

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ АГРОЕКОЛОГІЇ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**

**НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
«ЕКОЛОГОБЕЗПЕЧНІ МЕТОДИ
РЕАБІЛІТАЦІЇ ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ»
(видання друге розширене)**

**За науковою редакцією академіка НААН
О.І. Фурдичка**

Київ – 2019

Науково-методичні рекомендації «Екологіобезпечні методи реабілітації забруднених ґрунтів»: (видання друге розширене) / За наук. ред. академіка НААН О.І. Фурдичка. – К., 2019. – 43 с.

Метою науково-методичних рекомендацій є розроблення екологіобезпечних методів реабілітації забруднених ґрунтів сільськогосподарських угідь для подальшого використання відновлених територій у процесі сільськогосподарської діяльності.

У науково-методичних рекомендаціях розглянуто стан проблеми забруднення ґрунтів непридатними пестицидами в Україні та наведено методи очищення ґрунтів, забруднених органічними поллютантами. Досліджено процеси фітоекстракції та фітодеградації ДДТ рослинами з забруднених ґрунтів. Науково обґрунтовано доцільність фіторемедіації ґрунтів з полікомпонентним забрудненням пестицидами та наведено алгоритм її здійснення. Розроблено екологіобезпечні методи реабілітації забруднених ґрунтів за основними критеріями та індикаторами зеленого зростання сільського господарства.

Науково-методичні рекомендації призначено для державних органів територіального управління, громадських організацій, землевласників та землекористувачів, наукових працівників, викладачів і студентів вищих аграрних навчальних закладів.

Укладачі:

Інститут агроєкології і природокористування НААН: д.с.-г.н., професор Моклячук Л.І.; к.с.-г.н., с.н.с. Ліщук А.М., к.б.н. Драга М.В., к.с.-г.н., с.н.с. Городиська І.М.

ДУ «Інститут охорони ґрунтів України»: д.с.-г.н., с. д. Яцук І.П.; к.с.-г.н., с.н.с. Романова С.А.

Рецензенти:

доктор сільськогосподарських наук, с.н.с. **Н.В. Палапа**
доктор біологічних наук, доцент **Ю.Г. Приседський**

*Розглянуто і затверджено до друку рішенням
Вченої ради Інституту агроєкології і природокористування НААН
(протокол № 9 від 28 жовтня 2019 р.)*

ЗМІСТ

ЗАКОНОДАВЧА ТА НОРМАТИВНО-ПРАВОВА ДОКУМЕНТАЦІЯ	4
ВСТУП.....	6
ЧАСТИНА 1. ЕКОЛОГОБЕЗПЕЧНІ МЕТОДИ РЕАБІЛІТАЦІЇ ҐРУНТІВ, ЗАБРУДНЕНИХ СТІЙКИМИ ОРГАНІЧНИМИ ПЕСТИЦИДАМИ.....	8
1.1 Стан проблеми забруднення сільськогосподарських угідь України поліювантантами.....	8
1.2 Методи очищення ґрунтів, забруднених органічними поліювантантами	9
1.2.1 Ремедіація ґрунтів за використання карбонатних меліорантів.....	10
1.2.2 Фіторемедіація ґрунтів за використання культурних видів рослин- ремедіаторів.....	12
1.2.3 Фіторемедіація ґрунтів за використання дикорослих видів рослин- ремедіаторів.....	17
1.3 Загальні підходи до реабілітованих ґрунтів, забруднених залишками пестицидів, у процесі сільськогосподарської діяльності.....	21
ЧАСТИНА 2. ІНДИКАТОРИ ТА КРИТЕРІЇ ЗЕЛЕНОВОГО ЗРОСТАННЯ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА У ЕКОЛОГОБЕЗПЕЧНИХ ПІДХОДАХ ДО МЕТОДІВ РЕАБІЛІТАЦІЇ ҐРУНТІВ.....	26
2.1 Індикатори моніторингу стану ґрунтів сільськогосподарського призначення ОЕСР.....	26
2.2 Індикатори зеленого зростання, адаптовані для України.....	28
2.3 Основні індикатори зеленого зростання сільського господарства України	30
2.4 Оцінювання екологічного стану ґрунтів за екологічними індикаторами зеленого зростання сільського господарства	32
2.5 Вміст гумусу у ґрунті як регіональний індикатор зеленого зростання.....	35
ВИСНОВКИ.....	39
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	41

