечності + інсектицид Альфа-супер (0,1 л/га) (д.р. – альфа-циперметрин, хімічний клас – синтетичні піретроїди, II клас небезпечності (помірно токсичний)) + водорозчинне комплексне добриво з мікроелементами (Brexil Duo) для запобігання і лікування хлорозів	20.05	28.05 15.10
Примітка: д.р. – діюча речовина.			

Засоби захисту рослин вносили згідно з рекомендованими нормами для певних пестицидів і сільськогосподарських культур. Склад препаратів, дози і календар обробок представлено у таблиці 1. Кількість повторностей у досліді – 4. Площа дослідної ділянки становить 120 м².

Проби ґрунту відбирали із шару 0-20 см у міжряддях культур тричі за вегетацію на неудобрених ділянках під озимую пшеницею і кукурудзою, посіви яких було однократно (пшениця) і двократно (кукурудза) оброблено декількома пестицидами в одній баковій суміші, та під соєю, яку пестицидами не обробляли.

Під час першого відбирання проб сходів кукурудзи і сої ще не було, останнє відбирання проведено після збирання врожаю. Посіви сої не обробляли пестицидами, отже ґрунт під соєю вважаємо контролем.

Чисельність ґрунтових мікроорганізмів різних еколого-трофічних груп визначали методом висівання суспензій ґрунту відповідних розведень на щільні елективні живильні середовища у чашках Петрі [32]: (1) для визначення мікроорганізмів, що засвоюють органічний азот (амоніфікаторів), – на м'ясо-пептоновий агар (МПА); (2) мікроорганізмів, що засвоюють азот мінеральних сполук, та актиноміцетів – на крохмало-амонійний агар (КАА); (3) бактерій роду азотобактер – на середовище Ешбі з додаванням розчину мікроелементів; оліготрофів – на голодний агар (ГА); (4) мікроміцетів – на середовище Ріхтера. Повторність 4-кратна.

Розрахункові показники, зокрема коефіцієнти мінералізації [33], оліготрофності [34] та мікробної трансформації органічної речовини ґрунту (МТОРГ) [35], які характеризують напруженість мінералізаційних процесів і трофічний режим ґрунту, визначали за співвідношенням окремих груп мікроорганізмів, а сумарний біологічний показник (СБП) – методом відносних величин за Дж. Ацці [36]. Ступінь деградованості ґрунту оцінювали за відхиленням біологічних показників від контролю у несприятливий бік згідно з розробленою нами раніше шкалою [37]. Ферментативну активність ґрунту визначали фотоколориметричними методами: дегідрогеназну – за А.Ш. Галстяном [38]; поліфенолоксидазну – за Л.А. Карягіною та Н.А. Михайловською [39]; інвертазну – методом, викладеним Д.Г. Звягінцевим та ін. [32].

Математичну обробку даних здійснено за загальноприйнятими методами математичної статистики з використанням пакетів стандартних комп'ютерних програм (Microsoft Excel і Statistica 6.0).

3. Результати досліджень

3.1. Динаміка чисельності мікроорганізмів основних еколого-трофічних і таксономічних груп протягом вегетаційного періоду

У досліді використовували комплекси (суміші) пестицидів, основою яких були гербіциди – досходові і післясходові. Серед пестицидів саме гербіциди мають найбільшу рухомість у ґрунті, крім того, більшість цих препаратів вносять безпосередньо в ґрунт, чим зумовлено найбільшу небезпеку стосовно забруднення ґрунту й підземних вод.

Чисельність мікроорганізмів усіх досліджуваних груп у ґрунті під озимую пшеницею, яку напередодні відбирання проб було оброблено комплексом пестицидів, що містив два гербіциди, інсектицид і фунгіцид, була вищою, ніж у ґрунті, який не був обробленим (під соєю). Кількість бактерій, які засвоюють органічні сполуки нітрогену, була більшою у 2,7 раза, мікроорганізмів, що утилізують нітроген мінеральних сполук – у 2,8 раза, зокрема актиноміцетів – майже вдвічі, оліготрофів – у 1,8 раза (Табл. 2). Загальна чисельність евтрофної мікрофлори перевищувала чисельність на контрольному варіанті в 2,8 раза. При цьому коефіцієнт мінералізації нітрогенвмісних сполук ґрунту був підвищеним відносно необробленого ґрунту. У 2,6 раза вищим був і коефіцієнт МТОРГ.

У ґрунті поля, де було посіяно кукурудзу, який був оброблений за три дні до відбирання проб сумішшю з двох гербіцидів, чисельність мікрофлори також була вищою за чисельність у пробах контрольного ґрунту: органотрофних бактерій у 1,6 раза, мікроорганізмів, що засвоюють мінеральний нітроген, – у 1,8 раза, у тому числі, актиноміцетів – у 1,4 раза. Чисельність евтрофної мікрофлори була вищою, ніж у ґрунті контролю в 1,7 раза. Коефіцієнт мінералізації нітрогену був вищим на більшу величину, ніж цей показник, розрахований для проби нещодавно обробленого ґрунту. У 1,5 раза вищим порівняно з контролем був і коефіцієнт МТОРГ, його значення займало проміжне положення між значеннями для контрольного й щойно обробленого (під пшеницею озимую) ґрунтів.

Таблиця 2

Динаміка чисельності мікроорганізмів різних еколого-функціональних і таксономічних груп у ґрунті

Варіант досліджу	Мікроорганізми, які засвоюють нітроген, млн КУО /г с. ґ.			Гриби, тис. КУО/г с. ґ.	Актино-міцети	Оліго-трофи	Евтро-фи	Коефіцієнт					
	органі-чний	мінеральний						оліго-троф-ності	міне-ралі-зації	МТОРГ	СБП, %	ПБД, %	
		всього	бактерії										млн КУО/г с. ґ.
Відбирання проб 07.05.2019 р.													
Соя	7,47	16,74	12,12	25,30	4,62	8,40	24,24	0,35	2,24	10,80	100	0	
Пшениця озима	19,93	47,13	38,08	22,04	9,05	15,30	67,08	0,23	2,36	28,35	205	0	
Кукурудза	11,94	30,01	23,66	23,61	6,35	8,77	41,97	0,21	2,51	16,69	134	0	
НІР _{0,05}	3,42	4,84	—	5,14	1,26	4,20	—	—	—	—	—	—	
Відбирання проб 28.05.2019 р.													
Соя	46,75	39,02	29,68	33,48	9,34	17,22	85,80	0,20	0,83	102,76	100	0	
Пшениця озима	20,41	36,51	23,86	21,70	12,65	14,37	56,94	0,25	1,79	31,82	72	-28	
Кукурудза	8,12	18,20	12,35	18,14	5,85	5,41	26,34	0,21	2,24	11,86	37	-63	
НІР _{0,05}	3,14	6,25	—	6,24	1,31	8,62	—	—	—	—	—	—	
Відбирання проб 15.10.2019 р.													
Соя	30,77	73,83	63,19	32,29	10,64	27,64	104,63	0,26	2,40	43,59	100	0	
Пшениця озима	15,79	25,31	20,37	50,20	4,94	36,39	41,15	0,88	1,60	25,64	83	-17	
Кукурудза	18,02	39,82	31,22	20,15	8,60	8,44	57,92	0,15	2,21	26,17	51	-49	
НІР _{0,05}	2,64	4,22	—	6,48	1,14	0,02	—	—	—	—	—	—	
Примітка. КУО/г с. ґ. – колонієутворювальні одиниці в 1 грамі сухого ґрунту.													

Примітка. КУО/г с. ґ. – колонієутворювальні одиниці в 1 грамі сухого ґрунту.

Наступне відбирання проб ґрунту проводили через три тижні після першого. Пшеницю за цей період нічим не обробляли, а кукурудзу було оброблено за тиждень до другого відбирання проб комплексним системним післясходовим гербіцидом разом з інсектицидом. В обох цих варіантах чисельність мікроорганізмів усіх досліджуваних груп виявилась значно нижчою, ніж у контрольному варіанті. Так, у ґрунті під пшеницею озимою, попри те, що обробок більше не було, чисельність бактерій, що засвоюють органічний нітроген, була нижчою за контроль у 2,3 раза, чисельність мікроорганізмів, що засвоюють азот мінеральних сполук, – на 6 %, грибів – на 35 %, оліготрофних бактерій – на 17 %. За значеннями ПБД для ґрунту під пшеницею встановлено середній ступінь біологічної деградації, а для ґрунту під сходами кукурудзи – сильний. Коефіцієнт мінералізації зростає із кратністю обробок, а МТОРГ, навпаки, істотно знижувався.

Незважаючи на те, що з моменту обробки посівів пшениці озимої комплексом пестицидів минуло більше п'яти місяців, у пробах ґрунту останнього відбору виявлено суттєво нижчу чисельність мікроорганізмів, що засвоюють різні сполуки нітрогену, на оброблених пестицидами ділянках, ніж у ґрунті контролю. Так, чисельність органотрофних бактерій була меншою удвічі, мікроорганізмів, що асимілюють мінеральні сполуки нітрогену, – втричі, загальна кількість евтрофів – у 2,5 раза. Але чисельність грибів і оліготрофів, навпаки, перевищувала значення цих показників на контролі.

Аналогічною була ситуація і в ґрунті під кукурудзою, посіви якої обробляли двічі за вегетацію, і з моменту останньої обробки комплексом пестицидів минуло майже п'ять місяців, але тут нижчою за показники контролю була чисельність мікроорганізмів усіх без винятку досліджуваних груп і ступінь зниження був більшим, ніж під озимою пшеницею. Чисельність бактерій, що засвоюють органічні сполуки нітрогену, була нижчою в 1,7 раза, мікроорганізмів, що утилізують його мінеральні сполуки – в 1,9, грибів – у 1,6, евтрофів – у 1,8, оліготрофів – у 3,3 раза.

Показники мінералізації і коефіцієнти МТОРГ також були значно нижчими за показники контролю. Рівень біологічної деградації ґрунту під пшеницею озимою, яку обробляли один раз за вегетацію, змінився з середнього до слабкого, а під кукурудзою, яку обробляли двічі, – з сильного до середнього.

Деякі автори до найбільш чутливих до різних забруднювачів, зокрема пестицидів, вважають бактерії роду *Azotobacter* [5, 15]. Ми виявили, що у ґрунті під пшеницею озимою, який напередодні першого відбирання проб обробили сумішшю з двох гербіцидів,

інсектициду і фунгіциду, чисельність азотобактера дійсно була вдвічі нижчою за їх чисельність у контрольному ґрунті без обробок (Табл. 3). Однак за другого відбирання у пробах ґрунту під пшеницею озимою чисельність азотобактера була високою, а під кукурудзою, яку за тиждень до відбирання проб вже обробили другим раз (післясходовим гербіцидом в комплексі з інсектицидом), вона, хоч і була дещо нижчою, але більшою, ніж у контрольному ґрунті.

Таблиця 3

Чисельність азотобактера у ґрунті за дії пестицидів

Варіант досліджу	Азотобактер, % обростання грудочок
<i>Відбирання проб 07.05.2019 р.</i>	
Соя	27
Пшениця озима	14
Кукурудза	54
НІР _{0,05}	5
<i>Відбирання проб 28.05.2019 р.</i>	
Соя	8
Пшениця озима	52
Кукурудза	47
НІР _{0,05}	3
<i>Відбирання проб 15.10.2019 р.</i>	
Соя	0
Пшениця озима	52
Кукурудза	2
НІР _{0,05}	3

У пробах ґрунту, відібраних у жовтні, під соєю (який протягом вегетаційного періоду слугував контролем) азотобактера не було виявлено, під пшеницею озимою чисельність азотобактера не змінилася порівняно із попереднім строком, а під кукурудзою його чисельність також була вкрай низькою.

Дослідження чисельності мікрофлори показали, що одразу і через декілька днів після внесення пестицидів кількість мікроорганізмів підвищилася, тобто спочатку пестициди мали стимулюючий ефект на ґрунтовий мікробний ценоз. Але вже через три тижні відбулися негативні зміни – спостерігалось пригнічення мікробоценозу, що проявилось в суттєвому зниженні чисельності мікроорганізмів, яке було дещо відтермінованим.

Через п'ять місяців після обробок чисельність мікроорганізмів у ґрунті під озимою пшеницею і кукурудзою залишалася значно нижчою, ніж у ґрунті під соєю, що слугував контролем.

3.2. Зміни ферментативної активності ґрунту

Подібні зміни відбувалися і в активності ґрунтових ферментів. Одразу після застосування пестицидів активність усіх досліджуваних ферментів (дегідрогенази, інвертази, поліфенолоксидази) виявилася вищою, ніж у ґрунті, де не застосовували хімікатів (Табл. 4).

Таблиця 4

Динаміка ферментативної активності ґрунту

Варіант досліджу	Дегідрогеназа, мг ТФФ/100 г ґрунту за 24 години	Інвертаза, мг глюкози/1 г ґрунту за 24 години	Поліфенолоксидаза, мг 1,4-п-бензохінону/100 г ґрунту за годину
<i>Відбирання проб 07.05.2019 р.</i>			
Соя	312,55	2,04	375,34
Пшениця озима	312,25	2,73	297,09
Кукурудза	287,13	2,43	414,47
НІР _{0,05}	10,15	0,56	20,26
<i>Відбирання проб 28.05.2019 р.</i>			
Соя	248,45	2,95	140,32
Пшениця озима	241,93	2,86	100,45
Кукурудза	236,88	2,39	62,32
НІР _{0,05}	8,23	0,64	6,92
<i>Відбирання проб 15.10.2019 р.</i>			
Соя	282,55	3,12	168,12
Пшениця озима	240,16	3,17	189,06
Кукурудза	256,83	3,27	220,24
НІР _{0,05}	9,04	0,81	14,32

Примітка: ТФФ – трифенілформазан.

