
ОЦІНКА ЕКОЛОГО-АГРОХІМІЧНОГО СТАНУ ЗЕМЕЛЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ОСНОВІ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВІДБОРУ ҐРУНТОВИХ ЗРАЗКІВ

О.М. ГРИЩЕНКО,

кандидат сільськогосподарських наук,

E-mail: grischenkoel@ukr.net,

ORCID: 0000-0002-1241-7183

Державна установа «Інститут охорони ґрунтів України»

Є.В. БУТЕНКО,

кандидат економічних наук, доцент,

Email: Butenko@nubip.edu.ua,

ORCID: 0000-0002-5923-5838,

Національний університет біоресурсів і природокористування України

В.О. ГРИЩЕНКО,

студентка,

E-mail: grischenkovik@gmail.com,

ORCID: 0009-0003-8550-2033

Національний університет біоресурсів і природокористування України,

Державна установа «Інститут охорони ґрунтів України»

В.С. БОЖОК,

студентка,

E-mail: hiz23-v.bozhok@nubip.edu.ua,

ORCID: 0009-0002-1646-4937

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Д.В. ВИННИК,

студентка,

E-mail: hiz23-d.vynnyk@nubip.edu.ua,

ORCID: 0009-0008-1698-942X

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Анотація. У статті здійснено оцінку еколого-агрохімічного стану земель сільськогосподарського призначення із застосуванням автоматизованого комплексу відбору проб ґрунту *Vodenprobenehmer N2006*. Обґрунтовано актуальність використання автоматизованих технологій ґрунтового моніторингу в умовах інтенсифікації аграрного виробництва, розвитку точного землеробства та необхідності оцінювання земель, що зазнали воєнного впливу.

Дослідження проведено на земельній ділянці площею 279,4 га, розташованій за межами с. Бригадирівка Ізюмської ТГ Ізюмського району Харківської області. Для оцінювання стану ґрунтового покриву було відібрано 60 об'єднаних проб з орного шару 0–30 см із поділом території на елементарні ділянки площею до 5 га.

Проведено лабораторне визначення основних агрохімічних і еколого-токсикологічних показників ґрунту, зокрема реакції ґрунтового розчину, вмісту гумусу, легкогідролізованого азоту, рухомих сполук фосфору, калію, мікроелементів і важких металів. Статистичну обробку результатів виконано з визначенням середньозважених значень, меж варіювання та коефіцієнтів варіації.

Встановлено, що ґрунти досліджуваної ділянки характеризуються близькою до нейтральної реакцією ґрунтового розчину та високим вмістом гумусу, що свідчить про збереження природного потенціалу родючості. Водночас виявлено дисбаланс окремих агрохімічних показників, зокрема низьку забезпеченість легкогідролізованим азотом, дуже низький вміст рухомих сполук цинку та низький вміст марганцю. За результатами еколого-токсикологічного оцінювання встановлено поширення підвищеного вмісту рухомих сполук кадмію на значній частині досліджуваної площі, а також слабкий і помірний рівні забруднення свинцем в окремих елементарних ділянках.

Отримані результати свідчать про просторову неоднорідність агрохімічних і токсикологічних показників, що може бути пов'язано як із природною мозаїчністю ґрунтового покриву, так і з локальним воєнно-техногенним впливом. Обґрунтовано доцільність використання автоматизованих систем відбору проб для формування електронних карт ґрунтових показників, моніторингу забруднення, планування рекультиваційних заходів і впровадження елементів точного землеробства.

Ключові слова: ґрунт, еколого-агрохімічна оцінка, автоматизований відбір проб, Bodenprobenehmer N2006, агрохімічні показники, важкі метали, воєнний вплив, точне землеробство.

Актуальність

Сучасна оцінка ґрунтів в Україні здійснюється в умовах поєднання інтенсифікації сільськогосподарського виробництва, кліматичних змін, деградації ґрунтового покриву та масштабного воєнного впливу на земельні ресурси. Це зумовлює потребу в підвищенні точності, оперативності та просторової деталізації ґрунтового моніторингу [1–5].

Традиційні методи оцінювання ґрунтів, зокрема ручний відбір проб, бонітування та еколого-агрохімічна паспортизація, залишаються важ-

ливою методичною основою, однак не завжди забезпечують достатню швидкість і репрезентативність отримання даних для сучасного управління земельними ресурсами [6, 8, 11]. Особливо це стосується земель, що зазнали бойових дій, де забруднення і деградаційні процеси часто мають локальний та мозаїчний характер [4, 5].

Воєнний вплив на ґрунти проявляється через механічне руйнування профілю, утворення окопів, вирв і бліндажів, переуцільнення орного шару важкою технікою, пірогенний вплив пожеж, а також потенційне забруднення важкими металами,

залишками вибухових речовин, паливно-мастильними матеріалами та продуктами корозії техніки [4, 5]. У таких умовах стандартна щільність відбору проб може бути недостатньою для виявлення локальних осередків забруднення.

Водночас розвиток точного землеробства потребує формування електронних карт агрохімічних і токсикологічних показників ґрунту, які є основою для диференційованого внесення добрив, планування рекультиваційних заходів і раціонального використання земель [6–8]. Тому актуальним є впровадження автоматизованих комплексів відбору ґрунтових зразків, які забезпечують GPS-прив'язку точок відбору, зменшення впливу людського фактора, підвищення продуктивності польових робіт та інтеграцію результатів у ГІС-платформи [9–11].

Отже, актуальність дослідження зумовлена необхідністю удосконалення методичних і технологічних підходів до еколого-агрохімічного оцінювання земель сільськогосподарського призначення, особливо тих, що зазнали воєнного впливу. Застосування автоматизованого відбору проб є перспективним інструментом для оперативного моніторингу, виявлення просторової неоднорідності ґрунтових показників, оцінювання ризиків забруднення та забезпечення ефективного післявоєнного відновлення родючості ґрунтів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Проблемам якісного оцінювання, бонітування та моніторингу земельних ресурсів присвячено праці багатьох вітчизняних та зарубіжних учених. Зокрема, у дослідженнях І.О.

Удовенко та С.О. Чорного розкрито теоретико-методологічні засади оцінки якості ґрунтів як основи для визначення цінності природних ресурсів, раціонального землекористування та планування заходів із підвищення родючості ґрунтового покриву [3, 12].

Окрему увагу в сучасній науковій літературі приділено цифровізації аграрного сектору та переходу до систем точного землеробства. У працях В.Р. Черлінки та В.С. Захаровського обґрунтовано напрями автоматизації розрахунків під час якісної оцінки ґрунтів [13]. Д.В. Федасюк та М.О. Костюк досліджують можливості застосування технологій машинного навчання для прогнозування фізичних властивостей ґрунтів у системах розумного землеробства [7].

Зарубіжні дослідження також підтверджують, що розвиток точного землеробства безпосередньо пов'язаний із використанням просторово деталізованих ґрунтових даних, GPS-навігації, ГІС-платформ, дистанційного зондування та цифрового картування. Зокрема, А. McBratney, В. Whelan, Т. Ancev і J. Vouma розглядають точне землеробство як систему управління, що ґрунтується на просторовій мінливості властивостей ґрунту та потребує інтеграції польових, лабораторних і картографічних даних [14].