ЗАКОНОДАВЧА ТА НОРМАТИВНО-ПРАВОВА ДОКУМЕНТАЦІЯ

Методичні рекомендації розроблено за використання вітчизняних та міжнародних нормативно-правових документів:

Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 25.06.1991 р., № 1264- XII

Закон України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення» від 24.02.94, № 4005-XII

Закон України «Про пестициди та агрохімікати» від 02.03.1995р., № 86/95

Закон України «Про відходи» від 05.03.1998р., № 187/98

Закон України «Про об'єкти підвищеної небезпеки» від 18.01.2001 р., № 2245-III

Постанова Кабінету Міністрів України від 11 липня 2002 р., № 956 «Про ідентифікацію та декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки»

Європейська угода про міжнародне дорожнє перевезення небезпечних вантажів, Документ 994-а56, поточна редакція – прийняття від 16.09.2010

Закон України «Про приєднання України до Європейської угоди про міжнародне дорожнє перевезення небезпечних вантажів (ДОПНВ)» від 02.03.2000 р., № 1511-III (1511–14)

Закон України «Про перевезення небезпечних вантажів» від 06.04.2000 р., № 1644-III

Закон України «Про охорону земель» від 19.06.2003р., № 962-IV

Закон України «Про державний контроль за використанням та охороною земель» від 19.06.2003 р., № 963-IV

Земельний кодекс України від 25.10.2001 р., № 2768-III

Положення про моніторинг ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення від 26.02.2004 р., № 51

Закон України «Про екологічну експертизу» від 09.02.1995р., № 45/95

Закон України «Про екологічний аудит» від 24.06.2004р., № 1862-IV

ТЕРМІНИ, ПОЗНАЧЕННЯ ТА СКОРОЧЕННЯ

ЗАБРУДНЮВАЧ СТІЙКИЙ – речовина, яка в природному середовищі не руйнується або руйнується повільно (наприклад, солі ртуті, хлорорганічні сполуки тощо); спричиняє мутагенні, канцерогенні, алергенні та інші ефекти, а також порушує нормальний хід динаміки чисельності популяцій, потоку енергії, понижує продуктивність екосистеми, погіршує якість навколишнього середовища.

НЕПРИДАТНІ ПЕСТИЦИДИ(НП) – пестициди, що не можуть бути використані у сільському господарстві чи побуті у зв'язку з такими причинами: втратою своїх властивостей або строків придатності, заборонаю до використання, неможливістю визначення.

ПЕСТИЦИДИ – загальна назва хімічних речовин, які використовуються для боротьби зі шкідниками і хворобами рослин, бур'янами, шкідниками зернопродуктів, деревини та ін., а також з комахами і кліщами, що є переносниками інфекційних хвороб людини і тварини.

ПЕСТИЦИДИ ХЛОРОРГАНІЧНІ – хлорпохідні багатоядерних вуглеводнів (ДДТ), циклопарафінів (ГХЦГ), сполук дієнового ряду (гептахор, тіодан), терпенів (поліхлорпінен, поліхлоркамфен), бензолу (гексахлорбензол).

ФІТОДЕГРАДАЦІЯ – метод відновлення забруднених ґрунтів, що базується на природних властивостях рослин розкладати токсичні органічні сполуки до нетоксичних речовин.

ФІТОРЕМЕДІАЦІЯ – назва комплексу екологічних технологій, оснований на використанні рослин та асоційованих з ними мікроорганізмів для очистки забруднених ділянок землі. Метод фітореємедіації використовують для відновлення ґрунтів забруднених важкими металами, радіонуклідами, нафтопродуктами стійкими пестицидами тощо.

ФІТОТОКСИЧНІСТЬ – здатність деяких груп хімічних сполук і продуктів метаболізму мікроорганізмів здійснювати негативний вплив на рослинні організми, що спостерігається у порушенні багатьох фізіологічних процесів.