Через 20 діб після застосування комплексу пестицидів на посівах пшениці озимої ферментативна активність ґрунту була незначно нижчою порівняно з контролем, а у ґрунті під кукурудзою, яку обробили двічі, і після другої обробки комплексом пестицидів минуло лише вісім діб, активність дегідрогенази була достовірно нижчою на 5 %, інвертази – на 19 %, поліфенолоксидази – на 55 %. Зниження поліфенолоксидазної активності свідчить про послаблення процесів утворення гумусу, а, враховуючи, що за літературними даними деякі гербіциди сприяють збільшенню кількості нокардієподібних бактерій, які руйнують гумусові речовини, це створює передумови мінералізації гумусу, що може призвести до дегуміфікації ґрунту.

Наприкінці вегетаційного періоду нижчою, ніж на контролі, залишалася лише активність дегідрогенази. Інвертазна активність суттєво не відрізнялась від контролю, а поліфенолоксидазна була дещо вищою.

4. Обговорення результатів

За результатами наших досліджень виявлено ознаки біологічної деградації ґрунту в результаті токсичного впливу застосованих пестицидів. Негативними наслідками застосування комплексів пестицидів є скорочення чисельності ґрунтових мікроорганізмів та зниження ферментативної активності ґрунту. Наші експериментальні дані узгоджуються із деякими результатами інших вітчизняних та закордонних дослідників. Схожі результати для певних груп пестицидів були одержані і викладені у наступних публікаціях.

Так, вивчення дії пестицидів, що належать до різних класів токсичності щодо мікробного ценозу ґрунту, і активно використовуються в агротехнічній практиці України, показало, що препарат Примекстра Голд, навіть у робочих дозах, виявив токсичну дію на *Azotobacter chroococcum*, який автори вважають одним із найбільш чутливих індикаторів забруднення ґрунту пестицидами [15].

У літературі є повідомлення про посилення негативного впливу пестицидів за поєданого застосування, або зі збільшенням кратності обробок. Так, відмічено інгібуючий вплив на бактеріальне угруповання за неодноразового застосування бромоксенілу [4].

Наші дані узгоджуються також із публікаціями щодо стимулювальної дії пестицидів на мікрофлору і ферментативну активність ґрунту одразу або через декілька днів після внесення, їх пригнічення через деякий час і поступового (але не повного) відновлення протягом вегетаційного періоду. Так, мікробна біомаса під впливом деяких пестицидів спочатку збільшувалась, але потім відбувалось її зменшення [40]. Вплив гербіциду Бутахлор на мікробні популяції та на активність дегідрогенази в ґрунті під рисом проявився у значному зменшенні кількості актиноміцетів та посиленні активності дегідрогенази. Але більшість показників, зокрема азотфіксація та нітрифікація, спочатку стимулювались, проте згодом значно знижувались [41].

За повідомленням І.М. Сторчоус [42], який вивчав вплив гербіцидів Дікопур Ф, Трезор і Лентіпур у посівах пшениці озимої на основні таксономічні групи мікроорганізмів в умовах Північного Лісостепу України, навпаки, негативний вплив гербіцидів було помічено саме у перші дні після застосування (Дікопур Ф на 5-й день зменшував у середньому загальну кількість бактерій, актиноміцетів і грибів у 2,0 – 2,3 раза, потім відбувалось відновлення (на 30-й день чисельність мікрофлори майже на рівні контрольного варіанту), а перед збиранням урожаю (70-й день) чисельність бактерій та актиноміцетів відповідала контрольному варіанту, а кількість грибів перевищувала контрольний рівень. Аналогічні результати впливу на мікрофлору сірого опідзоленого ґрунту автор показав і щодо гербіциду Трезор і Лентіпур.

Індійські дослідники [43] вивчали вплив органофосфатного інсектициду киналфосу на дегідрогеназну активність у ґрунті і спостерігали її інгібування на 30 % через 15 днів після застосування. Активність ферменту відновилася лише через 90 днів після застосування, що може бути пов'язано з адаптацією ґрунтових мікробів до агресивних умов, за яких потрібна протидія хімічному впливу. Аналогічні спостереження проводили й з використанням інших інсектицидів [44 – 45], фунгіцидів [46] та гербіцидів [47, 48].

Однак, є також повідомлення, якими описано стимулювальні ефекти окремих пестицидів на дегідрогеназну активність ґрунту [41, 49, 50]. Є інформація, що інсектицид Монокротофос спочатку інгібує активність дегідрогенази, а згодом, її активність відновлюється [2]. Гліфосат, навпаки, не впливає, або стимулює дегідрогеназну активність [51]. В лабораторних дослідженнях отримано близькі до наших результати щодо металаксилу, фунгіциду, який спочатку підвищує активність ґрунтових ферментів, зокрема дегідрогенази, а через деякий час, навпаки знижує [52].

Інтегрованим захистом рослин рису в індійському штаті Ситапур передбачено використання різних комбінацій пестицидів, причому фермери часто перебільшують рекомендовані дози. За застосування хлорпирифосу, 2,4-дихлорфеноксоцтової кислоти, карбендазиму і карбофурану різко скорочувалась чисельність популяцій бактерій у ґрунтах, а в лабораторному інкубаційному експерименті спостерігали значне зниження дегідрогеназної активності за дії хлорпирифосу, карбофурану, 2,4-дихлорфеноксоцтової кислоти і карбендазиму [53].

Наголошується також, що комплексне застосування пестицидів (гербіцидів, інсектицидів та фунгіцидів), як і систематичне, чинить більший негативний вплив на біологічну активність ґрунту. Так, застосування гербіцидів диурона, гексазинона й сульфометурон-метила окремо й в суміші давало різний ефект – сукупне застосування сильно зменшувало біорізноманіття мікроорганізмів на відміну від окремого [54]. Сукупна дія двох фунгіцидів – тебуконазолу і карбендазиму значно пригнічувала ферментативну активність ґрунту [55].

Результатами досліджень у польовому досліді на чорноземі типовому підтверджено, що після одноразового застосування комплексу пестицидів чисельність компонентів мікробного ценозу наприкінці вегетаційного періоду наближається до показників ґрунту, де пестициди не застосовували. Але після двох обробок комплексами пестицидів навіть після збирання врожаю спостерігалось значне відхилення показників чисельності мікробного ценозу в несприятливий бік від контрольного ґрунту.

Результати проведеного дослідження показали необхідність суворо дозованого, раціонального застосування хімічних пестицидів, контролю кількості засобів захисту рослин і кратності обробок з метою зменшення несприятливого їх впливу на біологічні властивості ґрунтів і шкідливої дії на довкілля.

Спостереження за змінами стану мікробних угруповань ґрунту, їх структури і функціонування, швидкістю відновлення біологічної активності ґрунтів за застосування сучасних пестицидів дозволить прогнозувати потенційні екологічні ризики для ґрунтів і довкілля.

5. Висновки

Таким чином, динаміка чисельності мікрофлори протягом періоду вегетації була такою: спочатку чисельність мікроорганізмів основних еколого-функціональних груп під дією пестицидів зростала, але згодом відбувалася відстрочена реакція – відгук мікробного ценозу на хімічне навантаження, який проявився у зниженні чисельності мікроорганізмів усіх досліджуваних груп, причому зі збільшенням пестицидного навантаження ступінь пригніченості мікрофлори адекватно зростав. Через п'ять місяців після одноразового застосування комплексу пестицидів на посівах пшениці озимої значення чисельності мікроорганізмів окремих груп у ґрунті були вдвічі, а деякі і втричі меншими за відповідні значення у контрольному варіанті, але за рахунок більшої чисельності грибів і оліготрофів, у середньому, майже наблизилися до рівня необробленого пестицидами ґрунту. Проте після двох обробок сумішами пестицидів посівів кукурудзи чисельність мікрофлори залишилася значно нижчою порівняно з контролем.

Чисельність азотобактера у ґрунті є чутливим індикатором наслідків негативної дії пестицидів.

Ферментативна активність ґрунту відразу після обробок також спочатку дещо зростала, потім знижувалася, особливо після двох обробок кукурудзи. Найбільш істотно знижувалася активність поліфенолоксидази, яка бере участь у процесах гумусоутворення. Наприкінці вегетації нижчою залишилася тільки активність дегідрогенази.

Зростання пестицидного навантаження на ґрунт призвело до більш істотного порушення структури і функціонування мікробного ценозу, зниження темпу їх відновлення.

Дослідження проведено за завданням 01.02.03.05. П. «Розробити систему біодіагностичних показників для оцінювання стійкості мікробних ценозів ґрунтів до забруднення сучасними пестицидами» в межах ПНД НААН 1 «Розробити наукові засади збалансованого використання ґрунтових ресурсів, прогноз розвитку та управління відтворенням родючості ґрунтів як основи сталого розвитку України» («Ґрунтові ресурси: прогноз розвитку, збалансоване використання та управління»), Підпрограма 02 «Розробити систему оцінювання стійкості ґрунтів до антропогенних навантажень та заходи з охорони їх від деградації» («Охорона ґрунтів»), що фінансується з державного бюджету України.

Список використаних джерел

1. Бублік Л.І., Крук І.В. Методи моніторингу забруднення пестицидами ґрунту агроценозів. *Захист і карантин рослин*. 2008. Вип. 54. С. 87–99.
2. Impact of long-term pesticide application on some soil biological parameters / M.M. Andrea, B. Peres, L.C. Luchini, A.J. Pettinelli *Journal of Environmental Science and Health*. Part. B, Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes. 2000. Vol. 35. Issue 3. P. 297–307 DOI: <https://doi.org/10.1080/03601230009373271>.
3. Kalia A., Gosal S.K. Effect of pesticide application on soil microorganisms. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 2011. Vol. 57. Issue 6. P. 669–596. DOI: <https://doi.org/10.1080/03650341003787582>.
4. Baxter J., Cummings S.P. The degradation of the herbicide bromoxynil and its impact on bacterial diversity in a top soil. *Journal of Applied Microbiology*. 2008. Vol. 104. Issue 6. P. 1605–1616. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2007.03709>.
5. Bio-efficacy of Herbicides on Performance of Mustard, Brassica juncea (L.) and Population Dynamics of Agriculturally Important Bacteria / N.K. Singh, C.K. Desai, B.S. Rathore, B.G. Chaudhari. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*. 2015. Vol. 86. Issue 3. P. 743–748. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40011-015-0521-1>.
6. Devi Y.B., Meetei T.T., Kumari N. Impact of Pesticides on Soil Microbial Diversity and Enzymes: A Review. *Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2018. Vol. 7. Issue 6. P. 952–958. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.706.113>.
7. Круглов Ю.В. Микрофлора почвы и пестициды. Москва: Агропромиздат, 1991. 129 с.
8. Благодатская Е.В., Ананьева Н.Д. Оценка устойчивости микробных сообществ в процессе разложения поллютантов в почве. *Почвоведение*. 1996. № 11. С. 1341–1346.
9. Матаруева И.А. Об оценке микробиологической активности дерново-подзолистых почв. *Почвоведение*. 1998. № 1. С. 78–87.
10. Тертична О.В., Андрієнко Г.Г., Моклячук Л.І. Агроєкологічна оцінка впливу високих концентрацій пестицидів на мікробний ценоз ґрунту. Наукові праці Полтавської державної аграрної академії. Том 4 (23). Полтава, 2005. С. 174–177.
11. Іутинська Г.О., Ямборко Н.А., Піндрус А.А. Дослідження мутагенної активності гексахлорциклопексану та продуктів його мікробної деградації. *Мікробіологічний журнал*. 2010. Вип. 72. № 6. С. 18–21. URL: http://library.nuft.edu.ua/ebook/file/MB_72_6_2010.pdf.
12. Оцінка впливу забруднення стійкими пестицидами на формування мікробіоценозу ґрунту / Андрієнко В.О., Моклячук Л.І., Андрієнко Г.Г. [та ін.]. *Науковий вісник Національного аграрного університету*. Київ, 2006. Вип. 100. С. 281–287.
13. Functioning of soil microbiota under the influence of herbicides / Y. Chabanyuk, I. Brovko, A. Koretsky, S. Mazur. *Agroecological Journal*. 2016. № 4. С. 122–127.
14. Биосенсорные свойства почвенной микробиоты при воздействии пестицидов / І.С. Бровко, Ю.В. Чабанюк, С.В. Мазур, В.У. Ящук. *Агроєкологічний журнал*. 2016. № 3. С. 111–116.
15. Взаємозв'язки між біологічними показниками ґрунту за дії гербіцидів / І.С. Бровко, Ю.В. Чабанюк, А.П. Корецький, С.В. Мазур. *Агроєкологічний журнал*. 2017. № 1. С. 87–93.
16. Усатая А.С., Катрук Э.А., Меренюк Г.В. Динамика почвенных микробиологических процессов под влиянием фунгицидов, используемых в виноградарстве. Биодинамика почв: тезисы докл. III Всес. симп., Харку, 25 – 27 октября, 1988 г. Таллин, 1988. С. 159.
17. Система оценки потенциальной генетической опасности химических загрязнителей для почвенных микроорганизмов. Методические рекомендации / Е.Е. Емнова, Г.В. Меренюк, Л.Г. Цуркан, В.А. Сланина. Кишинёв, 1991. 47 с.
18. Rashid B., Husnain T., Riazuddin S. Herbicides and Pesticides as potential pollutants: A Global Problem. *Plant adaptation and Phytoremediation*. Chapter 19. 2010. Part 2. 427–447. DOI: https://doi.org/10.1007/978-90-481-9370-7_19.
19. Alexander M. Biodegradation and Bioremediation. Academic Press, New York, 1994. 692 p.
20. Bollag W.B., Dec J., and Bollag J.-M. Biodegradation. In: *Encyclopedia of Microbiology*. Second Edition. Academic Press, Inc., New York. 2000. Vol. 1. P. 461–471.
21. Garipova S. Perspectives on using endophytic bacteria for the bioremediation of arable soils polluted by residual amounts of pesticides and xenobiotics. *Biology Bulletin Reviews*. 2014. Vol. 4. Issue 4. P. 300–310. DOI: <https://doi.org/10.1134/S2079086414040033>.
22. Ingram C.W., Coyne M., Williams D.W. Effects of commercial diazinon and imidacloprid on microbial urease activity in soil. *Journal of Environmental Quality*. 2005. Vol. 34. No. 5. P. 1573–1580. DOI: <https://doi.org/10.2134/jeq2004.0433>.
23. Littlefield-Wyer J.G., Brooks P., Katouli M. Application of biochemical fingerprinting and fatty acid methyl ester profiling to assess the effect of the pesticide Atradex on aquatic microbial communities. *Environmental Pollution*. 2008. Vol. 153. Issue 2. P. 393–400. DOI: <https://doi.org/10.1016/j>.
24. Niewiadomska A. Effect of carbendazim, imazetapir and thiram on nitrogenase activity, the number of microorganisms in soil and yield of red clover (*Trifolium pretense* L.). *Polish Journal of Environmental Studies*. 2004. Vol. 13. Issue 4. P. 403–410. URL: <http://www.pjoes.com/Effect-of-Carbendazim-Imazetapir-and-Thiram-on-rnNitrogenase-Activity-the-Number,87676,0,2.html>.
25. Effect of methamidophos and urea application on microbial communities in soils as determined by microbial biomass and community level physiological profiles / M.C. Wang, M. Gong, H.B. Zang [et al.]. *Journal of Environmental Science and Health*. Part B, Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes. 2006. Vol. 41. Issue 4. P. 399–413. DOI: <https://doi.org/10.1080/03601230600616155>.
26. Лоханська В.Й. Вивчення забруднення агроценозів пестицидами. Наукові доповіді НАУ. 2008. 2 (10). С. 1–12. URL: <http://www.nbuu.gov.ua/e-Journals/nd/2008-2/08lvioap.pdf>.
27. Niewiadomska A., Klama J. Pesticide side effect on the symbiotic efficiency and nitrogenase activity of *Rhizobiaceae* bacteria family. *Polish Journal of Microbiology*. 2005. Vol. 54. Issue 1. P. 43–48.