Важливим напрямом сучасних досліджень є удосконалення стратегій відбору ґрунтових проб. В. S. Farmaha та співавтори зазначають, що відбір проб є основою для оцінювання рН, поживного режиму ґрунту та прийняття рішень щодо внесення вапна і добрив, а кількість і схема відбору мають враховувати просторову мінливість ґрунтового покриву [15]. Дослідження J. R. M. R. Gonçalves та співавторів показують, що різні методи

відбору проб у точному землеробстві – зокрема сітковий відбір, зональний підхід і відбір за електропровідністю ґрунту – можуть давати різні рекомендації щодо удобрення, що підтверджує важливість вибору репрезентативної схеми обстеження [16].

Перспективним напрямом є застосування автоматизованих і сенсорних технологій збору ґрунтової інформації. V.I. Adamchuk, J.W. Hummel, M.T. Morgan і S.K. Upadhyaya узагальнили можливості мобільних ґрунтових сенсорів для точного землеробства та підкреслили, що такі технології дають змогу підвищити щільність вимірювань і зменшити витрати на отримання просторових даних про ґрунтові властивості [17]. Водночас технічні характеристики автоматизованого пробовідбірника Bodenprobennehmer N2006 свідчать про його придатність для відбору проб із заданої глибини, зокрема в межах орного шару 0–30 см, що є важливим для агрохімічного моніторингу та формування електронних карт ґрунтових показників.

Окремий блок сучасних досліджень стосується впливу бойових дій на ґрунтовий покрив. P. Pereira, F. Bašić, I. Bogunovic і D. Barcelo зазначають, що військова діяльність може істотно змінювати фізичні, хімічні та біологічні властивості ґрунтів, а вибухи, мінування, риття окопів і траншей здатні руйнувати ґрунтові горизонти, перемішувати профіль та спричиняти деградацію земель [4]. Н. О. Діденко у дослідженні щодо пошкодження та відновлення ґрунтів України підкреслює, що війна спричиняє деградацію ґрунтів через забруднення, руйнування сільськогосподарських угідь і порушення природних екосистем [5].

Незважаючи на наявний науковий доробок, питання апаратно-технічно-

го забезпечення процесу збору ґрунтових даних – як первинного етапу автоматизованої оцінки земель – залишається висвітленим недостатньо. У фахових публікаціях обмежено розкрито методичні та практичні аспекти застосування автоматизованих систем відбору проб порівняно з традиційними методами, особливо на територіях, що зазнали воєнного впливу. Недостатньо дослідженими залишаються питання репрезентативності автоматизованого відбору, інтеграції результатів у ГІС-платформи, формування карт просторової неоднорідності агрохімічних показників і використання таких даних для післявоєнного відновлення родючості ґрунтів. Саме це зумовило вибір напряму дослідження.

Мета дослідження – оцінити еколого-агрохімічний стан земельної ділянки сільськогосподарського призначення, що зазнала воєнного впливу, на основі результатів автоматизованого відбору ґрунтових зразків комплексом Bodenprobennehmer N2006, лабораторного аналізу агрохімічних та еколого-токсикологічних показників, а також визначення просторової неоднорідності ґрунтового покриву. Для досягнення поставленої мети передбачено виконання таких завдань: охарактеризувати ґрунтовий покрив і умови використання досліджуваної земельної ділянки; провести автоматизований відбір ґрунтових проб із поділом території на елементарні ділянки; визначити основні агрохімічні показники ґрунту: рН, гумус, легкогідролізований азот, рухомі сполуки фосфору і калію; оцінити вміст рухомих форм мікроелементів і важких металів; визначити просторову неоднорідність показників за допомогою статистичної обробки; встановити потенційні ознаки

воєнного впливу на еколого-агрохімічний стан ґрунтів і обґрунтувати напрями подальшого моніторингу та відновлення.

Матеріали і методи дослідження

Дослідження виконано відповідно до договору Державної установи «Інститут охорони ґрунтів України» з Міністерством освіти і науки України ДЗ / 168-2025 від 12.02.2025 «Вивчення агрохімічного стану та впливу бойових дій на землях сільськогосподарського призначення для забезпечення сталого агровиробництва».

Об'єктом дослідження слугувала земельна ділянка сільськогосподарського призначення площею 279,4175 га, розташованої за межами с. Бригадирівка Ізюмської ТГ Ізюмського району Харківської області. Для оцінювання еколого-агрохімічного стану ґрунтового покриву було відібрано 60 об'єднаних проб ґрунту за допомогою автоматизованого комплексу Bodenprobenehmer N2006.

У період із березня по вересень 2022 року зазначена ділянка перебувала під мілітарним впливом унаслідок бойових дій. У цей час вона не використовувалася у сільськогосподарському виробництві, її господарське використання було відновлено лише навесні 2024 року. За свідченнями землекористувача, після відходу військових підрозділів на території ділянки було виявлено систему окопів та бліндажів завдовжки до 3 м та глибиною близько 1,5 м, сліди пожеж, а також ознаки ущільнення ґрунту, спричиненого пересуванням важкої військової техніки.

Ґрунтовий покрив земельної ділянки представлений: чорноземами

звичайними слабозмитими важкосуглинковими і легкоглинистими (агровиробнича група 65e) – переважаюча ґрунтова відміна, чорноземами звичайними середньогумусними глибокими важкосуглинковими і легкоглинистими (агровиробнича група 58e, особливо цінні ґрунти Степової Лівобережної провінції) [18], чорноземами середньо- і сильносолонцюватими на щільних глинах слабозмитими важкосуглинковими (агровиробнича група 89e) та розмитими важкосуглинковими і легкоглинистими ґрунтами і відходами рихлих лесовидних порід (агровиробнича група 215e). Агровиробничі групи 65e та 89e належать до чорноземів, однак характеризуються різним ступенем деградації та змивання, що впливає на їхню природну родючість і сільськогосподарську продуктивність. Ґрунти агровиробничої групи 65e мають середню продуктивність, тоді як ґрунти груп 89e та 215e характеризуються нижчою продуктивністю і потребують застосування агротехнічних заходів, спрямованих на покращення водного режиму, структуроутворення та, за потреби, проведення глибокого обробітку.

Для механізованого відбору проб ґрунту використовували мобільний автоматизований комплекс Bodenprobenehmer N2006 виробництва Bodenprobetechnik Peters GmbH (Німеччина), встановлений на транспортному засобі високої прохідності типу пікап. Комплекс укомплектований автоматичним пробовідбірником, навігаційною системою, польовим комп'ютером і GPS/RTK-приймачем. Обладнання забезпечує автоматизований відбір проб ґрунту з орного шару на глибину 0–30 см із заданим кроком сітки та фіксацією місць відбору за GPS-координатами. Під час польових

робіт контур поля визначали за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення Field-Expert, після чого площу поля розподіляли на елементарні ділянки для репрезентативного відбору проб. Земельний масив було поділено на 60 елементарних ділянок площею до 5 га кожна, що забезпечувало вищу просторову роздільну здатність порівняно зі стандартною щільністю агрохімічної паспортизації. На кожній елементарній ділянці автоматизованим пробовідбірником виконували до 30 точкових відборів, з яких формували одну об'єднану пробу (рис. 1).

Основні технічні характеристики комплексу: продуктивність – до 100–120 га за зміну; глибина відбору – 0–30 см, регульована; діаметр шупа – 20 мм; точність GPS-навігації з використанням RTK-приймача – $\pm 0,3$ – $0,5$ м; автоматичне маркування зразків GPS-координатами; ємність контейнера – 100–200 проб за одне завантаження. Комплекс може інтегруватися з агровиробничими ГІС-платформами, що дає змогу автоматизовано формувати електронні карти агрохімічних показників ґрунту для подальшого використання у системах точного землеробства та диференційованого внесення добрив [10, 11].