ГХБ – гексахлорбензол

ДДД – дихлордифенілдіхлоретан

ДДЕ – дихлордифенілдіхлоретилен

ДДТ – дихлордифенілтрихлоретан

ПХД – поліхлоровані дифеніли

ПХДД – поліхлоровані дибензодіоксини

ПХДФ – поліхлоровані дибензофурани

НП – непридатні пестициди

СОЗ – стійкі органічні забруднювачі

ФАО – Продовольча та сільськогосподарська організація ООН (Food and Agriculture Organization, FAO)

ОЕСР – Організація економічного співробітництва та розвитку (Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD)

ВСТУП

Необхідність застосування хімічних засобів захисту рослин для отримання високих врожаїв підтверджено світовою та вітчизняною практикою. Але широкомасштабна і недостатньо обґрунтована хімізація сільського господарства в минулому призвела до забруднення ґрунту стійкими органічними пестицидами. Особливо гострою є проблема погіршення екологічного стану ґрунту в зонах розташування складів пестицидів, що втратили придатність або заборонені до використання. У результаті тривалого та безгосподарного поводження з пестицидами навколо цих складів утворились зони, забруднені токсичними речовинами, зокрема стійкими органічними забруднювачами (СОЗ). За рахунок вертикальної та горизонтальної міграції у ґрунті, водного та повітряного переносу токсиканти здатні надходити до сільськогосподарської продукції та організму людини, спричинюючи різні хвороби. Внаслідок локального забруднення ґрунтів високими концентраціями токсикантів виникла необхідність у розробці та впровадженні екологічнобезпечних методів відновлення забруднених ґрунтів та їх подальшого сільськогосподарського використання.

Нині у світовій практиці розвинених країн першочерговими завданнями є екотоксикологічне оцінювання і розроблення методів відновлення деградованих і забруднених ґрунтів (Дж. Ввайт, Л. Нейман, Н. Вербрюген, П. Кулаков, Л. Моклячук, С. Мельничук). Для практичного впровадження цих методів в Україні необхідно розробити наукові основи щодо використання відновлених територій у процесі сільськогосподарської діяльності.

Сьогодні особливо гостро стоїть питання щодо можливості переходу до зеленого зростання забруднених агроєкосистем. Необхідними є нові моделі виробництва і споживання, а також принципово інший підхід до визначення поняття «зростання» і виміру його результатів, де основним чинником є екологічна складова розвитку. Моніторинг прогресу на шляху до зеленого зростання, оцінювання ефективності джерел інформації, що використовуються, та ступеню досягнення поставлених цілей потребує розроблення відповідних

критеріїв та індикаторів – показників зеленого зростання. Нині існує потенційно велика кількість показників, які можуть бути використані як агроекологічні індикатори зеленого зростання, що мають важливе значення при визначенні політики ОЕСР, оскільки вони стосуються екологічних проблем у сільському господарстві, а актуальність політики потенційно сприяє розумінню і аналізу агроекологічного та сталого сільського господарства.

Важливими аспектами реалізації зеленого зростання в Україні є розроблення екологобезпечних методів реабілітації забруднених ґрунтів за основними критеріями та індикаторами зеленого зростання сільського господарства.

ЧАСТИНА 1. ЕКОЛОГОБЕЗПЕЧНІ МЕТОДИ РЕАБІЛІТАЦІЇ ҐРУНТІВ, ЗАБРУДНЕНИХ СТІЙКИМИ ОРГАНІЧНИМИ ПЕСТИЦИДАМИ

1.1 Стан проблеми забруднення сільськогосподарських угідь України полютантами

Непридатні пестициди (НП) складають окрему групу високотоксичних речовин, які неможливо використовувати за прямим призначенням внаслідок втрати ними своїх якостей, закінченням терміну придатності, заборони використання, втрати маркування (етикеток) або неконтрольованого перемішування. Проблема непридатних пестицидів пов'язана з їх накопиченням та відсутністю умов для їх контрольованого зберігання або безпечного знищення. Інвентаризація непридатних пестицидів, яка є дуже важливою складовою вирішення проблеми НП в Україні, розпочалася в 90-х роках ХХ століття і триває до сьогоднішнього дня, оскільки до цього часу точна кількість запасів непридатних пестицидів в країні з різних причин залишається невідомою. Ситуація ускладнюється тим, що після розпаду колишнього СРСР власники складів непридатних пестицидів неодноразово змінювалися, втрачалися відомості та документи щодо наявності та кількості НП, неналежне зберігання непридатних пестицидів призводило до ушкодження тари, упаковки та маркування і до утворення невідомих сумішей НП.