- URL: https://www.researchgate.net/publication/7556608_Pesticide_side_effect_on_the_symbiotic_efficiency_and_nitrogenase_activity_of_Rhizobiaceae_bacteria_family.
28. Sardar D., Kole R.K. Metabolism of chlorpyrifos in relation to its effect on the availability of some plant nutrients in soil. *Chemosphere*. 2005. Vol. 61. Issue 9. P. 1273–1280. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.03.078>.
 29. Antonious G.F. Impact of soil management and two botanical insecticides on urease and invertase activity. *Journal of Environmental Science and Health. Part B, Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*. 2003. Vol. 38. Issue 4. P. 479–488. DOI: <https://doi.org/10.1081/PFC-120021667>.
 30. Monkiedje A., Spiteller M. Effects of the phenylamide fungicides, mefenoxam and metalaxyl, on the biological properties of sandy loam and sandy clay soils. *Biology and Fertility of Soils*. 2002. Vol. 35. Issue 6. P. 393–398. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00374-002-0485-1>.
 31. Monkiedje A., Ilori M.O., Spiteller M. Soil quality changes resulting from the application of the fungicides mefenoxam and metalaxyl to a sandy loam soil. *Soil Biology and Biochemistry*. 2002. Vol. 34. Issue 12. P. 1939–1948. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(02\)00211-0](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00211-0).
 32. Методы почвенной микробиологии и биохимии. [Д.Г. Звягинцев, И.В. Асеева, И.П. Бабьева, Т.Г. Мирчинк]; под ред. Д.Г. Звягинцева. Москва: Изд-во Московского ун-та, 1980. 224 с.
 33. Аристовская Т.В., Худякова Ю.А. Методы изучения микрофлоры почв и её жизнедеятельности. Методы стационарного изучения почв. Москва: Наука, 1977. С. 141–286.
 34. Мишустин Е.Н. Ассоциации почвенных микроорганизмов. Москва: Наука, 1975. 24 с.
 35. Муха В.Д. О показателях, отражающих интенсивность и направленность почвенных процессов. Сб. науч. тр. ХСХИ. 1980. Т. 273. С. 13–16.
 36. Ацци Дж. Сельскохозяйственная экология; пер. с англ. Н.А. Емельяновой, О.В. Лисовской, М.П. Шкеданц; под ред. В.Е. Писарева. Москва: Изд-во иностранной литературы, 1959. С. 242–243.
 37. Naydyonova O.E., Baliuk S.A. Biological degradation of Chernozems under irrigation. *Eurasian Journal of Soil Science*. 2014. Vol. 3. Issue 4. P. 267–273. DOI: <https://doi.org/10.18393/ejss.87170>.
 38. Хазиев Ф.Х. Ферментативная активность почв. Москва: Наука, 1976. С. 39–40.
 39. Карягина Л.А., Михайловская Н.А. Определение активности полифенолоксидазы и пероксидазы в почве. *Весті АН БССР, серія с/г навук*. Мінск, 1986. № 2. С. 40–41.
 40. Arora S., Sahni D. Pesticides effect on soil microbial ecology and enzyme activity – An overview. *Journal of Applied and Natural Science*. 2016. Vol. 8. Issue 2. P. 1126–1132. DOI: <https://doi.org/10.31018/jans.v8i2.929>.
 41. Effects of butachlor on microbial populations and enzymes activities in paddy soil / H. Min, Y.F. Ye, Z.Y. Chen [et al.]. *Journal of Environmental Science and Health, Part B. Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*. 2001. Vol. 36. Issue 5. P. 581–595. DOI: <https://doi.org/10.1081/PFC-100106187>.
 42. Сторчоус І.М. Вплив гербіцидів на мікрофлору ґрунту. *Захист і карантин рослин*. 2013. Вип. 59. С. 277–284.
 43. Mayanglambam T., Vig K., Singh D.K. Quinalphos persistence and leaching under field conditions and effects of residues on dehydrogenase and alkaline phosphomonoesterases activities in soil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2005. Vol. 75. Issue 6. P. 1067–1076. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00128-005-0858-x>.
 44. Menon P., Gopal M., Parsad R. Effects of chlorpyrifos and quinalphos on dehydrogenase activities and reduction of Fe³⁺ in the soils of two semi-arid fields of tropical India. *Agriculture Ecosystems & Environment*. 2005. Vol. 108. Issue 1. P. 73–83. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.12.008>.
 45. Effects of pesticides on soil biochemical characteristics of a paddy soil / Xie X.M., Liao M., Huang C.Y. [et al.]. *Journal of Environmental Sciences*. 2004. Vol. 16. Issue 2. P. 252–255.
 46. Changes in soil chemical properties and microbial activities in response to the fungicide Ridomil gold plus copper / J. Demanou, A. Monkiedje, T. Njine [et al.]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2004. Vol. 1. Issue 1. P. 26–34. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph2004010026>.
 47. Monitoring impacts of a pesticide treatment on bacterial soil communities by metabolic and genetic fingerprinting in addition to conventional testing procedures / B. Engelen, K. Meinken, F. Von Wintzingerode [et al.]. *Applied Environmental Microbiology*. 1998. Vol. 64. Issue 8. P. 2814–2821. URL: <https://aem.asm.org/content/aem/64/8/2814.full.pdf>.
 48. Changes in the microflora and biological activity of the soil during the degradation of isoproturon / A. Nowak, J. Nowak, D. Klodka [et al.]. *Journal of Plant Diseases and Protection*. 2004. 19. P. 1003–1016.
 49. Singh J., Singh D.K. Dehydrogenase and phosphomonoesterase activities in groundnut (*Arachis hypogaea* L.) field after diazinon, imidachlorprid and lindane treatments. *Chemosphere*. 2005. Vol. 60. Issue 1. P. 32–42. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.11.096>.
 50. Singh D.K., Kumar S. Nitrate reductase, arginine deaminase, urease and dehydrogenase activities in natural soil (ridges with forest) and in cotton soil after acetamiprid treatments. *Chemosphere*. 2008. Vol. 71. Issue 3. P. 412–418. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.11.005>.
 51. Influence of repeated applications of glyphosate on its persistence and soil bioactivity. / M.M. Andrea, T.B. Peres, L.C. Luchini [et al.]. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 2003. Vol. 38. Issue 11. P. 1329–1335. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2003001100012>.
 52. Sukul P. Enzymes activities and microbial biomass in soil as influenced by metalaxyl residues. *Soil Biology and Biochemistry*. 2006. Vol. 38. Issue 2. P. 320–326. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.05.009>.
 53. Pesticides use and its Effect on Soil Bacteria and Fungal Populations, Microbial Biomass Carbon and Enzymatic Activity / S. Arora, S. Arora, D. Sahni [et al.]. *Current science*. 2019. Vol. 116. Issue 4. P. 643–649. DOI: <https://doi.org/10.18520/cs/v116/i4/643-649>.
 54. Respiration induced by substrate and bacteria diversity after application of diuron, hexazinone, and sulfometuron-methyl alone and in mixture / F. Reis, V. Tornisiello, B. Martins [et al.]. *Journal of Environmental Science and Health. Part B Pesticides Food Contaminants and Agricultural Wastes*. 2019. Vol. 54. Issue 6. P. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.1080/03601234.2019.1620043>.
 55. Individual and combined effects of tebuconazole and carbendazim on soil microbial activity / C. Wang, F. Wang, Q. Zhang, W. Liang. *European Journal of Soil Biology*. 2016. Vol. 72. P. 6–13. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2015.12.005>.

UDC 631.427

Dynamics of microflora number and biochemical activity in typical chernozem under pesticides complex application

O. E. Naidonova

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

E-mail: oksana_naydyonova@ukr.net

In a stationary field experiment during the growing season 2019, the dynamics of microbiological and biochemical indicators' parameters of typical heavy loamy chernozem in the plots treated with a complex of pesticides was studied in comparison with the control, untreated plots. The state of microbial communities in the soil under winter wheat with a single application, and under corn with single and double application of mixtures of several modern herbicides, fungicides and insecticides was assessed. The state of the microflora was monitored three times during the growing season according to the parameters of the number of microorganisms of various ecological-functional and taxonomic groups, the enzymatic activity of the soil, and integrated biological indices. At first, 1 and 4 days after the application of pesticides, the number of microorganisms and the activity of enzymes increased, but subsequently (after 3 weeks) the values of indicators decreased relatively untreated with pesticides soil. The number of microflora under wheat decreased by an average of 28 %, and under maize, which a week before the second sampling, they were treated with a mixture of pesticides for the second time – by 63 %. Five months after a single application of a complex of pesticides on winter wheat crops, the values of the number of microorganisms of certain groups in the soil were half, and some three times less than the corresponding values in the control variant. With an increase in the pesticide load (an increase in the frequency of treatments), the degree of inhibition of microflora increased. After two treatments of corn crops, the number of microflora and enzyme activity in the soil were significantly lower compared to the control, the degree of reduction was greater than with a single treatment of wheat. Over time, there was a gradual restoration of the biological properties of the soil, but even five months after two treatments of corn crops with pesticides, the number of microflora remained significantly lower than under the control. At the end of the growing season of both crops, the biological properties of typical chernozem did not reach the level of similar soil without the use of pesticides.

Keywords: pesticides; soil enzymatic activity; soil microbial community.

Citing: Naidonova O. E. 2020. Dynamics of microflora number and biochemical activity in typical chernozem under pesticides complex application. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 90. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 65-75. (Ukr.). DOI: <https://doi.org/10.31073/acss90-07>.