Застосування автоматизованого комплексу Bodenprobenehmer N2006 має низку переваг порівняно з традиційним ручним відбором проб ґрунту. Зокрема, автоматизований відбір забезпечує вищу продуктивність польових робіт, точну GPS-прив'язку місць відбору, зменшення впливу людського фактора, стандартизацію глибини та кількості точкових відборів, а також можливість подальшої інтеграції результатів у ГІС-платформи. Це особливо важливо під час



Рис. 1. Розміщення елементарних ділянок на досліджуваній ділянці (с. Бригадирівка Ізюмської ТГ Ізюмського району Харківської області)

обстеження великих земельних масивів і територій, що зазнали воєнного впливу, де потрібна висока просторова деталізація та підвищена безпека виконання польових робіт. Порівняльну характеристику традиційного та автоматизованого способів відбору проб ґрунту наведено в табл. 1.

Відбір проб ґрунту здійснювали відповідно до вимог ДСТУ 4287:2004 «Якість ґрунту. Відбирання проб» [19]. Проби відбирали з орного шару на глибині 0–30 см, який є репрезентативним для оцінки техногенного забруднення, оскільки саме в цьому горизонті зосереджуються основні процеси акумуляції рухомих форм важких металів та відбувається їхній безпосередній контакт із кореневими системами рослин [9, 12, 20]. Лабо-

1. Порівняльна характеристика традиційного та автоматизованого відбору проб ґрунту

Критерій	Традиційний відбір	Автоматизований відбір
Спосіб виконання	ручний відбір за допомогою бура, щупа або лопати	механізований відбір автоматичним пробовідбірником
Продуктивність	нижча, залежить від кількості працівників і умов поля (ручна праця)	вища, до 100–120 га/зміну
Глибина відбору	може варіювати залежно від виконавця	стандартизована, регульована глибина 0–30 см
GPS-прив'язка	часто ручна або вибіркова	автоматизована фіксація координат точок відбору
Людський фактор	високий вплив виконавця на рівномірність і точність відбору	мінімізований вплив людського фактора
Репрезентативність	залежить від досвіду виконавця та дотримання методики	забезпечується заданою сіткою, кількістю уколів і GPS-навігацією
Безпека робіт	нижча на ділянках із воєнним впливом через тривале перебування персоналу в полі	вища завдяки механізації та скороченню часу польових робіт
Інтеграція з ГІС	потребує додаткового перенесення даних	можлива безпосередня інтеграція з цифровими картами та ГІС-платформами
Використання у точному землеробстві	обмежене без додаткової цифрової обробки	придатне для формування електронних карт і диференційованого внесення добрив

раторний аналіз зразків проводили в атестованій лабораторії Північно-східного міжрегіонального центру ДУ «Держґрунтохорона».

Агрохімічні показники ґрунту визначали за такими нормативними документами: реакція ґрунтового розчину, рН – ДСТУ 7862:2015 [21]; вміст гумусу (органічної речовини) – ДСТУ 4289:2004 [22]; вміст легкоїд-ролізованого азоту – ДСТУ 7863:2015 [23]; вміст рухомих сполук фосфору та калію – ДСТУ 4115:2002 [24]. Еколого-токсикологічні показники визначали в амонійно-ацетатному буферному розчині з рН 4,8 відповідно до серії стандартів ДСТУ 4770:2007. Зо-крема, визначали вміст рухомих сполук марганцю – за ДСТУ 4770.1:2007 [25], цинку – ДСТУ 4770.2:2007 [26], кадмію – ДСТУ 4770.3:2007 [27], заліза – ДСТУ 4770.4:2007 [28], кобальту – ДСТУ 4770.5:2007 [29], міді – ДСТУ 4770.6:2007 [30], нікелю –

ДСТУ 4770.7:2007 [31] та свинцю – ДСТУ 4770.9:2007 [32].

Групування ґрунтів за агрохімічними показниками здійснювали відповідно до Методики проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення [20]. Оцінку еколого-токсикологічного стану ґрунтів за вмістом рухомих сполук важких та визначення придатності земельних ділянок для вирощування сільськогосподарських культур здійснювали шляхом порівняння фактичних концентрацій з гранично допустимими концентраціями (ГДК) відповідно до чинних нормативів [33].

Межі забруднених ділянок, що зазнали можливого впливу бойових дій [35], визначали шляхом виділення елементарних ділянок, на яких зафіксовано підвищений вміст рухомих форм важких металів. Такий підхід дозволив встановити не лише загальний рівень забруднення, а й локалі-

зувати окремі осередки підвищених концентрацій, характерні для ґрунтів, ушкоджених унаслідок воєнного впливу.

Статистичну обробку експериментальних даних виконували із застосуванням програмних пакетів Microsoft Excel та Statistica 6.0. Розраховували основні показники описової статистики: середнє значення, мінімум, максимум, стандартну помилку, середньоквадратичне відхилення та коефіцієнт варіації. Для оцінювання однорідності вибірки та достовірності отриманих середніх значень визначали коефіцієнт варіації (V , %), який характеризує ступінь розсіювання окремих показників відносно середнього арифметичного. Варіацію вважали слабкою за $V \leq 5$ %, помірною – 6–10 %, значною – 10–20 %, великою – 21–50 %, дуже великою – за $V > 50$ %.

Просторову неоднорідність ґрунтових показників оцінювали за поєднанням середніх значень по елементарних ділянках, меж їх варіювання, коефіцієнтів варіації та структури розподілу проб за рівнями забезпеченості або забруднення. Це дало змогу виявити локальні осередки підвищених значень агрохімічних і токсикологічних показників та оцінити характер їх просторового поширення в межах досліджуваної земельної ділянки.

Результати та їх обговорення

За результатами проведених досліджень встановлено, що ґрунт досліджуваної ділянки загалом має близьку до нейтральної реакцію ґрунтового розчину. Середньозважене значення становило 5,8 од. рН. У межах елементарних ділянок показник варіювала від 5,6 до 6,0 од. рН.

Усі 60 проб характеризувалися близькою до нейтральної реакцією ґрунтового розчину. Коефіцієнт варіації становив 2 %, що свідчить про слабку варіацію та високу однорідність показника (рис. 2). За отриманими результатами вплив бойових дій на кислотність ґрунту не простежується. Стабільність показника рН може свідчити про високу буферну здатність чорноземів, яка, ймовірно, обмежила прояв можливого хімічного впливу продуктів вибухів і горіння на реакцію ґрунтового розчину [5, 34].

Ґрунтовий покрив досліджуваної ділянки характеризується високим вмістом гумусу (рис. 3). Середньозважене значення становило 4,13 %, тоді як у межах елементарних ділянок вміст гумусу варіював від 3,15 до 4,81 %. Із 60 проб 39 характеризувалися високим вмістом гумусу 4,16–4,81 %, а 21 проба – підвищеним вмістом у межах 3,15–3,92 %. Коефіцієнт варіації становив 9,2 %, що свідчить про помірну варіацію показника. Виявлені відмінності можуть бути зумовлені природними ґрунтоутворними процесами, мозаїчністю ґрунтового покриву та локальними відмінностями у накопиченні органічної речовини. За результатами лабораторного аналізу прямого впливу бойових дій на загальний вміст гумусу не встановлено. Водночас на локально порушених ділянках, зокрема в місцях риття окопів і бліндажів, можливе фізичне перемішування генетичних горизонтів, руйнування структури ґрунтового профілю та локальне зниження родючості, що узгоджується з даними про механічну деградацію ґрунтів унаслідок бойових дій [4, 5, 10, 11].