Проблема непридатних пестицидів безпосередньо пов'язана зі стійкими органічними забруднювачами (СОЗ). Поняття СОЗ об'єднує групу сполук різної природи, що мають наступні властивості: стійкість у навколишньому середовищі; стійкість до деградації; гостру і хронічну токсичність; біоаккумуляцію; транскордонний перенос на великі відстані повітрям, водою, або з мігруючими видами. У 2001 році 129 держав, в тому числі й Україна, підписали Стокгольмську Конвенцію про стійкі органічні забруднювачі [15]. У початковий перелік з 12 хімічних речовин, передбачений даним документом увійшли: альдрин, ендрин, дильдрин, хлордан, ДДТ, токсафен, мірекс, гептахлор, гексахлорбензол (ГХБ), поліхлоровані дифеніли (ПХД), поліхлоровані диоксини (ПХДД) і фурані (ПХДФ). Це не завершений список СОЗ і Конвенцією передбачена можливість розширення даного переліку за рахунок речовин, з характерним для СОЗ властивостями. Зокрема нині першим кандидатом на внесення у перелік СОЗ можна розглядати ГХЦГ [1]. У 1998 році під егідою ЮНЕП і Продовольчої і сільськогосподарської організації ООН (ФАО) прийнята Роттердамська конвенція, до списку якої входять 26 пестицидів, у тому числі і СОЗ [13].

1.2 Методи очищення ґрунтів, забруднених органічними поліюгантами

В Україні й надалі проводяться роботи з ліквідації запасів заборонених та непридатних пестицидів, але дослідженню та розробці методів знешкодження ґрунту зон забруднення не приділяється достатньо уваги. На сьогодні є дві альтернативи поводження з такими землями: консервація або очищення. Поховання, викопування та вилучення, а також існуючі фізичні та хімічні технології вимагають значних фінансових витрат, знищують структуру або змінюють властивості ґрунту, зменшують його родючість. За оцінками експертів очищення одного акра супіщаного ґрунту на глибину до 50 см за допомогою рослин коштує у 4–7 разів дешевше, ніж його екскавація та захоронення [18, 21].

Останнім часом у багатьох країнах світу дедалі частіше застосовують біологічне очищення антропогенно порушених територій за допомогою рослин, які не лише самі активно беруть участь у процесах ремедіації, але й у багатьох випадках сприятливо діють на мікрофлору ґрунтів, підвищуючи ефективність процесів відновлення навколишнього середовища. Біологічний спосіб відновлення антропогенно порушених екосистем є найекономічнішим і найбезпечнішим [28].

Фіторемердіація, як одна з фітотехнологій, використовує зелені рослини та асоційовані з ними ризосферні організми для видалення, накопичення та деградації ксенобіотиків з ґрунту, осадів стічних вод, повітря, підземних та поверхневих вод. До недоліків та обмежень застосування фіторемердіаційних технологій відносять: значну тривалість у часі, загрозу споживання забрудненої вегетативної маси представниками фауни, можливі труднощі з утилізацією вирощених рослин, ймовірність негативного впливу кліматичних умов на утворення біомаси, що знижує ефективність технології, глибину відновлюваного шару ґрунту (лімітується довжиною кореневої системи рослин-ремердіаторів) [19, 20].

В Інституті агроєкології і природокористування НААН співробітниками відділу екотоксикології було встановлено спроможність однорічних культурних рослин (*Cucurbita pepo* L., *Cucurbita pepo* L. var. *giraumontia* Duch., *Phaseolus vulgaris* L., *Glycine max* L.) та дикорослих видів рослин (*Taraxacum officinale* Wigg., *Artemisia vulgaris* L., *Elytrigia repens* L., *Artemisia absinthium* L.) поглинати хлорорганічні пестициди (ХОП) із забруднених ґрунтів [14] та розроблено алгоритм проведення фіторемердіації ґрунтів з полікомпонентним забрудненням пестицидами.