УДК 632.503.3

Чи можливе безпечне використання пестицидів?**К. І. Тохтарь*, Ю. В. Гаврилюк****Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»,
Харків, Україна**

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 11.08.2020 Отримано після доопрацювання 14.09.2020 Затверджено до публікації 15.09.2020 Доступно онлайн 05.11.2020	В оглядовій статті показано хімічну сутність процесів, що відбуваються внаслідок використання пестицидів у сільськогосподарському виробництві. Розглянуто різні негативні аспекти впливу пестицидів та їх залишків на культурні рослини і природне середовище, зокрема, на ґрунт. Як аргументи, використано численні посилання на сучасну наукову літературу і результати власних багаторічних досліджень у польових експериментах, виконаних з метою проведення екологічної експертизи гербіцидів. Результати експериментів красномовно свідчать про високу фітотоксичність пестицидів стосовно культурної рослини, під час вирощування якої їх застосовано. На варіанті без гербіцидів з двома ручними прополюваннями (№2) урожай був найвищим, а в разі застосування на цьому фоні гербіцидів на всіх варіантах констатовано вагоме зниження врожаю зерна кукурудзи. Вміст в орному шарі ґрунту залишків більшої частини досліджуваних у польовому експерименті гербіцидів залишався вище гранично допустимої концентрації і після п'яти місяців з моменту застосування. Дослідженнями виявлено, що, крім фітотоксичності пестицидів, існує ще й прихована токсичність їх залишків у ґрунті щодо культур, які вирощують після кукурудзи (овес, соняшник). Саме залишки пестицидів через рік після застосування призвели не лише до зниження майже на всіх варіантах врожаю культур, але й до погіршення, у деяких випадках, фізичного стану рослин. Вплив післядії гербіцидів на зниження врожайності був відчутним навіть у тих випадках, коли залишки не перевищували допустимої концентрації. Результати аналізу ситуації не залишають сумніву, що існуюча практика застосування отрутохімікатів потребує глибокого перегляду, з наголосом зокрема на інтегровані програми боротьби зі шкідливими біологічними об'єктами – комбінації, перш за все, біологічних, агротехнічних, і генетичних методів з дуже обмеженим використанням пестицидів.
Ключові слова: гербіцид; гранично допустима концентрація; залишок гербіциду в ґрунті; польовий експеримент; фітотоксичність	

* E-mail: kitok40@gmail.com

Форма цитування: Тохтарь К.І., Гаврилюк Ю.В. Чи можливе безпечне використання пестицидів?. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 90. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2020. С. 76-85. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss90-08>

1. Загальна оцінка ситуації щодо інформованості суспільства про шкочинність пестицидів

Наявний досвід використання хімічних засобів захисту рослин свідчить про те, що людство ніколи не буде мати повної впевненості щодо оцінки всіх наслідків впливу пестицидів на живу природу, – зі збільшенням суми знань, прогресу в техніці і методах спостережень розкриваються все нові й нові, неочікувані і, здебільшого, негативні, наслідки їх дії, які ніяк не передбачувались їх виробниками [1].

Вплив пестицидів через харчові ланцюжки становить для людини набагато більшу небезпеку, ніж радіоактивність від атомних електростанцій та інших джерел радіації. І це не тому, що радіонукліди ніби-то, більш безпечні, ніж біоциди, а тільки тому, що небезпека радіоізотопів для людини в цілому загальновизнана і широковідома, в той час, як токсичність пестицидів відома далеко не в повному обсязі, що збільшує їх небезпеку, яку ще і ще раз необхідно постійно і якнайбільше підкреслювати [2].

Навіть поверхнєве знайомство з історією хімічного захисту рослин і сучасними технологічними прийомами повністю підтверджує правильність такого застереження. Мова йде про інсектициди другого покоління - ДДТ, ГХЦГ та інші хлорорганічні сполуки. Понад 70 років пройшло вже з моменту офіційної реєстрації їх як пестицидів, а досє на них і дотепер ще продовжує поповнюватись. Та й заборонений був ДДТ не стільки в силу його особливої токсичності, не тому, що він набагато небезпечніший, ніж інші сучасні пестициди, а лише тому, що він був першим синтетичним пестицидом і тому був найбільш ґрунтовно вивчений в токсикологічному розумінні. Не слід забувати й про те, що пестициди та хімічні сильнодійні отруйні речовини є близькими родичами. І приклад такого споріднення – це, зокрема, фосфорорганічні сполуки, представники яких здатні викликати масові отруєння усього живого. Проте багато пестицидів цього класу і до сьогодні чомусь дозволені до використання як біоциди [3].

Труднощі прогнозування дії пестицидів багаторазово посилюються складністю життєвих циклів у всіх живих істот і наявністю різноманітних взаємозв'язків між живими компонентами біогеоценозу. Зміна ставлення у світі до застосування пестицидів значною мірою зобов'язана так званому ефекту бумерангу, тобто, супутній пестицидам токсичній дії і післядії. Очевидно, що це характерно для будь-якого потужного, постійно діючого екологічного чинника, що вводиться в агроландшафт і викликає в ньому цілий ряд супутніх негативних явищ [4].

По-перше, повсюдно реєструється пряма або перехресна адаптація шкідливих видів біоти – поява пестицидрезистентних форм у генетично гетерогенній популяції шкідника або фітопатогена. Їх уже зафіксовано понад 500 видів шкідників.

По-друге, широко розповсюджена біоцидна дія пестицидів на корисну біоту (і перш за все, на бджіл) внаслідок недостатньої селективності препаратів, їх передозувань, винесення за межі оброблюваної ділянки та міграції або внаслідок порушень регламенту застосування (температура, відносна вологість повітря, полідисперсність розчинів тощо).

По-третє, виключно серйозною стає і проблема накопичення залишків пестицидів у ґрунті та в продукції. Особливу небезпеку становить їх здатність до міграції в різних ланках і системах, по харчових ланцюжках, а для ліпофільних речовин – ще й біоконцентрація.

Шкодочинність пестицидів у ґрунті не вичерпується лише їх прямою токсичною дією. Разом з цим тут утворюються стабільні метаболіти, які є прямою загрозою для навколишнього середовища, і зокрема – всієї ґрунтової біоти. Так, у ґрунтах, де раніше застосовували ДДТ, вміст його метаболітів і за токсичністю, і за кількістю перевищує вміст вихідної речовини. А поряд із залишками стійких сім-триазинових гербіцидів у ґрунті відкриваються і досить персистентні продукти розпаду, що чинять більш сильну мутагенну дію, ніж самі триазини.

Багато пестицидів, зокрема широко застосовуваний гербіцид – діхлорфеноксіоцтова кислота (2,4-Д), містять, як постійні домішки, поліхлоровані діоксини – одні з найбільш отруйних речовин, що здатні, навіть у найменших кількостях, виявляти тератогенну, канцерогенну та мутагенну активності [5, 6].

Дослідженнями, проведеними в штаті Канзас (США), виявлено, що використання пестицидів групи 2,4-Д в 6 разів збільшує виникнення у фермерів ракових пухлин і у 8 разів – у тих, хто безпосередньо готує робочі розчини та застосовує їх у полі [7]. Існує достатня доказова база свідчень, що немає жодного пестициду, який би у дослідженнях на багатьох тест-системах не показав мутагенної, тератогенної або пухлинотворної активності [2, 3, 8, 9].

Знизити рекомендовані дози пестицидів без зниження їх ефективності та скоротити витрати на засоби захисту рослин – заповітна мрія кожного агронома. Одним із таких шляхів є синтез нових гербіцидів з нормами витрат, майже в сотні разів меншими ніж існуючі. Цей шлях започаткували у 80-х роках минулого століття фахівці фірми «Дюпон» і на ринок стали надходити гербіцидні препарати з класу сульфонілсечовин – Мілагро, Хлорсульфурон, Тітус, Хармоні, Ларен та інші. З уведенням в обіг цих сполук було проголошено «...нову еру в технології захисту рослин» [10]. Висока гербіцидна активність у наднизьких дозах (6-40 г/га), широкий спектр дії, низька токсичність для людини і всієї живої природи, швидке розкладання в об'єктах навколишнього середовища (усього декілька тижнів) – хіба це не оптимальний варіант?

Однак, незабаром з'ясувалося, що ряд представників цієї групи пестицидів має мутагенні ефекти [9, 11], а їхні залишки у ґрунті, навіть у дуже малій кількості (менше 0,2-0,5 г/га) призводять до загибелі багатьох широколистих культур [12]. Унікальна біологічна активність сульфонілсечовинних гербіцидів (ССГ) змушує проводити моніторинг їх негативної післядії навіть за показником T_{99} , тобто за 99 % розпаду гербіцидів у ґрунті. Такий моніторинг доцільніше виконувати методом біотестування.

Прихована токсичність залишкових кількостей деяких похідних ССГ у ґрунті проявляється у зниженні (на 15-25 %) врожаю сільськогосподарських культур, обумовленому пригніченням метаболізму ще на ферментативному рівні. Тобто ще коли у чутливих рослин не спостерігається помітних зовнішніх змін (пожовтіння і деформація листя, скривлення стебла), а може відзначатися лише деяке стоншення стебла, зменшення розмірів листових пластинок, генеративних органів і т. ін. Візуально помітними ці ознаки стають тільки на рівні 40-45 % зниження біомаси культури. Вловити ці приховані зміни вдається лише шляхом порівняння з іншими рослинами, вирощеними на незабрудненому ґрунті. В зв'язку з цим

здійснення жорсткого екологічного контролю в практиці застосування цих гербіцидів стає важливим завданням [13, 14].

Неодноразово доведено [14, 15], що ступінь прояву та рівень ефективних доз пестицидів, залежно від погодних умов, може коливатись більше, ніж у 4 рази, а залежно від ґрунтово-кліматичних умов – більше, ніж у 10 разів. Тим не менше, гранично допустимі концентрації (ГДК) гербіцидів класу сульфонілсечовин розраховані чомусь тільки для легких піщаних ґрунтів з кислим середовищем (низьким рН), де вони й дійсно розкладаються вже за кілька тижнів. Але в несприятливих умовах (нейтральні та лужні ґрунти, недостатня вологість ґрунту, низька температура тощо) післядія цих гербіцидів виявляється навіть через 2-3 роки після їх використання.

Саме тому тільки шляхом експериментальної перевірки в конкретних ґрунтово-кліматичних умовах, у наявних у наш час сівозмінах і за певних агротехнічних заходів можливо об'єктивно оцінити долю і рівень екологічного ризику в ґрунті та інших об'єктах навколишнього середовища тих чи інших гербіцидів. Таким чином можна створити і зональний асортимент гербіцидів, який гарантує можливості маневру з розрахунком на ґрунтові, кліматичні та технологічні чи антропогенні фактори, щоб запобігти формуванню резистентності бур'янів, користуючись у різні роки різними класами хімічних сполук.

Мета роботи – довести за допомогою експериментально перевірених аргументів, що хімічний спосіб боротьби з бур'янами є акцією з примарним успіхом, коли реальні втрати якості довкілля маскуються швидкими тимчасовими економічними ефектами.

2. Об'єкти і методи експериментальних робіт

Впродовж 2004–2011 рр. у стаціонарних дослідках лабораторії технології вирощування кукурудзи Луганського інституту АПВ було проведено екологічну експертизу цілого ряду гербіцидних препаратів, широко застосовуваних у сільськогосподарському виробництві. А оскільки сучасні гербіциди не є достатньо селективними до тієї культури, на якій використовуються, поряд з вирішенням проблем боротьби з забур'яненістю, досліджували й питання фітотоксичності цих препаратів до основної культури, а також токсичності впливу залишкових кількостей їх у ґрунті на наступні культури в сівозміні. Основною культурою у дослідках була кукурудза, наступні культури сівозміни – овес і соняшник. Метою експериментів було також дослідити відповідність введених у Реєстр пестицидів затвердженим нормативним регламентам їх використання.

Ґрунт, на якому проводили дослідження – чорнозем звичайний середньогумусний на лесоподібному сулгинку. Потужність гумусового горизонту – 55-60 см, вміст гумусу в орному шарі ґрунту – 4,2 % (за Тюрнімом), рН водний – 7,2-7,3, сума обмінних основ – 40-41 мг-екв. на 100 г ґрунту.

У польових експериментах було досліджено такі варіанти застосування гербіцидів:

1. Контроль-1 - без гербіцидів та ручних прополовань;
2. Контроль-2 - без гербіцидів + 2 ручних прополовання;
3. Примекстра Голд (суміш S - Метолахлор+Атразин), 2 л/га + Хармоні (тіфенсульфурон), 10 г/га;
4. Примекстра Голд, 3 л/га;
5. Харнес, 2,5 л/га;
6. Мілагро (нікосульфурон, 40 г/л), 1,25 л/га;
7. Мілагро, 1,50 л/га;
8. Контроль-2 + Мілагро, 1,25 л/га;
9. Контроль-2 + Мілагро, 1,50 л/га;
10. Діален Супер, 1,50 л/га;
11. Контроль-2 + Діален Супер, 1,5 л/га;
12. 2,4-Д (500 г/л), 1,10 л/га;
13. Контроль-2 + 2,4-Д, 1,10 л/га;
14. Хармоні, 15 г/га;
15. Контроль-2 + Хармоні, 15 г/га;
16. Дикамба (480 г/л), 0,6 л/га.

Ґрунтові гербіциди (Примекстра Голд і Харнес) вносили шляхом обприскування поверхні ґрунту перед передпосівною культивацією, а страхові гербіциди (Мілагро, Діален Супер, Хармоні, 2,4-Д і Дикамба) використовували у фазі 3-5 листків культури шляхом обприскування посівів.