Забезпеченість ґрунту легкоділним азотом оцінюється як низька (рис. 4) Середньозважене зна-

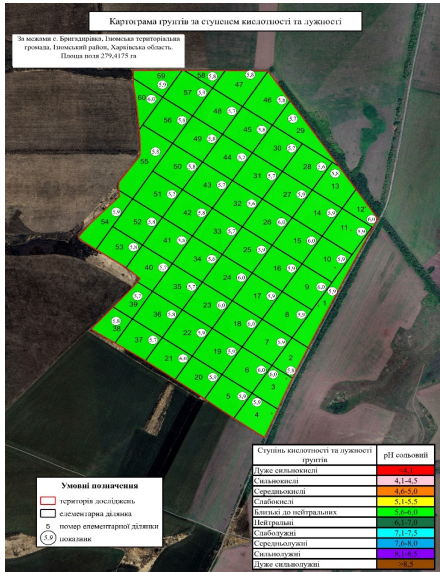


Рис. 2. Картограма реакції ґрунтового розчину (рН) досліджуваної земельної ділянки

чення становило 111,5 мг/кг ґрунту за варіювання від 91,0 до 137,2 мг/кг. Із 60 проб 56 мали низький вміст азоту в межах 102,2–137,2 мг/кг, 4 проби – дуже низький вміст у межах 91,0–98,0 мг/кг. Коефіцієнт варіації становив 7,8 %, що свідчить про помірну варіацію та відносну однорідність розподілу показника. Низький рівень азотного живлення частково пояснюється природними особливостями мінералізації органічної речовини. Водночас не виключається вплив бойових дій, оскільки вибухи та пожежі сприяти втратам азоту у газоподібній формі, зокрема у вигляді оксидів азоту.

За вмістом рухомих сполук фосфору ґрунт досліджуваної ділянки в цілому характеризується середньою забезпеченістю (рис 5). Середньозважене значення становило 86 мг/кг ґрунту, а варіювання показника –

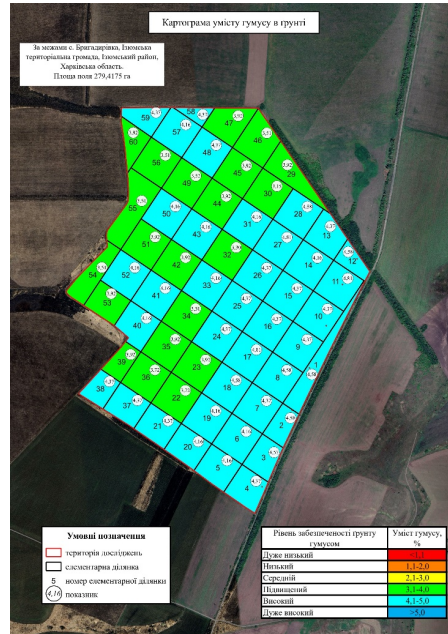


Рис. 3. Картограма просторового розподілу вмісту гумусу (органічної речовини) у ґрунтах досліджуваної земельної ділянки

від 70 до 145 мг/кг. Зокрема, 56 із 60 проб мали середній рівень забезпеченості фосфором у межах 70–94 мг/кг, а 4 проби – підвищений рівень у межах 102–145 мг/кг. Коефіцієнт варіації становив 13,1 %, що свідчить про значну варіацію показника. Вплив бойових дій на вміст рухомих сполук фосфору може мати локальний та опосередкований характер, зокрема через надходження продуктів горіння рослинних решток або інших матеріалів у ґрунт.

Забезпеченість ґрунту рухомими сполуками калію є високою (рис. 6). Середньозважене значення становило 145 мг/кг ґрунту, а варіювання показника – від 113 до 192 мг/кг. Зокрема, 49 із 60 проб мали високий рівень забезпеченості калієм у межах



Рис. 4. Картограма просторово-го розподілу вмісту легкогідролізованого азоту у ґрунтах досліджуваної земельної ділянки

121–179 мг/кг, 6 проб – дуже високий рівень у межах 182–192 мг/кг, а 5 проб – підвищений рівень у межах 113–118 мг/кг. Коефіцієнт варіації становив 14,5 %, що свідчить про значну варіацію показника. Частково така неоднорідність може бути пов'язана з наслідками пожеж і вибухів, оскільки продукти згоряння та попіл можуть виступати додатковими джерелами калію у ґрунті.

ґрунтовий покрив досліджуваної ділянки характеризується низьким вмістом рухомих сполук марганцю (рис.7). Середньозважене значення становило 6,48 мг/кг ґрунту, а в межах елементарних ділянок показник варіював від 2,41 до 13,81 мг/кг. Із 60 проб 34 мали низький вміст марганцю в межах 5,05–6,99 мг/кг, 15 проб – се-

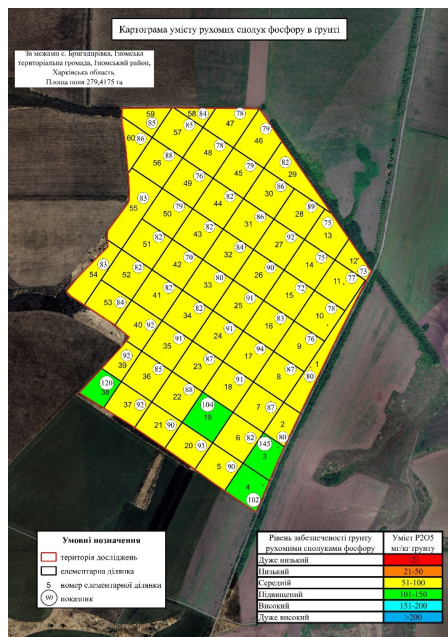


Рис. 5. Картограма просторового розподілу вмісту рухомих сполук фосфору у ґрунтах досліджуваної земельної ділянки

редній вміст у межах 7,05–9,13 мг/кг, 9 проб – дуже низький вміст у межах 2,41–4,82 мг/кг, а дві проби – підвищений вміст у межах 10,08–13,81 мг/кг. Коефіцієнт варіації становив 27,1 %, що свідчить про велику варіацію та просторову неоднорідність розподілу марганцю. Виявлені відмінності можуть бути зумовлені як природною мозаїчністю ґрунтового покриву, так і локальним впливом бойових дій, що сприяли перерозподілу мікроелементів у верхньому шарі ґрунту.