1.2.1 Ремедіація ґрунтів за використання карбонатних меліорантів

При тривалому забрудненні ХОП адсорбуються ґрунтовими частинками і в результаті стають недоступними для мікроорганізмів. Вивільнення зв'язаних залишків пестицидів з метою збільшення їх доступності для мікроорганізмів можливо при введенні речовин, здатних порушувати рівновагу у ґрунтових розчинах. Суть розробленого способу очистки забрудненого хлорорганічними пестицидами ґрунту полягає в обробленні зразків ґрунту меліорантами: CaCO_3 , CaO , $\text{Ca}(\text{OH})_2$ у кількості 2% від маси ґрунту (у перерахунку на CaCO_3) в анаеробних умовах впродовж 15 діб при температурі не нижчій 15°C і подальшому витримуванні в аеробних умовах впродовж 5 діб [9, 10]. Проведено дослідження впливу CaCO_3 на вміст ХОП у зразках забрудненого дерново-середньопідзолистого ґрунту складу агрохімікатів – (с.м.т. Калинівка Васильківського р-ну Київської обл.), чорнозему опідзоленого (с. Самчики Старокостянтинівського р-ну Хмельницької обл.), темно-каштанового ґрунту (біосферний заповідник «Асканія-Нова»), ясно-сірого ґрунту (с. Романківці Сокирянського р-ну Чернівецької обл.).

За результатами досліджень, вапнування забрудненого хлорорганічними пестицидами ґрунту у дозі 2% від маси ґрунту сприяє значному зменшенню вмісту ХОП (рис. 1).

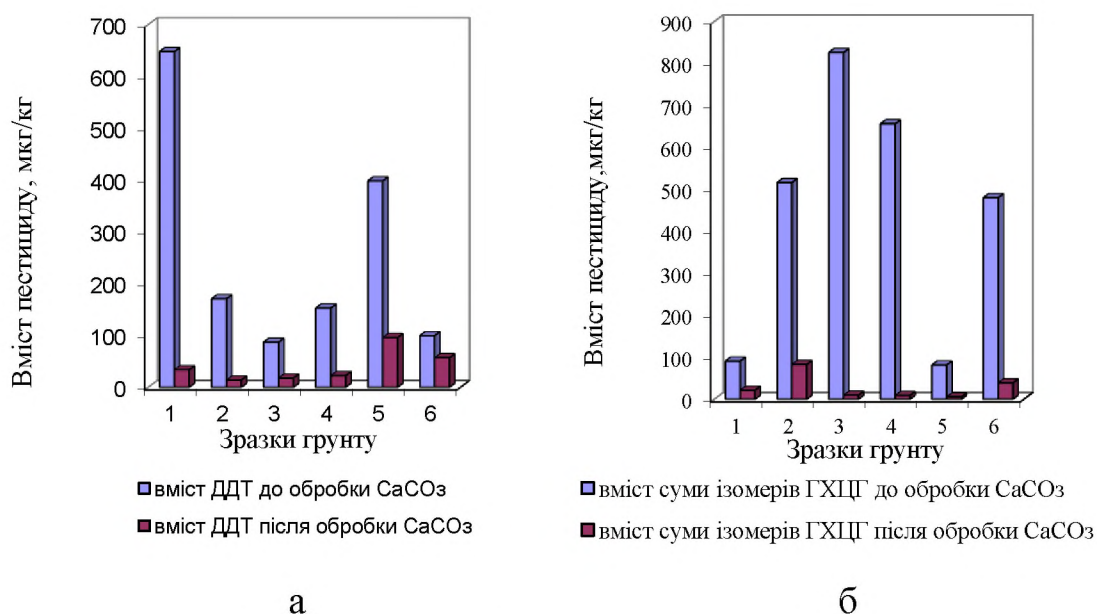


Рис. 1. Вплив CaCO_3 на вміст ХОП у зразках дерново-середньопідзолистого ґрунту: а – ГХЦГ, б – ДДТ

Повна деструкція стійких хлорорганічних пестицидів однією, навіть активною культурою практично не відбувається. На різних стадіях деструкції ХОП беруть участь різні групи мікроорганізмів, мікроорганізми одного виду

починають процес, потім трансформовану молекулу пестициду атакують мікроорганізми іншого виду.

На першій стадії в анаеробних умовах відбувається метаболізм 4,4'-ДДТ до 4,4'-ДДД. У подальшому під дією аеробних бактерій 4,4'-ДДД розкладається з утворенням сполук, які не належать до СОЗ. Зменшення дози СаСО₃ до 1% за ремедіації зразків чорнозему опідзоленого, відібраних в ареалі недіючого складу агрохімікатів (с. Самчики, Старокостянтинівський р-н, Хмельницька обл.) виявилось дещо менш ефективним (табл. 1).