Загальна площа елементарної ділянки – 75 м², облікова – 50 м². Повторність триразова. Всі варіанти досліду розміщували за рендомізованою схемою. На цих же дослідних ділянках у наступному році після внесення гербіцидів вивчали післядію використаних гербіцидів на культурах, найбільш чутливих до них у сівозміні.

Визначення вмісту залишків гербіцидів у ґрунті (в шарі 0-25 см) проводили методами тонкошарової та газорідної хроматографії згідно з методичними рекомендаціями [16, 17]. Терміни відбирання проб ґрунту визначали залежно від періодів напіврозпаду (Т₅₀) тих чи інших гербіцидів [18]. Облік урожаю виконували методом суцільного збирання з наступним визначенням вологості зерна і перерахуванням його на стандартну вологість. Узагальнення матеріалів та аналіз результатів досліджень здійснювали згідно з методичними посібниками [19, 20].

3. Результати досліджень та їх обговорення

3.1. Фітотоксичність гербіцидів. Вплив на основну культуру

Гербіциди частіше за все є сильнодійними біологічно активними речовинами, використання яких в агроценозах призводить до суттєвих змін як у фізіології культурних рослин, так і у рості й розвитку бур'янів. Тому в агрохімічних дослідках доцільніше, насамперед, з'ясувати вплив гербіцидних препаратів на біологічні властивості основної культури. Через те для визначення одного з проявів фітотоксичності (точніше, прихованої токсичності) основних гербіцидів до вирощуваної культури недостатньо йти за традиційною схемою дослідів. Автори роботи з власного досвіду дійшли висновку, що обов'язково слід, крім основного контролю без гербіцидів і ручних прополювань, ввести додатковий варіант контролю – без гербіцидів, але з двома ручними прополюваннями. У такому разі обробка гербіцидами чистих від бур'янів посівів дає змогу з'ясувати, наскільки знижується (або підвищується) врожайність кукурудзи під впливом того чи іншого гербіциду [21]. Достовірне зниження урожайності зерна кукурудзи під дією 2,4-Д було доведено нашими більш ранніми роботами [22].

Оскільки відомо, що діален супер – це сумішевий препарат, тобто, складається з гербіцидів 2,4-Д (344 г/л) і дикамби (120 г/л), і за результатами попередніх трьох років констатовано зменшення від його дії виходу зерна на 19-24 %, треба було з'ясувати, яка із складових препаратів є більше шкодочинною стосовно кукурудзи. Тому в 2009-2011 рр. до гербіцидної схеми було включено ще й варіанти з 2,4-Д (з діючою речовиною 500 г/л) і контролем-2 плюс 2,4-Д (500 г/л). У подальшому фітотоксичність гербіцидів визначали з порівняння врожаїв зерна кукурудзи на контролі-2, чистому від бур'янів, із таким самим контролем-2, де було внесено той чи інший гербіцид (Табл. 1).

Статистичний аналіз результатів дослідів показав, що критерії достовірності для варіантів 8, 9, 11 і 15: $t_{\phi 8}=7,459$; $t_{\phi 9}=8,742$; $t_{\phi 11}=7,857$; $t_{\phi 15}=7,159$ – набагато перевищують (навіть при рівні значущості $P=0,01$) свої табличні значення. Це однозначно вказує на не випадковість відмінностей, виявлених порівняно з другим (чистим) контролем і на присутність високої фітотоксичності гербіцидів.

На варіанті (№ 2), де не застосовували гербіцидів, а просто два рази прополювали бур'яни, урожай зерна кукурудзи був найвищим. Але будь-який гербіцид, застосовуваний на цьому фоні, вносив негативний ефект. Найсильнішим був вплив гербіциду Хармоні (варіант №15), який спричинив зниження урожаю на 29,2 %. Далі за зменшенням розміру шкодочинності йдуть варіанти № 9→11→8→13.

Слід зауважити, що чільні місця в цьому переліку займають саме представники вищезгаданих ССГ: тіфенсульфурон-метіл (Хармоні) і нікосульфурон (Мілагро), які вважалися винятково безпечними [10, 23]

Гербіцид 2,4-Д (варіант № 13), взятий навіть у більшій дозі, ніж він міститься у складі діалену супер, теж виявив свою високу токсичність до основної культури, але лише на рівні $P=0,05$, знизивши врожайність зерна кукурудзи на 0,45 т/га, або на 10,9 % порівняно з варіантом № 2. Судячи з цього, дикамба істотно впливає на кінцевий результат, підсилюючи загальну токсичність гербіциду діален супер (варіант №11) на 0,32 т/га, або на 41,6 %. І це незважаючи на те, що діючої речовини його в суміші ми маємо лише 34,9 %, тобто майже втричі менше. Доречно підкреслити, що згідно з санітарно-гігієнічними регламентами токсичність діалену супер вимірюється чомусь за токсичністю лише одного складника – 2,4-Д, а гранично допустимі концентрації іншого складника – дикамби ні в ґрунті, ні в продукції не розроблено.

Таблиця 1

Урожайність кукурудзи (зерно) в дослідках з гербіцидами (2004 – 2011 рр.)

№	Варіант	Урожайність кукурудзи, т/га				Відносно контрольних варіантів, %	
		по повтореннях			середня	№ 1	№ 2
		I	II	III			
1	Контроль-1 (без гербіцидів та ручних прополовань)	1,90	1,98	1,88	1,92	100	46,7
2	Контроль-2 (без гербіцидів + 2 ручних прополовання)	4,01	4,10	4,23	4,11	214,4	100
3	Примекстра Голд, 2 л/га + Хармоні, 10 г/га	2,91	2,93	2,97	2,94	153,1	71,5
4	Примекстра Голд, 3 л/га	2,85	2,73	2,60	2,73	142,2	66,4
5	Харнес, 2,5 л/га	2,19	2,25	2,27	2,24	116,7	54,5
6	Мілагро, 1,25 л/га	2,99	3,04	3,18	3,07	159,9	74,7
7	Мілагро, 1,50 л/га	3,24	3,48	3,38	3,37	175,5	82,0
8	Контроль-2 + Мілагро, 1,25 л/га	3,55	3,35	3,85	3,42	178,1	83,2
9	Контроль-2 + Мілагро, 1,50 л/га	3,37	3,18	3,38	3,31	172,4	80,5
10	Діален Супер, 1,5 л/га	3,35	3,22	3,40	3,32	172,9	80,8
11	Контроль-2 + Діален Супер, 1,5 л/га	3,43	3,19	3,39	3,34	174,0	81,3
12	2,4-Д (500 г/л), 1,10 л/га	2,71	2,90	2,84	2,82	146,9	68,6
13	Контроль-2 + 2,4-Д, 1,10 л/га	3,64	3,76	3,59	3,66	190,6	89,1
14	Хармоні, 15 г/га	3,28	3,32	3,54	3,39	176,6	82,5
15	Контроль-2 + Хармоні, 15 г/га	2,85	2,91	2,98	2,91	151,6	70,8
16	Дикамба (480 г/л), 0,6 л/га	3,25	3,40	3,48	3,38	176,0	82,2

 $\bar{Sx}=0,08$; $Sd = 0,12$; $HIP\ 05=0,24$

Таким чином, результати експерименту красномовно свідчать про високу фітотоксичність гербіцидів стосовно кукурудзи, під час вирощування якої їх застосовано. На варіанті без гербіцидів з двома ручними прополованнями (№2) урожай був найвищим, а на всіх варіантах з пестицидами констатовано істотне зниження врожаю зерна.

3.2. Залишки гербіцидів і їх вплив на наступні культури сівозміни

За інтенсивного застосування гербіцидів виникає небезпека накопичення в ґрунті певної кількості діючих речовин, їх метаболітів, а також впливу всіх цих забруднювачів на наступні культури в сівозміні. Визначення вмісту в орному шарі ґрунту залишкових кількостей гербіцидів через 2-5 місяців після їх застосування (Табл. 2) повністю підтвердило результати, здобуті раніше [24].

В достатньо великій кількості продовжує виявлятися 2,4-Д: і на 63-тю, і на 108-му, і навіть на 150-у добу з моменту внесення цього гербіциду, залишки його в ґрунті є на межі гранично допустимої концентрації. Поведінка 2,4-Д нагадує історію хлорорганічних пестицидів (ДДТ, ГХЦГ та інші), проте похідні феноксикислот ніколи не відносились до персистентних, а термін їх перебування у ґрунті обмежувався лише 3-4 тижнями [18]. Залишки ж хлорорганічних пестицидів продовжують виявлятися, як і раніше, у різних кутках нашої планети, хоча з того часу, як заборонили їх використання, минуло понад 50 років [25], а за ствердженнями гігієністів, вони повинні були повністю розкластися у ґрунті щонайбільше через 5-10 років [26].

Про небезпеку залишкових кількостей 2,4-Д свідчить ще й той факт, що гербіцидами цього класу і їх сумішками наразі оброблюються найбільші площі пшениці, ячменю і кукурудзи в Україні. Міністерство охорони здоров'я щорічно обмежує обсяги застосування препаратів на основі 2,4-Д, основною причиною чого є постійне виявлення залишків 2,4-Д в молочній продукції і м'ясі [27].

Таблиця 2

Залишки гербіцидів у ґрунті через певний час після внесення (польові досліді 2004 – 2011 рр.)

№	Варіант	Вміст пестицидів, мг/кг			ГДК ¹ у ґрунті
		Час від дня застосування, діб			
		63	108	150	
1	Мілагро, 1,25 л/га	0,152	0,109	0,076	0,2
2	Мілагро, 1,50 л/га	0,210	0,140	0,099	0,2
3	Діален Супер (2,4-Д), 1,5 л/га	0,222	0,152	0,105	0,1
4	2,4-Д (500 г/л), 1,10 л/га	0,183	0,146	0,087	0,1
5	Хармоні, 15 г/га	0,166	0,123	0,076	0,05
6	Примекстра Голд (Метолахлор+Атразин), 2,0 л/га + Хармоні, 10 г/га				
	Хармоні, 10 г/га	0,144	0,106	0,069	0,05
	Метолахлор, 800 г/л	0,560	0,445	0,333	0,02
	Атразин, 640 г/л	0,371	0,232	0,141	0,5 (0,01) ²
7	Примекстра Голд (Метолахлор +Атразин), 3,0 л/га				
	Метолахлор, 1200 г/л	0,643	0,578	0,380	0,02
	Атразин, 960 г/л	0,404	0,265	0,152	0,5 (0,01) ²
8	Харнес (ацетохлор), 2,5 л/га	0,685	0,543	0,335	0,5

¹ ГДК - гранично-допустима концентрація згідно з [28];² (0,01) – ГДК Атразину за фітотоксичністю

Результатами досліджень впродовж 2004-2011 років виявлено, що 2,4-Д з діалену супер або дікаму плюс постійно зберігається у ґрунті набагато довше і набагато більше, ніж 2,4-Д з препаратів з однією діючою речовиною (амінка, 2,4-Д 500, ультра 720). Це, перш за все, треба віднести на рахунок другого компонента названої суміші – дикамби, який, до того ж, значно сильніше діє і на врожайність зерна кукурудзи.

Аналогічна ситуація спостерігається і щодо залишків гербіцидів – похідних хлорацетанілідів, триазинів і сульфонілсечовини. У всіх випадках результати аналізів (Табл. 2) свідчать про значне перевищення концентрацій метолахлору й атразину відносно ГДК. До речі, гербіциди з групи триазинів – єдині препарати, для яких встановлено ГДК в ґрунті за фітотоксичними показниками [29].

Констатовано і високий вміст у ґрунті залишків таких гербіцидів, як хармоні (тіфенсульфурон-метіл) і мілагро (нікосульфурон). При цьому необхідно враховувати, що існують і певні частки гербіцидів, які взаємодіють з органічною частиною ґрунту (їх налічується до 30-40 %) і зазвичай ці кількості не враховуються під час хімічного визначення залишків пестицидів, бо наразі ми не спроможні аналітично виділити їх із ґрунту. Проте вони зберігають свої біоцидні властивості й надалі [30].

Для практичного рослинництва надзвичайно важливим є не стільки точний аналіз залишків кожного з використовуваних препаратів, скільки можливість визначення сумарної фітотоксичності обробленого пестицидами ґрунту та ступеню безпеки вирощування наступних культур у сівозміні. Нашими дослідженнями виявлено (Табл. 3), що, крім фітотоксичності пестицидів, існує ще й прихована токсичність їх залишків у ґрунті щодо культур, які вирощують після кукурудзи (овес, соняшник).

У досліді з вівсом це стосується, перш за все, варіантів із примекстра голд (№ 3 і № 4), де різниця за врожайністю зерна, порівняно з контролем (№ 2) становить 0,51 і 0,58 т/га відповідно, що значно перевищує межі можливих відхилень і вважається істотною різницею навіть за рівня значущості 1 %. Достовірне зниження врожайності зерна зафіксовано і під впливом залишків мілагро (№ 8 і № 9) – врожайність була на 0,46 і 0,48 т/га (23 і 24 %) нижчою, ніж на контрольному варіанті (№ 2). Така ж ситуація щодо впливу залишків гербіцидів виявляється і в урожаї насіння соняшнику, де з аналогічними рівнями значущості відмічено істотне зниження у варіантах з мілагро (1,50 л/га: № 9 і № 7) – 0,43 і 0,50 т/га (24,5 і 28,6 %), а також в обох варіантах (№ 3 і № 4) з препаратом примекстра голд – 0,48 і 0,59 т/га (27,4 і 33,7 %).