Забезпеченість ґрунту рухомими сполуками цинку оцінюється як дуже низька (рис.8). Середньозважене значення становило 0,44 мг/кг за варіювання від 0,32 до 0,93 мг/кг ґрунту. Усі проби характеризувалися дефіцитом цинку, що негативно впливати на продуктивність сільськогосподар-

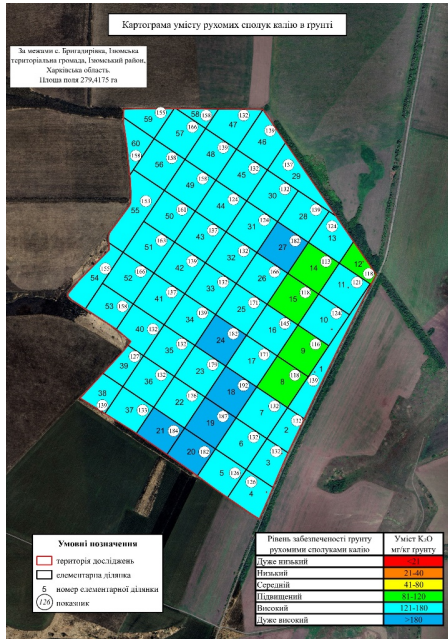


Рис. 6. Картограма просторового розподілу вмісту рухомих сполук кальцію у ґрунтах досліджуваної земельної ділянки

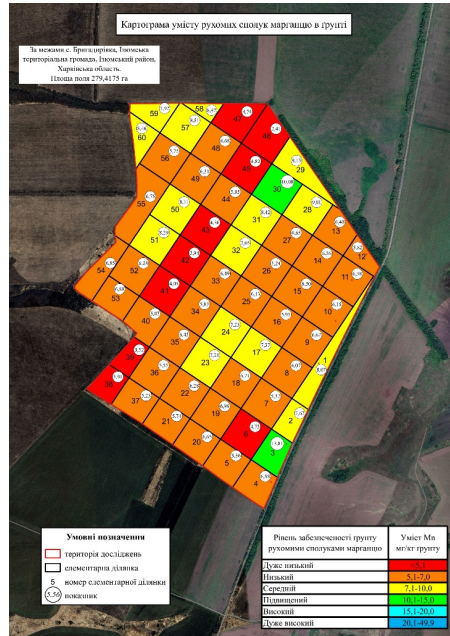


Рис. 7. Картограма просторового розподілу вмісту рухомих сполук марганцю у ґрунтах досліджуваної земельної ділянки

ських культур, знижувати стійкість рослин до стресових факторів і погіршувати якісні показники врожаю. Коефіцієнт варіації становив 19,7 %, що свідчить про значну варіацію показника. Вплив бойових дій на вміст рухомих сполук цинку чітко не простежується, оскільки його дефіцит може мати регіональний або ґрунтово-геохімічний характер.

За вмістом рухомих сполук міді ґрунт характеризується підвищеною забезпеченістю (рис.7). Середньозважене значення становило 0,21 мг/кг ґрунту, а варіювання показника – від 0,15 до 0,34 мг/кг. Зокрема, 29 із 60 проб мали середній вміст міді в межах 0,16–0,20 мг/кг, 27 проб – підвищений вміст в межах 0,21–0,30 мг/кг, 3 проби – низький вміст на рівні 0,15

мг/кг, а одна проба – високий вміст 0,34 мг/кг.

Коефіцієнт варіації становив 18,2 %, що свідчить про значну варіацію показника. Локальні коливання вмісту міді можуть бути пов'язані як із природною неоднорідністю ґрунтового покриву, так і з наслідками вибухів та пожеж, які здатні впливати на перерозподіл металів у верхньому шарі ґрунту.

Середньозважений вміст рухомих сполук заліза у межах досліджуваної ділянки становив 13,84 мг/кг ґрунту за варіювання від 2,05 до 30,9 мг/кг. Коефіцієнт варіації становив 48,7 %, що свідчить про велику варіацію та істотну просторову неоднорідність показника. Такі коливання можуть бути зумовлені природними відмін-



Рис. 8. Картограма просторового розподілу вмісту рухомих сполук цинку у ґрунтах досліджуваної земельної ділянки

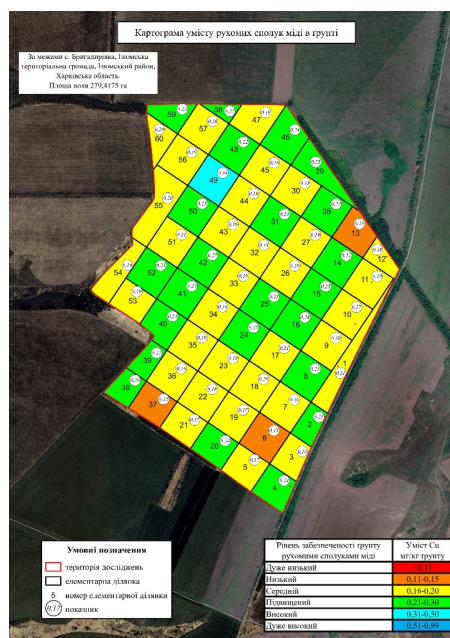


Рис. 9. Картограма просторового розподілу вмісту рухомих сполук міді у ґрунтах досліджуваної земельної ділянки

ностями у гранулометричному складі ґрунту, вмісті органічної речовини та окисно-відновних умовах. Водночас не виключається локальний вплив бойових дій, зокрема через надходження продуктів корозії військової техніки, металевих уламків та залишків вибухових речовин. У цілому розподіл заліза має мозаїчний характер.

За вмістом рухомих сполук кобальту ґрунт характеризується дуже високим рівнем забезпечення. Середньозважене значення становило 0,41 мг/кг ґрунту за варіювання від 0,23 до 0,71 мг/кг. Із 60 проб 48 мали дуже високий вміст кобальту в межах 0,31–0,49 мг/кг, 6 проб – високий вміст в межах 0,23–0,3 мг/кг, а ще у 6 пробах зафіксовано слабкий рівень забруднення в межах 0,54–0,71 мг/кг. Слід зазначити, що у 10 пробах вміст

кобальту перебував на межі слабого забруднення – 0,45–0,49 мг/кг. Коефіцієнт варіації становив 21,7 %, що свідчить про велику варіацію показника. Підвищення вмісту кобальту в окремих точках може бути пов'язане з локальним осіданням продуктів вибухів або металевих частинок.

За вмістом рухомих сполук нікелю ґрунт характеризується слабким рівнем забруднення. Середньозважене значення становило 2,56 мг/кг ґрунту за варіювання від 1,44 до 3,49 мг/кг. Зокрема, 50 із 60 проб мали слабкий рівень забруднення нікелем у межах 2,08–3,49 мг/кг, тоді як у 10 пробах його вміст відповідав фоновим значенням – 1,44–1,92 мг/кг. Перевищення гранично допустимої концентрації не зафіксовано. Коефіцієнт варіації становив 20,0%, що від-

повідает значній варіації та вказує на помірну просторову неоднорідність розподілу показника. Вплив бойових дій на вміст рухомих сполук нікелю у ґрунті оцінюється як незначний.

Середньозважений вміст рухомих сполук кадмію становив 0,16 мг/кг ґрунту, а варіювання показника перебувало в межах від 0,09 до 0,23 мг/кг. У розрізі окремих проб 42 із 60 характеризувалися слабким рівнем забруднення кадмієм у межах 0,1–0,19 мг/кг, 15 проб – помірним рівнем забруднення у межах 0,2–0,23 мг/кг, а 3 проби перебували на межі забруднення – 0,09 мг/кг. Загальна площа забруднення кадмієм становила 266,4609 га або 95,4 % площі досліджуваної ділянки. З них помірний рівень забруднення зафіксовано на площі 70,1712 га, або 25,15 %, а слабкий рівень – на площі 196,2897 га, або 70,25 %. На площі 12,9565 га, що становить 4,6 %, забруднення рухомими сполуками кадмію не виявлено. Коефіцієнт варіації становив 25,3 %, що свідчить про велику варіацію та наявність локальних осередків підвищених концентрацій кадмію. Таке варіювання може бути зумовлене впливом локальних антропогенних факторів, зокрема наслідками бойових дій – потраплянням у ґрунт металевих уламків, частинок техніки або продуктів вибухових речовин, які можуть бути джерелами важких металів.