Щодо ушкодження рослин вівса і соняшнику, коли листя поступово знебарвлюється і набуває вигляду пергаментного паперу, але не втрачає тургору, саме атразин, блокуючи реакцію утворення хлорофілу в хлоропластах листка, і є причиною загибелі цих культур у варіантах із внесенням і 2-х, і 3-х л/га гербіциду примекстра голд.

Таблиця 3

Дія залишків гербіцидів на врожайність вівса і соняшнику, вирощуваних після кукурудзи (польові досліді 2004 – 2011 рр.)

№	Варіант	Урожайність культур сівозміни, т/га							
		Овес (зерно)				Соняшник (насіння)			
		I	II	III	середня	I	II	III	середня
1	Контроль-1	1,75	1,69	1,60	1,68	1,40	1,43	1,52	1,45
2	Контроль-2	1,86	2,01	2,14	2,00	1,65	1,83	1,78	1,75
3	Примекстра Голд, 2 л/га + Хармоні, 10 г/га	1,53	1,43	1,52	1,49	1,34	1,01	1,27	1,27
4	Примекстра Голд, 3 л/га	1,50	1,46	1,31	1,42	1,09	1,22	1,16	1,16
5	Харнес, 2,5 л/га	1,66	1,61	1,59	1,62	1,40	1,48	1,43	1,44
6	Мілагро, 1,25 л/га	1,67	1,69	1,71	1,69	1,42	1,39	1,47	1,43
7	Мілагро, 1,50 л/га	1,59	1,54	1,48	1,54	1,15	1,27	1,33	1,25
8	Контроль-2 + Мілагро, 1,25 л/га	1,61	1,68	1,62	1,64	1,45	1,43	1,49	1,46
9	Контроль-2 + Мілагро, 1,50 л/га	1,49	1,50	1,56	1,52	1,31	1,35	1,30	1,32
10	Діален Супер, 1,5 л/га	1,64	1,85	1,71	1,73	1,56	1,46	1,51	1,51
11	Контроль-2 + Діален Супер, 1,5 л/га	2,25	2,07	1,96	2,09	1,53	1,52	1,59	1,55
12	2,4-Д (500 г/л), 1,10 л/га	1,75	1,86	1,78	1,80	1,59	1,73	1,75	1,69
13	Контроль-2 + 2,4-Д, 1,10 л/га	1,81	1,83	1,86	1,83	1,65	1,78	1,80	1,74
14	Хармоні, 15 г/га	1,73	1,60	1,75	1,69	1,41	1,47	1,57	1,48
15	Контроль-2 + Хармоні, 15 г/га	1,77	1,65	1,77	1,73	1,39	1,43	1,51	1,44
16	Дикамба (480 г/л), 0,6 л/га	1,83	1,90	1,88	1,87	1,55	1,49	1,56	1,53
Статистичні характеристики		F факт=8,45 F0,5=1,95 HIP 0,5 =0,35 т/га				F факт=8,29 F0,5=1,95 HIP 0,5 =0,39 т/га			

Отже, саме залишки пестицидів через рік після застосування призвели не лише до зниження майже на всіх варіантах урожаю вівса і соняшнику, але й до погіршення, у деяких випадках, фізичного стану рослин.

3.3. Відповідність введених у реєстр гербіцидів регламентам їх використання

У Законі України «Про захист рослин» [31] сформульовано конкретні вимоги щодо використання пестицидів, зокрема такі:

- 1) суворе дотримання регламентів їх застосування;
- 2) збереження корисної флори і фауни;
- 3) недопущення пошкодження рослин, погіршення їх стану та забруднення продукції рослинного походження і довкілля засобами захисту рослин;
- 4) здійснення обов'язкового державного контролю.

За весь час проведення екологічної експертизи гербіцидів (2004-2011 рр.) ми констатували безліч суттєвих порушень як регламентів застосування гербіцидів, так і самого Закону України. Це стосується, насамперед, термінів присутності в ґрунті і 2,4-Д, і хармоні, і мілагро, і атразину, які були набагато тривалішими, ніж передбачено встановленими нормами безпеки. А персистентність пестицидів – це не тільки терміни перебування їх в тому чи іншому природному середовищі, а й збереження характерної для них високої біологічної активності, неодмінної дії на флору і фауну та можливості транслокації їх в рослини і врожай, як, до речі, це неодноразово акцентувалось щодо 2,4-Д і похідних сим-триазинів [3, 5, 27, 29].

Треба підкреслити і той факт, що залишки мілагро в жодному з досліджуваних варіантів не перевищували гранично допустимих концентрацій їх у ґрунті, встановлених Мінздравом України за санітарно-гігієнічними критеріями. Але, попри це, кожного разу, досліджуючи післядію гербіцидів, ми констатували істотні зниження врожайності зерна вівса і насіння соняшнику.

Стосовно примекстри голд (суміш препаратів метолахлору – 400 г/л й атразину – 320 г/л), то тут залишки метолахлору набагато перевищували ГДК, а залишки атразину

ніколи навіть не досягали рівня ГДК. Тим не менше зовнішні ознаки ураження як вівса, так і соняшнику чітко вказують на те, що причиною зниження врожайності цих культур у всіх випадках був саме атразин, для якого, єдиного з усіх класів гербіцидів, ГДК встановлено не за санітарно-гігієнічною нормою, а за фітотоксичними показниками. Тобто ми маємо ще один доказ того, що санітарно-гігієнічні критерії не діють.

Пряме порушення одного з головних положень Закону України – про недопущення пошкодження рослин, погіршення їх стану та забруднення продукції рослинного походження, ми маємо у випадку з залишками хармоні, 2,4-Д і мілагро, так само, як і з високою фітотоксичністю цих гербіцидів до основної культури, що призводить до достовірного зниження врожайності зерна на 16,8-29,2 %. І тут же транснаціональні компанії з виробництва пестицидів впроваджують широку торгівлю антидотами, засобами для послаблення або зняття негативної дії пестицидів. Це ще раз свідчить про недостатність та недосконалість досліджень гербіцидів перед їх реєстрацією на державному рівні.

Наше суспільство багато років було позбавлене інформації стосовно проблеми отруєння людей і природи токсичними хімічними речовинами і, найперше, пестицидами. Така картина швидко вимальовується з аналізу практики вимушеної відмови нашої держави від великої кількості пестицидів після того, як їх шкода ставала очевидною для осіб, що ухвалювали рішення про використання тих чи інших хімічних засобів захисту рослин [1, 3, 6]. Сумнівність результатів державних випробувань пестицидів стає очевидною вже виходячи з того факту, що для деяких пестицидів після тривалого їх широкого застосування «якось несподівано» виявляється негативна побічна дія, якої ніхто раніше не передбачав, уже тому, що ефект виявляється зовсім не таким, як у інших відомих біологічно активних речовин. Цей досвід повинен слугувати нам серйозним застереженням і готувати нас до того, що кожного разу у кожній новій активній речовині, навіть після найретельніших перевірок, через деякий час впливають найпідступніші властивості. Після отримання такого типу результатів заборона цих речовин цілком природна, але саме ці обставини свідчать про те, що виданий раніше дозвіл на їх використання ґрунтувався переважно на більш ніж сумнівних критеріях [2].

Хімічний метод захисту рослин – простий у застосуванні і дає видимий, але ж і негативний ефект. Прояв забруднення навколишнього середовища настає пізніше. При цьому особливої турботи та відповідальності за негативні наслідки застосування пестициду його виробник не несе. І зрештою це проявляється в соціальній та екологічній незацікавленості цього виробника в організації вирощування чистої від залишкових кількостей пестицидів продукції [32].

Щорічно способом обприскування вноситься близько 2,2 млн т різноманітних пестицидів. Але полідисперсні крапельки пестицидів є ще й політоксичними. Априорі: великі краплі, наприклад, 400 мкм, містять в 1000 разів більше хімічної речовини, ніж у крапель 40-мікронних. В цілому, обприскувачі, як механічні генератори хімічних концентрованих аерозолів, і через 100 років своєї історії залишились при краплях французької фірми Верморель, що змінюють свої розміри від 10 мкм до 2,5 мм. В полідисперсності крапель, вираженій синергетичною їх політоксичністю, в які, до того ж, закладено величезні (до 90 %) втрати хімічної діючої речовини пестициду – і є корінь зла і вузол усіх проблем цивілізації з пестицидами [33, 34].

Наразі можливості хімічного методу боротьби зі шкідливими організмами, мабуть, дійшли до своєї межі. Цей шлях – необхідність постійного застосування все нових і нових пестицидів, все більш дорогих і з усе більш примарним успіхом, лише приховує (маскує) довготривалі втрати тимчасовими короточасними економічними досягненнями. Альтернативою хімічного захисту рослин повинні стати інтегровані програми. Сучасний рівень знань про живі організми дозволяє вирішувати багато, якщо не всі проблеми, без використання хімічних отруйних речовин [3]. Захист природи від забруднення, зокрема пестицидами, повинен бути обов'язковим завданням всіх виробників сільськогосподарської продукції. Ми повинні, нарешті, зрозуміти, що це не випадкова крапля отрути в нашій їжі, а постійне, усвідомлене отруєння людиною свого довкілля [2].

4. Заключення

1. Вся історія хімічного захисту рослин переконує нас у тому, що суспільство ніколи не буде мати повної впевненості в адекватності оцінки всіх наслідків впливу пестицидів на живу природу. За збільшенням суми знань, прогресу в техніці і методиках

спостережень з'являються все нові й нові, неочікувані раніше і, в більшості своїй, негативні наслідки їх дії, які ніяк не передбачувались їх виробниками.

2. Пестициди неминує викликають глибокі зміни в агроєкосистемах, у яких вони впроваджуються, бо мають широкий спектр токсичної дії на всі живі організми.

3. За всі роки проведення екологічної експертизи гербіцидів виявлено багато суттєвих порушень як регламентів їх застосування, так і Закону України «Про захист рослин». Мова йде про пошкодження рослин, погіршення їх стану та забруднення продукції рослинного походження і довкілля (ґрунту, води й повітря) засобами захисту рослин.

4. Повністю відсутній дієвий санітарно-гігієнічний контроль, не розроблено з цією метою і не введено в дію науково-обґрунтовані нормативи для обмеження використання шкідливих хімічних сполук в сільському господарстві. Чинна практика хімічного захисту рослин потребує глибокого перегляду.

5. Необхідно пояснювати всьому населенню можливі негативні наслідки застосування пестицидів у сільському господарстві, щоб супроводжуючий таке застосування ризик був усвідомлений суспільством.

Список використаних джерел

1. Яблоков А.В. Ядовитая приправа. Проблемы применения ядохимикатов и пути экологизации сельского хозяйства. Москва, 1990. 250 с.
2. Эйхлер В. Яды в нашей пище. Москва: Мир. 1993. 188 с.
3. Федоров Л.А., Яблоков А.В. Пестициды – токсический удар по биосфере и человеку. Москва, 1999. 509 с.
4. Соколов М.С. Возможности получения экологически безопасной продукции растениеводства в условиях загрязнения агроценозов. Сооб. №1. Важнейшие природные и ксенобиотические загрязнители. *Агрохимия*. 1995. №6. С.107-125.
5. Галиулин Р.В. Оценка поведения гербицидов 2,4-Д, пропана и их метаболитов в жидкой фазе почв и донных обложений. *Агрохимия*. 1999. №7. С. 65-70.
6. Фёдоров Л.А. Диоксины как экологическая опасность: ретроспектива и перспективы. Москва: Наука, 1993. 267 с.
7. Сайко В.Ф. Сучасні технології обробки ґрунту: проблеми, перспективи їх застосування в Україні. *Вісник аграрної науки*. 2007. №12. С. 6-8.
8. Куринный А.И. О тактике генетического контроля за применением пестицидов. *Цитология и генетика*. 1986. Т. 20, № 6. С. 463-467.
9. Клисенко М.А., Пилинская М.А. Мутагенная активность и структура пестицидов. *Цитология и генетика*. 1989. Т. 23, №5. С. 64-68.
10. Макеева-Гурьянова Л.Т., Спиридонов Ю.А., Шестаков В.Г. Сульфонилмочевинны – новые перспективные гербициды. *Агрохимия*. 1987. № 2. С. 115-128.
11. Григоренко Н.В., Ларченко Е.А. Мутагенный эффект гербицида титуса у кукурузы. *Цитология и генетика*. 2000. 34, № 5. С. 50-54.
12. Спиридонов Ю.Я., Ларина Г.Е. Вопросы мониторинга пестицидов в окружающей среде. *Агрохимия*. 1999. № 11. С. 64-71.
13. Спиридонов Ю.Я. К вопросу о последствии сульфонилмочевинных гербицидов в почвах и пути снижения их отрицательного действия на культурные растения. *Вестн. защиты растений*. 2009. № 3. С. 10-13.
14. Ларина Г.Е. Комплексная оценка действия гербицидов на компоненты агроценоза. *Агрохимия*. 2002. № 4. С. 54-74.
15. Спиридонов Ю.Я. Экологические аспекты применения сульфонилмочевинных гербицидов в сельском хозяйстве. *Агрохимия*. 1994. №7-8. С. 108-113.
16. Методические рекомендации по контролю за уровнями и изучению динамики содержания пестицидов в почве и растениях Москва: ЦИНАО-1985. 89 с.
17. Методы определения микроколичеств пестицидов. Справочник 2 т., под. ред. М.А. Клисенко. Москва, 1992.
18. Майер-Боден Г. Гербициды и их остатки. Москва: Мир, 1972. 520 с.
19. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта 5 изд., перераб. и доп. Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с.
20. Лакин Г.Ф. Биометрия. Учебное пособие для биол. спец. вузов, 4-е изд., перераб. и доп. Москва: Высшая школа, 1990. 352 с.
21. Рушковски М., Круль М. Влияние гербицидов на биологические свойства культурных растений. // Труды ВНИИЗР. 1975. Вып. 43. С.108-114.
22. Карпенко А.П., Груздо А.Н., Тохтарь К.И. Гербициды в посевах кукурузы. *Химия в сельском хозяйстве*. 1981. №7. С.41-46.
23. Токсиколого-гігієнічна оцінка і регулювання гербіцидів, що містять нікосульфурон, для захисту кукурудзи / І.В. Лепішкін, В.І. Медведєв, П.Г. Жмілько [та ін.] // *Сучасні проблеми токсикології, харчової та хімічної безпеки*. 2013. №3. С. 24-27. URL: http://protox.medved.kiev.ua/index.php/ua/categories/mechanisms-of-intoxications/item/download/107_3755bdecae3ba87dbae75ecccb5f5361
24. Тохтарь К.И. Экологическая экспертиза гербицидов. Актуальные проблемы современного землеробства: Международная научно-практическая конференция (доклады и выступления). Луганск. 2003. С. 474-480.
25. Ровинский Ф.Я., Теплицкая Т.А., Алексеева Т.А. Фоновый мониторинг загрязнения экосистем суши хлорорганическими соединениями. Ленинград: Гидрометиздат, 1990. 269 с.

26. Мельников Н.Н. Хлоруглеводороды и некоторые их производные в окружающей среде. *Агрохимия*. 1992. №6. С. 112-119.
27. Степаненко П.А., Сидоров Ю.В. Взаимодействие служб приносит результаты. *Защита и карантин растений*. 2000. № 12. С. 7-9.
28. Перелік пестицидів та агрохімікатів дозволених до використання в Україні. Київ. 2017.
29. Ладонин В.Ф., Лунев М.И. Определение остатков гербицидов по фитотоксикологическому показателю. *Защита растений*. 1983. №4. С.28-29.
30. Рачинский В.В. Об экстракции гербицидов из почвы. *Химизация сельского хозяйства*. 1988. №2. С.35-38.
31. Закон України «Про захист рослин». *Захист рослин*. 1999. №4. С.22–27.
32. Лісовий М.П. Методологія та основи концепції захисту рослин. *Вісник аграрної науки*. 2002. №9. С.25-28.
33. Пестициды – роковой феномен материальной действительности / И.Я. Веретенников. А.В. Овсянкина, Э.Л. Мельников [и др]. *Ремонт, восстановление, модернизация*. 2013. №10. С.48-52.
34. О создании нового научно-технического направления «Монодисперсные техногенные аэрозоли». И.Я.Паремский, В.Г. Островский, Ю.М. Веретенников [и др]. *Мир измерений*. 2015. № 1. С.42-44.

UDK 632.503.3

Is it possible to use pesticides safely?

K.I. Tokhtar*, Yu.V. Gavrilyuk

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

*E-mail: kitok40@gmail.com

The review article shows the chemical nature of the processes that occur due to the use of pesticides in agricultural production. Various negative aspects of the impact of pesticides and their residues on cultivated plants and the natural environment, in particular on the soil, are considered. Numerous references to the modern scientific literature and results of own long-term research in the field experiments are used as arguments for the purpose of carrying out ecological examination of herbicides. The results of experiments eloquently indicate the high phytotoxicity of pesticides against the cultivated plant during the cultivation of which they were used. In the variant without herbicides with two manual weeding (№2) the yield was the highest, and in the case of application of herbicides against this background, all variants showed a decrease in the yield of corn grain. The content of residues of most of the herbicides studied in the field experiment in the arable layer of the soil remained above the maximum allowable concentration even after five months from the moment of application. Studies showed that, in addition to the phytotoxicity of pesticides, there is also a hidden toxicity of their residues in the soil against crops grown after corn (oats, sunflower). The residues of pesticides a year after application led not only to a decrease in almost all variants of oat and sunflower yields, but also to the deterioration, in some cases, of the physical condition of plants. The effect of the herbicide aftereffect on yield reduction occurred even in cases where the residues did not exceed the allowable concentration. The results of the analysis of the situation leave no doubt that the current practice of using pesticides requires in-depth review, with emphasis in particular on integrated programs - in combination, primarily biological, agronomic and genetic methods and very limited use of pesticides.

Keywords: field experiment; herbicide; herbicide residue in the soil; maximum permissible concentration; phytotoxicity.

Citing: Tokhtar K.I., Gavrilyuk Yu.V. 2020. Is it possible to use pesticides safely? *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 90. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 76-85. (Ukr.). DOI: <https://doi.org/10.31073/acss90-08>.

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЛОДИХ НАУКОВЦІВ STUDIES of YOUNG SCIENTISTS

УДК 631.412:631.47:631.481+911.372

Особливості будови профілю ґрунтів у межах міста Одеси¹

А. І. Хохрякова

Одеська філія ДУ «Інститут охорони ґрунтів України», Україна, Одеса

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 26.08.2020 Отримано після доопрацювання 13.09.2020 Затверджено до друку 15.09.2020 Доступно онлайн 05.11.2020	У статті представлено результати обґрунтування необхідності удосконалення методичних підходів до діагностики ґрунтів населених пунктів, а також потреби у затвердженні єдиного переліку індексів генетичних горизонтів ґрунтів урбанізованих територій. Дослідження ґрунтів міста Одеси було проведено на 43 ключових ділянках (закладено 70 ґрунтових розрізів). У межах міста виділено два класи ґрунтів – природні та антропогенні (антропогенно-трансформовані), проведено параметризацію їх морфологічних ознак. У ході дослідження удосконалено методи діагностики антропогенно-трансформованих і антропогенно-створених ґрунтів шляхом введення нових індексів генетичних горизонтів та допоміжних графічних позначень фізико-механічного перетворення профілю. В результаті досліджень встановлено, що ґрунтоутворення у межах населених пунктів у степовій зоні визначається як зональними факторами, так і антропогенним впливом у зв'язку з порушенням ґрунтів (трансформацією будови, привнесенням включень тощо). Зональні ґрунти урбанізованих територій (чорноземи південні в межах м. Одеси) через розширення комплексу ґрунтоутворних процесів (більшу різноманітність факторів ґрунтоутворення) мають ширші діапазони потужності генетичних горизонтів для відповідного ґрунту. Урбаноземи мають високу варіативність показників потужності діагностичних горизонтів, що змінюється залежно від функціонального використання території міста.
Ключові слова: ґрунт міський; горизонт діагностичний; місто Одеса; міське ґрунтоутворення; урбанозем	
* E-mail: tarleva.a.i@gmail.com	

Форма цитування: Хохрякова А.І. Особливості будови профілю ґрунтів у межах міста Одеси. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 90. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2020. С. 86-90. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss90-09>

1. Вступ

Структура ґрунтового покриву території міста характеризується мозаїчним, фрагментарним поширенням комплексів природних, антропогенно-трансформованих та антропогенно-створених (техногенних) ґрунтів. Через строкатість просторового розміщення дослідження всього різноманіття ґрунтів у межах міста є достатньо складним та специфічним процесом [1].

Існують різні методичні рекомендації [2–4] та методичні підходи [5–7] щодо вивчення ґрунтів у місті взагалі та окремих їх властивостей зокрема. Все залежить від мети, яку ставлять перед собою науковці та спеціалісти з охорони навколишнього середовища. Методичні концепції дослідження ґрунтового покриву урбанізованих територій дають можливість правильно організувати процес польової та лабораторної діагностики відповідно до заданої мети.

Основним предметом польової діагностики є ґрунтовий профіль, що має більш-менш визначений для кожної таксономічної одиниці ґрунту набір генетичних горизонтів. Будова профілю будь-якого типу ґрунту є специфічною і виступає його основною діагностичною характеристикою. Використання морфолого-генетичного методу дослідження ґрунтів дає можливість створити уявлення про загальну будову ґрунтового профілю як систему морфологічних горизонтів у цілому. Будь-яка зміна факторів ґрунтоутворення відображається у будові ґрунтового профілю. За допомогою отриманих даних можна зробити попередній висновок про характер і особливості сучасної та історичної генези ґрунту [8].

Наразі не затверджено єдиного переліку індексів генетичних горизонтів ґрунтів урбанізованих територій [9, 10]. Відмінності в індексах трансформують відмінності класифікаційних схем різних ґрунтознавчих шкіл. Необхідність удосконалення і доповнення системи позначення горизонтів пов'язана із накопиченням знань про ґрунти.

Всесвітня довідкова база ґрунтових ресурсів (WRB) є міжнародно-визнаною системою класифікації ґрунтів, схваленою Міжнародним союзом ґрунтознавців і

¹ Науковий керівник роботи - Михайлюк Віктор Іванович, професор, доктор географічних наук, завідувач кафедри землеустрою та кадастру, Одеський державний аграрний університет

Міжнародною радою наукових спілок. Вона призначена для кореляції ґрунтових тіл і для визначення одиниць середньо- і дрібномасштабних карт. WRB ідеально підходить для обговорення світових ґрунтів, їх основних властивостей і генезису. Виділення діагностичних горизонтів специфічних міських ґрунтів у системі WRB визначаються поєднанням властивостей, які відображають загальний результат процесів ґрунтоутворення чи специфічні умови ґрунтоутворення. Ці властивості визначаються в польових та лабораторних умовах. Антропогенно-трансформовані та штучно-створені ґрунти, що виділяються в межах населених пунктів, віднесені до реферативних ґрунтових груп Anthrosols (головними кваліфікаторами є *urbik* (ub), *ekranik* (ek) та інші) та Technosols [11].

Згідно з сучасною класифікацією ґрунтів Росії, до основних символів генетичних горизонтів – H, O, A, E, B, C, R, I, L, W, для більш повної ідентифікації додають символи малими літерами – g, j, h, s, n, y, l, r, z, k, m, p, t, u. Символи, якими найчастіше позначають властивості міських ґрунтів: u – міський та інший антропогенний матеріал; m – сильна цементация чи ущільнення [12].

Російські вчені [9, 13] для діагностики специфічних міських ґрунтів запропонували назви таких антропогенних діагностичних горизонтів: U (від слова *urbanus* – місто) горизонт «урбік»; AYur або Aur (раніше позначався AU) гумусовий горизонт з ознаками урбопедогенезу; TCH (раніше позначався TG або TG) від англ. *technogenic* техногенний горизонт; RAT техногенний рекультиваційний горизонт (з включеннями органічних решток).

Українськими науковцями була розроблена номенклатура та індексація штучно-створених та антропогенно-перетворених ґрунтових горизонтів [14]. Так, горизонт «урбік» позначається літерою U, введено допоміжний класифікатор ur (підгоризонт «урбік») із додаванням індексу, що вказує на його (підгоризонту) розташування в профілі (ur1, ur2....). Також введено індекс градації горизонтів «урбік» за ступенем порушеності, незалежно від наявності включень: U(1), ur(1) – слабопорушений; U(2), ur(2) – середньопорушений; U(3), ur(3) – сильнопорушений; U(4), ur(4) – дуже сильно порушений.

Мета роботи – відобразити будову профілю, індексацію та потужність горизонтів природних та антропогенно-трансформованих ґрунтів у межах міста Одеси.

2. Матеріали та методи досліджень

Об'єктом дослідження є ґрунти м. Одеси в умовах окремих комплексів факторів ґрунтоутворення і типів функціонального використання території. Було закладено 43 ключ-ділянки, на яких досліджено ґрунти у 70 ґрунтових розрізах та 24 прикопках. Під час польового обстеження ґрунтів проводили морфологічний опис та відбирали проби ґрунту за генетичними горизонтами.

Морфологічний опис профілю ґрунтів виконано за ДСТУ 7535:2014, ДСТУ ISO 25177:2015, ДСТУ ISO 11259:2004. Відбір проб ґрунту здійснювали на ділянках з різними ґрунтами та різним функціональним використанням на території міста за: ДСТУ 4287:2004; ДСТУ ISO 15903:2004; ДСТУ ISO 10381-1:2004; ДСТУ ISO 10381-2:2004; ДСТУ ISO 10381-3:2004; ДСТУ ISO 10381-4:2005; ДСТУ ISO 10381-5:2009; ДСТУ 7243:2011.

3. Результати та їх обговорення

Враховуючи міжнародний і український досвід діагностики міських ґрунтів, ми застосували для опису генетичних горизонтів такі індекси: H, P, U, UN, TCH, RT, а також допоміжні «природні» (k – карбонатність; s – засолення; z – наявність копролітів тощо) та «міські» кваліфікатори (u – наявність антропогенних включень, tch – наявність техногенних відкладів тощо). У тому числі ми запропонували нові «міські» кваліфікатори для хемогенного і пірогенного горизонтів [15], і вважаємо за доцільне включити їх до традиційного основного набору індексів діагностичних горизонтів природних ґрунтів [16, 17].