За вмістом рухомих сполук свинцю ґрунт характеризується слабким рівнем забруднення. Середньозважене значення становило 1,18 мг/кг ґрунту, а варіювання показника – від 0,81 до 1,67 мг/кг. Із 60 проб 50 мали слабкий рівень забруднення свинцем у межах 0,81–1,44 мг/кг, а 10 проб – помірний рівень забруднення у межах 1,47–1,67 мг/кг. Коефіцієнт варіації становив

18,9 %, що свідчить про значну варіацію показника. Підвищення вмісту свинцю в окремих пробах може бути пов'язане з наслідками бойових дій, оскільки свинець є одним із характерних компонентів військово-техногенного забруднення ґрунтів.

Окрім змін хімічного складу, важливим чинником погіршення стану досліджуваної ділянки є фізична деградація ґрунтового покриву. Наявність окопів і бліндажів глибиною до 1,5 м свідчить про локальне порушення будови ґрунтового профілю та можливе переміщення малородючих нижніх горизонтів на поверхню. Пересування важкої військової техніки могло спричинити переуцільнення орного і підорного шарів, що негативно впливає на водний, повітряний та тепловий режими ґрунту. Додатковим обмежувальним чинником є техногенне засмічення території металевими й пластиковими уламками, яке ускладнює проведення польових робіт і потребує попереднього очищення ділянки.

Висновки і перспективи подальших досліджень

За результатами досліджень встановлено, що земельна ділянка площею 279,4175 га характеризується близькою до нейтральної реакцією ґрунтового розчину, високим вмістом гумусу та загалом збереженим потенціалом природної родючості. Водночас виявлено дисбаланс окремих агрохімічних показників: низьку забезпеченість легкогідролізованим азотом, середній рівень забезпеченості рухомими сполуками фосфору та високий рівень забезпеченості рухомими сполуками калію. Це свідчить про необхідність коригування сис-

теми удобрення з урахуванням просторової неоднорідності ґрунтового покриву. Еколого-токсикологічне оцінювання засвідчило поширення підвищеного вмісту рухомих сполук кадмію на 95,4 % площі досліджуваної ділянки, а також слабкий і помірний рівні забруднення свинцем в окремих елементарних ділянках. Просторова неоднорідність вмісту мікроелементів і важких металів може бути пов'язана як із природною мозаїчністю ґрунтового покриву, так і з локальним воєнно-техногенним впливом.

Застосування автоматизованого комплексу Bodenprobenehmer N2006 забезпечило репрезентативний відбір проб, GPS-прив'язку точок відбору та можливість формування просторово деталізованих карт агрохімічних і еколого-токсикологічних показників. Це підтверджує доцільність використання автоматизованих систем для моніторингу, рекультивациі та впровадження елементів точного землеробства на землях, що зазнали воєнного впливу.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з повторним моніторингом ділянки, оцінюванням динаміки рухомих форм важких металів, аналізом їх переходу у рослинницьку продукцію та перевіркою ефективності рекультивацийних заходів.

Список використаної літератури

- Музиченко-Козловська О. В., Данилович Т. Б., Гавриляк А. С., Дзюрах Ю. М. Аналізування діяльності системи моніторингу стану ґрунтів в Україні. *Наукові записки Національного університету «Острозька академія». Серія: Економіка*. 2022. № 25(53). С. 4–10. DOI: [https://doi.org/10.25264/2311-5149-2022-25\(53\)-4-10](https://doi.org/10.25264/2311-5149-2022-25(53)-4-10).
- Нагірняк С. В., Донцова Т. А., Лапінський А. В., Терешков М. В. Soil and soil breathing remote monitoring: A short review. *Ecology and Noospherology*. 2020. URL: <https://ecology.dp.ua/index.php/ECO/article/view/1063> (дата звернення: 14.05.2026).
- Чорний С. О. Оцінка якості ґрунтів : навч. посіб. Миколаїв : МНАУ, 2018. 233 с.
- Pereira P., Bašić F., Bogunovic I., Barcelo D. Russian-Ukrainian war impacts the total environment. *Science of The Total Environment*. 2022. Vol. 837. Art. 155865. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155865>.
- Didenko N. O. Soil damage and recovery in Ukraine: lessons from global post-war experiences. *Land Reclamation and Water Management*. 2024. № 2. P. 79–86. DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202402-391>.
- Петрук Ю., Артюк О. Інноваційні підходи до землеробства: автоматизація і роботизація машинно-тракторних агрегатів для оптимізації витрат та збереження ґрунтів. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2023. № 2. С. 112–118. URL: <https://forum.intu.edu.ua/index.php/jurnal-mbf/article/view/1741> (дата звернення: 14.05.2026).
- Федасюк Д. В., Костюк М. О. Прогнозування вологості ґрунту з використанням машинного навчання у системах розумного землеробства. *Український журнал інформаційних технологій*. 2024. Т. 6, № 1. С. 26–36. DOI: <https://doi.org/10.23939/ujit2024.01.026>.
- Kammerlander C., Kolb V., Luegmair M., Scheermann L., Schmailzl M., Seufert M., Zhang J., Dalic D., Schön T. Machine Learning Models for Soil Parameter Prediction Based on Satellite, Weather, Clay and Yield Data. arXiv. 2025. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2503.22276>.
- Методика проведення агрохімічного обстеження ґрунтів із застосуванням

- механізованих пробовідбірників. Київ : НТЦ «Агрохімсервіс», 2024. URL: <https://agrohim.gov.ua/methods/sampling> (дата звернення: 14.05.2026).
10. Ґрунтовідбірник Nietfeld N2006 – автоматизована система відбору зразків ґрунту. AgroGeo. URL: <https://www.agrogeo.com.ua/catalog/nietfeld-n2006-2> (дата звернення: 14.05.2026).
 11. Bodenprobenehmer N2006–Soil sampling system. Bodenprobetechnik Peters GmbH. URL: <https://www.bodenprobetechnik.de/en/bodenprobenehmer-n2006> (дата звернення: 14.05.2026).
 12. Удовенко І. О. Якісне оцінювання земельних ресурсів з метою визначення цінності природних ресурсів // Екологічно безпечне, високопродуктивне використання ґрунту та застосування добрив: зб. тез Всеукр. наук.-практ. конф. (м. Умань, 29 берез. 2017 р.). Умань, 2017. С. 109–110. URL: <http://lib.udau.edu.ua/handle/123456789/6323> (дата звернення: 14.05.2026).
 13. Cherlinka V. R., Zaharovskyy V. S. Directions of automatization for calculation of soil qualitative assessment. *AgroChemistry and Soil Science*. 2016. Vol. 85. P. 40–46. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss85-06>.
 14. McBratney A., Whelan B., Ancev T., Bouma J. Future Directions of Precision Agriculture. *Precision Agriculture*. 2005. Vol. 6. P. 7–23. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-005-0681-8>.
 15. Farmaha B. S., Caughman W., Park D. Precision Agriculture-Based Soil Sampling Strategies. Clemson Cooperative Extension. URL: <https://lgpress.clemson.edu/publication/precision-agriculture-based-soil-sampling-strategies> (дата звернення: 14.05.2026).
 16. Gonçalves J. R. M. R., Ferraz G. A. e S., Reynaldo É. F., Marin D. B., Ferraz P. F. P., Pérez-Ruiz M., Rossi G., Vieri M., Sarrì D. Comparative analysis of soil-sampling methods used in precision agriculture. *Journal of Agricultural Engineering*. 2021. Vol. 52, No. 1. DOI: <https://doi.org/10.4081/jae.2021.1117>.
 17. Adamchuk V. I., Hummel J. W., Morgan M. T., Upadhyaya S. K. On-the-go soil sensors for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2004. Vol. 44. P. 71–91. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2004.03.002>.
 18. Про затвердження переліку особливо цінних груп ґрунтів : наказ Державного комітету України по земельних ресурсах від 06.10.2003 № 245. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0979-03> (дата звернення: 14.05.2026).
 19. ДСТУ 4287:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. [Чинний від 2005-07-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 6 с.
 20. Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення / за ред. І. П. Яцук, С. А. Балюка. 2-ге вид., допов. Київ, 2019. 108 с.
 21. ДСТУ 7862:2015. Якість ґрунту. Визначення активної кислотності. [Чинний від 2016-07-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2015. 13 с.
 22. ДСТУ 4289:2004. Якість ґрунту. Методи визначення органічної речовини. [Чинний від 2005-07-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2005. 14 с.
 23. ДСТУ 7863:2015. Якість ґрунту. Визначення легкогідролізного азоту методом Корнфілда. [Чинний від 2016-07-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2015. 9 с.
 24. ДСТУ 4115-2002. Ґрунти. Визначення рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Чирікова. [Чинний від 2003-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2002. 10 с.
 25. ДСТУ 4770.1:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук марганцю в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-аб-

- сорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2009-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2009. 14 с.
26. ДСТУ 4770.2:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук цинку в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2009-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2009. 14 с.
27. ДСТУ 4770.3:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук кадмію в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2009-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2009. 14 с.
28. ДСТУ 4770.4:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук заліза в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2009-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2009. 14 с.
29. ДСТУ 4770.5:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук кобальту в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2009-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2009. 14 с.
30. ДСТУ 4770.6:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук міді в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2009-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2008. 4 с.
31. ДСТУ 4770.7:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук нікелю в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2009-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2009. 14 с.
32. ДСТУ 4770.9:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук свинцю в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2009-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2009. 14 с.
33. Про затвердження нормативів гранично допустимих концентрацій небезпечних речовин у ґрунтах, а також переліку таких речовин : постанова Кабінету Міністрів України від 15.12.2021 № 1325. Офіційний вісник України. 2021. № 99. Ст. 6482. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1325-2021-%D0%BF> (дата звернення: 14.05.2026).
34. Ozhovan O. O., Mikhaylyuk V. I. Soil acid-base buffering in the step agriculture lands. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2019. Vol. 9, No. 3. P. 259–266. URL: <https://www.ujecology.com/articles/soil-acid-base-buffering-in-the-step-agriculture-lands.pdf> (дата звернення: 14.05.2026).
35. Ibatullin S., Dorosh I., Dorosh O., Sakal O., Butenko Y., Kharytonenko R., Shtohryn H. Determination of economic losses on agricultural lands in connection with hostilities on the example of the territory of Kyivska oblast in Ukraine. *Acta Scientiarum Polonorum. Formatio Circumiectus*. 2022. Vol. 21, No. 2. P. 49–61. DOI: <https://doi.org/10.15576/ASP.FC/2022.21.2.49>

References

1. Muzychenko-Kozlovska O. V., Danylovyh T. B., Havryliak A. S., Dziurakh Yu. M. Analizuvannya diialnosti systemy monitorynhu stanu gruntiv v Ukraini [Analysis of the functioning of the soil condition monitoring system in Ukraine]. *Naukovi zapysky Natsionalnoho universytetu "Ostrozka akademiia". Seriia: Ekonomika* [Scientific Notes of the National University "Ostroh Academy". Series: Economics]. 2022. No. 25(53). P. 4–10. DOI: [https://doi.org/10.25264/2311-5149-2022-25\(53\)-4-10](https://doi.org/10.25264/2311-5149-2022-25(53)-4-10).

2. Nahirniak S. V., Dontsova T. A., Lapinskyi A. V., Tereshkov M. V. Soil and soil breathing remote monitoring: A short review. *Ecology and Noospherology*. 2020. Available at: <https://ecology.dp.ua/index.php/ECO/article/view/1063>.
3. Chornyi S. O. Otsinka yakosti gruntiv [Assessment of soil quality] : navch. posib. [study guide]. Mykolaiv : MNAU, 2018. 233 p.
4. Pereira P., Bašić F., Bogunovic I., Barcelo D. Russian-Ukrainian war impacts the total environment. *Science of The Total Environment*. 2022. Vol. 837. Art. 155865. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155865>.
5. Didenko N. O. Soil damage and recovery in Ukraine: lessons from global post-war experiences. *Land Reclamation and Water Management*. 2024. No. 2. P. 79–86. DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202402-391>.
6. Petruk Yu., Artiukh O. Innovatsiini pidkhody do zemlerobstva: avtomatyzatsiia i robotyzatsiia mashynno-traktornykh ahreativ dlia optymizatsii vytrat ta zberezhennia gruntiv [Innovative approaches to agriculture: automation and robotization of machine-tractor units for cost optimization and soil conservation]. *Suchasni tekhnologii v mashynobuduvanni ta transporti [Modern Technologies in Mechanical Engineering and Transport]*. 2023. No. 2. P. 112–118. Available at: <https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/jurnal-mbf/article/view/1741>.
7. Fedasiuk D. V., Kostyuk M. O. Prohnozuvannia volohosti gruntu z vykorystanniam mashynnoho navchannia u systemakh rozumnoho zemlerobstva [Prediction of soil moisture using machine learning in smart farming systems]. *Ukrainskyi zhurnal informatsiinykh tekhnologii [Ukrainian Journal of Information Technology]*. 2024. Vol. 6, No. 1. P. 26–36. DOI: <https://doi.org/10.23939/ujit2024.01.026>.
8. Kammerlander C., Kolb V., Luegmair M., Scheermann L., Schmailzl M., Seufert M., Zhang J., Dalic D., Schön T. Machine Learning Models for Soil Parameter Prediction Based on Satellite, Weather, Clay and Yield Data. arXiv. 2025. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2503.22276>.
9. Metodyka provedennia ahrokhimichnoho obstezhennia gruntiv iz zastosuvanniam mekhanizovanykh probovidbirnykiv [Methodology for agrochemical soil survey using mechanized samplers]. Kyiv : NTTs “Ahrokhimservis”, 2024. Available at: <https://agrohim.gov.ua/methods/sampling>.
10. Gruntovidbirnyk Nietfeld N2006 – avtomatyzovana systema vidboru zrazkiv gruntu [Nietfeld N2006 soil sampler – automated soil sampling system]. AgroGeo. Available at: <https://www.agrogeo.com.ua/catalog/nietfeld-n2006-2>.
11. Bodenprobenehmer N2006 – Soil sampling system. Bodenprobetechnik Peters GmbH. Available at: <https://www.bodenprobetechnik.de/en/bodenprobenehmer-n2006>.
12. Udovenko I. O. Yakisne otsiniuvannia zemelnykh resursiv z metoiu vyznachennia tsinnosti pryrodnykh resursiv [Qualitative assessment of land resources for determining the value of natural resources] // *Ekolohichno bezpechne, vysokoproduktyvne vykorystannia gruntu ta zastosuvannia dobryv : zb. tez Vseukr. nauk.-prakt. konf. (m. Uman, 29 berez. 2017 r.) [Environmentally safe, highly productive soil use and fertilizer application: Conference proceedings]*. Uman, 2017. P. 109–110. Available at: <http://lib.udau.edu.ua/handle/123456789/6323>.
13. Cherlinka V. R., Zaharovskyy V. S. Directions of automatization for calculation of soil qualitative assessment. *AgroChemistry and Soil Science*. 2016. Vol. 85. P. 40–46. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss85-06>.
14. McBratney A., Whelan B., Ancev T., Bouma J. Future Directions of Precision Agri-