Хемогенний горизонт характеризується хімічним забрудненням будь-якими речовинами (важкими металами, отрутохімікатами, вуглеводнями, радіонуклідами тощо) і є характерним для ґрунтів промислових та транспортних зон. Позначається індексом «X» (x – коли виступає у ролі кваліфікатора), але наявність горизонту (кваліфікатора) уточнюється після проведення лабораторних досліджень, оскільки найчастіше візуально не визначають жодних ознак забруднення (окрім забруднення нафтопродуктами) і порушення морфологічного профілю.

Допоміжний кваліфікатор міських ґрунтів – пірогенний – пропонуємо позначати індексом «fr» (від англ. *fire* – вогонь). Ця діагностична ознака застосовується у разі наявності у верхньому генетичному горизонті ґрунту включень попелу або вугілля. Такий

горизонт утворюється на місцях розведення вогнищ, переважно в рекреаційній зоні міста, що виникають від невпорядкованої рекреаційної діяльності.

Пропонуємо додавати до формули профілю такі позначення фізико-механічного перетворення профілю: $\downarrow\uparrow$ – перемішування, --- – насипання, --- – підстилення непроникним матеріалом.

У межах м. Одеси виділено два класи ґрунтів – природні та антропогенні, а також три групи типів – природні ґрунти, антропогенно-трансформовані ґрунти та антропогенно-створені ґрунти. В цій публікації розглянуто природні (чорноземи південні) та антропогенно-трансформовані (урбаноземи) ґрунти.

Клас природних ґрунтів у межах міста Одеси представлений чорноземами південними, які займають 14 % від загальної площі міста (2,3 тис. га).

Порівняльний аналіз морфології чорноземів південних в межах і за межами міста виявив, що потужність гумусового горизонту (Н) чорноземів південних урбанізованих територій, порівняно з цим же типовим горизонтом ґрунтів за межами міста, на 32 % менша. Під час дослідження з'ясовано, що морфологія цієї групи ґрунтів навіть за мінімального ступеня порушення відрізняється від морфології зональних ґрунтів. На ділянках сільськогосподарського призначення формуються агрогенні модифікації зональних ґрунтів, що мають характерну перебудову профілю, яка виникає під час перемішування горизонтів. Будова профілю має більш широкий діапазон потужності горизонтів (в дужках вказані нижні границі генетичних горизонтів, см): Н (23,75±2,06); Н_і (43,17±3,04); Н_р (59,44±4,47); Ph (89,29±3,66); Рк (133,69±5,15). Закипання від 10 % розчину соляної кислоти в 90 % випадків відбувається з поверхні бурхливо, що є типовим для чорноземів південних карбонатних (Табл. 1).

Таблиця 1

Дані статистичного опрацювання потужності генетичних горизонтів чорноземів південних у межах міста Одеси

Статистичні параметри	Нижня границя генетичного горизонту, см				
	Н	Н _і	Н _р	Ph	Рк
Кількість вимірювань, n	16	12	16	14	13
Найбільше значення, Max	44,00	59,00	82,00	120,00	160,00
Найменше значення, Min	13,00	18,00	26,00	70,00	100,00
Середнє арифметичне, M	23,75	43,17	59,44	89,29	133,69
Похибка середнього арифметичного, ±m	2,06	3,04	4,47	3,66	5,15
Середнє квадратичне відхилення, δ	8,24	10,54	17,90	13,69	18,57
Похибка середнього квадратичного відхилення, SD _m	1,46	2,15	3,16	2,59	3,64
Коефіцієнт варіації, V, %	34,70	24,41	30,11	15,33	13,89
Похибка коефіцієнта варіації, SV	6,13	4,98	5,32	2,90	2,72

Урбаноземи – це антропогенні глибоко-трансформовані ґрунти, профіль яких складається з діагностичного горизонту U (урбік), серії діагностичних підгоризонтів, які утворені своєрідним пилувато-гумусовим субстратом різної потужності та якості з домішками сміття; можуть підстилатися непроникним матеріалом у вигляді асфальтового покриття, фундаменту, бетонних плит, комунікацій. Як генетично самостійні ґрунти, урбаноземи виділені в межах селітебної функціональної зони міста (житлова забудова одноквартирна, багатоквартирна та змішана). Загальна площа таких ґрунтів становить 7,4 тис. га, але урбаноземи формуються та розвиваються в комплексі з іншими антропогенними глибокотрансформованими ґрунтами створюючи мозаїчність ґрунтового покриву міста й фрагментарність поширення, що дуже сильно залежить від функціонально-господарського використання території.

Порівняльним аналізом досліджених урбаноземів виявлено, що потужність горизонтів суттєво змінюється залежно від характеру використання ґрунту. Величина потужності гумусового горизонту урбік має найбільший коефіцієнт варіації, нижня границя знаходиться на відмітці від 10 до 135 см. Середнє арифметичне значення потужності урбік-горизонту становить 43,36±7,05 см, що є визначеним для даного типу ґрунтів у місті. Закипання від 10 % розчину соляної кислоти в 100 % випадків відбувається з поверхні бурхливо, що є типовим для урбаноземів (Табл. 2).

Таблиця 2

Дані статистичного опрацювання потужності генетичних горизонтів урбаноземів у м. Одесі

Статистичні параметри	Нижня границя генетичного горизонту, см				
	U_{1Htk}	U_{2tk}	U_{3tk}	U_{4tk}	U_{5tk}
Кількість вимірювань, n	22	17	15	8	3
Найбільше значення, Max	135,00	97,00	136,00	130,00	160,00
Найменше значення, Min	10,00	29,00	41,00	65,00	75,00
Середнє арифметичне, M	43,36	65,35	88,20	91,88	111,67
Похибка середнього арифметичного, $\pm m$	7,05	5,83	6,79	6,74	25,22
Середнє квадратичне відхилення, δ	33,06	24,05	26,28	19,07	43,68
Похибка середнього квадратичного відхилення, SD_m	4,98	4,12	4,80	4,77	17,83
Коефіцієнт варіації, V, %	76,24	36,80	29,80	20,76	39,12
Похибка коефіцієнта варіації, SV	11,49	6,31	5,44	5,19	15,97

4. Висновки

Будова профілю ґрунтів у межах міста Одеси обумовлена зональними особливостями умов ґрунтоутворення, а також інтенсивністю антропогенного впливу на ґрунтовий покрив. Чорноземи південні в межах міста характеризуються більш широким діапазоном потужностей горизонтів порівняно з природними чорноземами південними (за ДСТУ 4362:2004). Цю особливість антропогенного ґрунтоутворення у межах міста називаємо «ефектом азональності». Будова профілю урбаноземів дуже залежить від функціонального використання ґрунту на певній території міста, і також характеризується високою варіабельністю потужностей горизонтів, особливо верхнього, що підтверджено значеннями коефіцієнтів варіації.

Список використаних джерел

1. Хохрякова А.І. Ґрунти міст: особливості генезису, класифікації та діагностики. Вісник Одеського національного університету. Серія: Географічні та геологічні науки. 2016. Том 21. Вип. 1. С. 110–125. (28). DOI: [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2016.1\(28\).90336](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2016.1(28).90336).
2. Федорец Н.Г., Медведева М.В. Методика исследования почв урбанизированных территорий: учебно-методическое пособие. Петрозаводск, 2009. 84 с.
3. Методические указания по оценке городских почв при разработке градостроительной и архитектурно-строительной документации / А.С. Курбатова, В.Н. Башкин, А.Д. Мягкова [и др.]. Москва, 2003. 43 с. URL: <https://meganorm.ru/Index2/1/4293850/4293850684.htm>
4. Балюк С.А., Фатеев А.І., Мірошніченко М.М. Ґрунтово-геохімічне обстеження урбанізованих територій: методичні рекомендації. Харків: ННЦ «ІГА ім. О.Н. Соколовського». 2004. 54 с.
5. Попова Л.Ф., Наквасина Е.Н. Нормирование качества городских почв и организация почвенно-химического мониторинга: учебное пособие. Архангельск, 2014. 108 с.
6. Методические рекомендации по оценке загрязнения городских почв и снежного покрова тяжелыми металлами / В.А. Большаков, Ю.Н. Водяницкий, Т.И. Борисочкина [и др.]. Москва: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 1999. 31 с.
7. ДСТУ ISO 10381-5:2009. Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 5. Настанови з процедури дослідження міських і промислових ділянок щодо забрудненості ґрунту (ISO 10381-5:2005, IDT). Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018. 28 с.
8. Тортин М. Й., Жанталай П. І., Тригуб В. І. Морфологічні ознаки і будова профілю ґрунтів: навч. посібн. Одеса: Фенікс, 2010. 130 с.
9. Введение почв и почвоподобных образований городских территорий в классификацию почв России / Т.В. Прокофьева, М.И. Герасимова, О.С. Безуглова [и др.]. *Почвоведение*. 2014. № 10. С. 1155–1164. DOI: 10.7868/S0032180X14100104
10. Медведева О.В. Досвід класифікації міських ґрунтів степової зони України. *Ґрунтознавство*. 2004. Т. 5. № 1-2. С. 34–39. URL: http://ussj.cv.ua/2004_t5_1-2/Mirzak.pdf
11. World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 2014. 193 p. URL: <http://www.fao.org/3/i3794en/i3794en.pdf>
12. Самофалова И.А. Современные проблемы классификации почв: учебное пособие. Пермь: ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2012. 175 с. URL: https://pgsha.ru/export/sites/default/faculties/agrohim/cathedras/soil/soil_files/sovremennye_problemy_klassifikacii_pochv_i_a_samofalova.pdf
13. Прокофьева Т.В. Систематика почв и почвообразующих пород города Москвы и возможность включения их в общую классификацию. *Почвоведение*. 2011. № 5. С. 611–623. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16339683>
14. Мірзак О.В. Екологічні особливості едафотопів урбанізованих територій степової зони України (на прикладі м. Дніпропетровська). Автореф. дис. на здобуття н.с. канд. біол. наук. Дніпропетровськ, 2001. 19 с.

15. Хохрякова А.І. Генетичні горизонти ґрунтів урбанізованих територій, їх символіка та номенклатура (на прикладі м. Одеса). Розвиток аграрної галузі та впровадження наукових досліджень у виробництво: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. м. Миколаїв. 16-18 жовтня 2019. Миколаїв, 2019. С. 147–149.

16. Полупан Н.И., Носко Б.С., Кузьмичев В.П. Полевой определитель почв. Киев: Урожай, 1981. 320 с.

17. Символика генетических горизонтов почв, применяемая в Украинской ССР /Н.К. Крупский, В.Д. Кисель, Д.И. Ковалишин [и др.]. *Почвоведение*. 1979. № 10. С. 115-121.

UDC 631.412:631.47:631.481+911.372

Features of the structure of soil profiles within Odessa city

A. I. Khokhryakova

Odessa Branch of the State Institution «Soils protection Institute of Ukraine»

E-mail: tarleva.a.i@gmail.com

The results of substantiation of the need to improve methodological approaches to soil diagnostics on the territory of settlements, as well as the need to approve a single list of indices of soil genetic horizons of urban areas are presented. Soil research in the city of Odessa was performed at 43 key sites (70 soil profile cuts). Within the city, two classes of soils - natural and anthropogenic (anthropogenically transformed and anthropogenically created (urbanozem)) were identified and parameterized morphological characteristics of soils were determined. The results of the research were used to improve the methods of diagnostics of anthropogenically transformed and anthropogenically created soils by introducing new indices of genetic horizons and auxiliary graphic symbols to indicate the physical and mechanical transformation of the soil profile. It is revealed that the processes of soil formation within the city in the steppe zone are determined by both zonal natural factors and specific anthropogenic impact within a large industrial city. Signs of soil disturbance are, first, the transformation of the structure of the profile, the change in the depth of genetic horizons, the inclusion of various artifacts, and so on. Zonal soils in urban areas (southern chernozems within the city of Odessa) due to the expansion of the complex of soil-forming processes (greater variety of soil formation factors) have wider ranges of depth of genetic horizons compared to natural soil. Urban soils also have a high variability in the depths of diagnostic horizons, which depends on the functional use of land within the city.

Keywords: Odessa; diagnostic horizon; urbanozem; urban soil formation; urban soil.

Citing: Khokhryakova A.I. 2020. Features of the structure of soil profile within Odessa city. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 90. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 86-90. (Ukr.). DOI: <https://doi.org/10.31073/acss90-09>.

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**АГРОХІМІЯ і
ГРУНТОЗНАВСТВО**

Випуск 90

Міжвідомчий тематичний науковий збірник

Відповідальний за випуск канд. с.-г. наук Т.М. Лактіонова

**Адреса редколегії: 61024, Харків, вул. Чайковська, 4,
тел.: (057) 704-16-69;
e-mail: agrochemsoilsci.org@gmail.com;
www.agrochemsoilsci.org**

Підписано до друку .27.10.2020. Формат 6090/8.
Папір офсетний. Гарнітура «Таймс».
Наклад 50 пр. Зам. №

Надруковано у ТОВ «Смугаста типографія»
Україна, 61002, Харків, вул. Чернишевська, 28а.
057 754-49-42