- culture. Precision Agriculture. 2005. Vol. 6. P. 7–23. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-005-0681-8>.
15. Farmaha B. S., Caughtman W., Park D. Precision Agriculture-Based Soil Sampling Strategies. Clemson Cooperative Extension. Available at: <https://lgpress.clemson.edu/publication/precision-agriculture-based-soil-sampling-strategies>.
 16. Gonçalves J. R. M. R., Ferraz G. A. e S., Reynaldo É. F., Marin D. B., Ferraz P. F. P., Pérez-Ruiz M., Rossi G., Vieri M., Sarri D. Comparative analysis of soil-sampling methods used in precision agriculture. Journal of Agricultural Engineering. 2021. Vol. 52, No. 1. DOI: <https://doi.org/10.4081/jae.2021.1117>.
 17. Adamchuk V. I., Hummel J. W., Morgan M. T., Upadhyaya S. K. On-the-go soil sensors for precision agriculture. Computers and Electronics in Agriculture. 2004. Vol. 44. P. 71–91. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2004.03.002>.
 18. Pro zatverdzhennia pereliku osoblyvo tsinykh hrup gruntiv [On approval of the list of especially valuable soil groups] : nakaz Derzhavnoho komitetu Ukrainy po zemelnykh resursakh vid 06.10.2003 No. 245. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0979-03>.
 19. DSTU 4287:2004. Yakist gruntu. Vidbyrannia prob [Soil quality. Sampling]. Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2005. 6 p.
 20. Metodyka provedennia ahrokhimichnoi pasportyzatsii zemel silskohospodarskoho pryznachennia [Methodology of agrochemical certification of agricultural lands] / za red. I. P. Yatsuka, S. A. Baliuka. 2nd ed. Kyiv, 2019. 108 p.
 21. DSTU 7862:2015. Yakist gruntu. Vyznachennia aktyvnoi kyslotnosti [Soil quality. Determination of active acidity]. Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2015. 13 p.
 22. DSTU 4289:2004. Yakist gruntu. Metody vyznachennia orhanichnoi rehovyny [Soil quality. Methods for determination of organic matter]. Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2005. 14 p.
 23. DSTU 7863:2015. Yakist gruntu. Vyznachennia lehkohidroliznoho azotu metodom Kornfilda [Soil quality. Determination of easily hydrolyzed nitrogen by Cornfield method]. Kyiv, 2015. 9 p.
 24. DSTU 4115-2002. Grunty. Vyznachennia rukhomykh spoluk fosforu i kaliiu za modyfikovanykh metodom Chyrykova [Soils. Determination of mobile phosphorus and potassium compounds by modified Chirikov method]. Kyiv, 2002. 10 p.
 25. DSTU 4770.1:2007. Yakist gruntu. Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk marshantsiu... Kyiv, 2009. 14 p.
 26. DSTU 4770.2:2007. Yakist gruntu. Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk tsynku... Kyiv, 2009. 14 p.
 27. DSTU 4770.3:2007. Yakist gruntu. Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk kadmiu... Kyiv, 2009. 14 p.
 28. DSTU 4770.4:2007. Yakist gruntu. Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk zali-za... Kyiv, 2009. 14 p.
 29. DSTU 4770.5:2007. Yakist gruntu. Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk kobaltu... Kyiv, 2009. 14 p.
 30. DSTU 4770.6:2007. Yakist gruntu. Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk midi... Kyiv, 2008. 4 p.
 31. DSTU 4770.7:2007. Yakist gruntu. Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk nikeliiu... Kyiv, 2009. 14 p.
 32. DSTU 4770.9:2007. Yakist gruntu. Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk svyntsiu... Kyiv, 2009. 14 p.
 33. Pro zatverdzhennia normatyviv hranychno dopustymykh kontsentratsii nebezpechnykh rehovyn u gruntakh, a takozh pereliku takykh rehovyn [On approval of maximum permissible concentrations of hazardous substances in soils and their list] : postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 15.12.2021 No. 1325. Ofitsiinyi visnyk Ukrainy [Official Bulletin of Ukraine]. 2021.

- No. 99. Art. 6482. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1325-2021-%D0%BF>.
34. Ozhovan O. O., Mikhaylyuk V. I. Soil acid-base buffering in the step agriculture lands. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2019. Vol. 9, No. 3. P. 259–266. Available at: <https://www.ujecology.com/articles/soil-acidbase-buffering-in-the-step-agriculture-lands.pdf>.
35. Ibatullin S., Dorosh I., Dorosh O., Sakal O., Butenko Y., Kharytonenko R., Shtohryn H. Determination of economic losses on agricultural lands in connection with hostilities on the example of the territory of Kyivska oblast in Ukraine. *Acta Scientiarum Polonorum. Formatio Circumiectus*. 2022. Vol. 21, No. 2. P. 49–61. DOI: <https://doi.org/10.15576/ASP.FC/2022.21.2.49>.
-

Hryshchenko O., Butenko Ye., Hryshchenko V., Bozhok V., Vynnyk D.
ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL AND AGROCHEMICAL CONDITION OF AGRICULTURAL LANDS BASED ON AUTOMATED SOIL SAMPLING
LAND MANAGEMENT, CADASTRE AND LAND MONITORING 2'26: 144-162.
<http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2026.02.10>

Abstract. *The article assesses the ecological and agrochemical condition of agricultural lands using the automated soil sampling system Bodenprobenehmer N2006. The relevance of applying automated soil monitoring technologies under conditions of intensified agricultural production, the development of precision farming, and the necessity to evaluate lands affected by military impacts is substantiated.*

The study was conducted on a land plot covering 279.4 hectares located outside the village of Bryhadyrivka, Izium Territorial Community, Izium District, Kharkiv Region, Ukraine. To assess the condition of the soil cover, 60 composite samples were collected from the 0–30 cm arable layer, with the territory divided into elementary plots of up to 5 hectares each.

Laboratory analyses included the determination of the main agrochemical and ecological-toxicological soil indicators, particularly soil solution reaction (pH), humus content, easily hydrolyzable nitrogen, mobile phosphorus and potassium compounds, micronutrients, and heavy metals. Statistical processing of the results involved calculating weighted average values, variation ranges, and coefficients of variation.

The soils of the studied area were found to be characterized by a near-neutral soil reaction and high humus content, indicating the preservation of their natural fertility potential. At the same time, an imbalance in certain agrochemical indicators was identified, including low availability of easily hydrolyzable nitrogen, very low content of mobile zinc compounds, and low manganese content. The ecological-toxicological assessment revealed an increased concentration of mobile cadmium compounds across a significant part of the study area, as well as slight and moderate levels of lead contamination within certain elementary plots.

The obtained results indicate the spatial heterogeneity of agrochemical and toxicological indicators, which may be associated both with the natural mosaic structure of the soil cover and with localized military-technogenic impacts. The expediency of using automated soil sampling systems for developing electronic maps of soil indicators, monitoring contamination, planning reclamation measures, and implementing precision farming elements is substantiated.

Keywords: *soil, ecological and agrochemical assessment, automated soil sampling, Bodenprobenehmer N2006, agrochemical indicators, heavy metals, military impact, precision farming.*