Таблиця 1 – Вміст хлорорганічних пестицидів у чорноземі опідзоленому за умов внесення різних доз меліоранту (СаСО₃), мкг/кг

Доза меліоранту СаСО ₃	Вміст ДДТ, мкг/кг		
	4,4'-ДДТ	4,4'-ДДД	Сума ізомерів та метаболітів ДДТ
До вапнування	150,0±9,0	279,3±13,8	603,3± 13,8
1% від маси ґрунту	34,6±2,9	95,0±12,1	292,8±12,1
2% від маси ґрунту	3,6±1,0	13,1± 7,9	158,0±7,9

При проведенні ремедіації забруднених ХОП ґрунтів за допомогою карбонатних меліорантів відбувається зміна реакції ґрунтового середовища, зокрема, рН водної витяжки чорнозему опідзоленого змінюється від 7,02 до 7,42, що свідчить про наявність незв'язаного меліоранту, необхідного для вивільнення зв'язаних залишків ХОП (табл. 2). Слід зазначити, що така зміна реакції ґрунтового середовища не є значною і відповідає вимогам щодо кислотності ґрунту при вирощуванні більшості сільськогосподарських культур.

Таблиця 2 – Зміна реакції чорнозему опідзоленого при хімічній ремедіації забрудненого ґрунту

Показники ґрунту	Вихідний зразок ґрунту	ґрунт після ремедіації		
		1% СаСО ₃	2% СаСО ₃	дефекат, 2% (у перерахунку на СаСО ₃)
Актуальна кислотність (рН водної витяжки)	7,02	7,39	7,41	7,42
Обмінна кислотність (КСІ-витяжка)	6,55	6,97	7,02	7,01
Гідролітична кислотність (Н _Г), мг-екв/100 г ґрунту	2,6	1,30	1,22	1,20

Отже, за результатами досліджень можна зробити висновок про можливість використання карбонатних меліорантів для ремедіації забруднених хлорорганічними пестицидами ґрунтів.

1.2.2 Фіторемедіація ґрунтів за використання культурних видів рослин-ремедіаторів

Відомо, що перехід ксенобіотиків з ґрунту в рослини залежить від багатьох факторів – типу ґрунту, його гідротермічних умов, вмісту органічної речовини, рН ґрунту, фізико-хімічних властивостей пестицидів, виду рослин та їх біохімічного складу - основним з яких є тип ґрунту. Співробітниками відділу екотоксикології у ході проведення вегетаційних досліджень встановлено здатність тестових рослин вилучати ДДТ із дерново-підзолистого, сірого лісового та темно-сірого опідзоленого ґрунтів [14]. Незабруднений ДДТ та продуктами його метаболізму дерново-слабопідзолистий супіщаний ґрунт на водно-льодовикових відкладах відбирали на перелозі поблизу с. Зубівщина Коростенського району Житомирської області. У ґрунт штучно вносили ДДТ у кількостях, що у 15 та 1,5 разів перевищують ГДК. Дослідження проводили на 6 тестових рослинах: ячмені, пшениці, квасолі, сої, кабачках, гарбузах.

У зібраних рослинах і досліджуваному ґрунті аналізували вміст ДДТ та його стійких метаболітів – ДДЕ та ДДД. Результати вегетаційних досліджень, проведених на ґрунті із внесенням 15 ГДК ДДТ, свідчать, що найбільша концентрація ксенобіотика надійшла до тканин гарбузових (4807,1±475,3 мкг/кг гарбузів та 3834,7±432,5 мкг/кг кабачків), а найменший вміст у тканинах злакових (1195,1±154,6 мкг/кг пшениці та 1073,6±142,2 мкг/кг ячменю). До тканин сої та квасолі надійшло 1691,3±213,6 та 1348,1±189,2 мкг/кг відповідно.

Базуючись на отриманих даних, розраховано коефіцієнт накопичення ДДТ дослідними рослинами (рис. 2) і встановлено, що у тканинах гарбузових він більш ніж удвічі вищий порівняно з тканинами бобових, та більш ніж утричі перевищує надходження до рослинних організмів злакових.

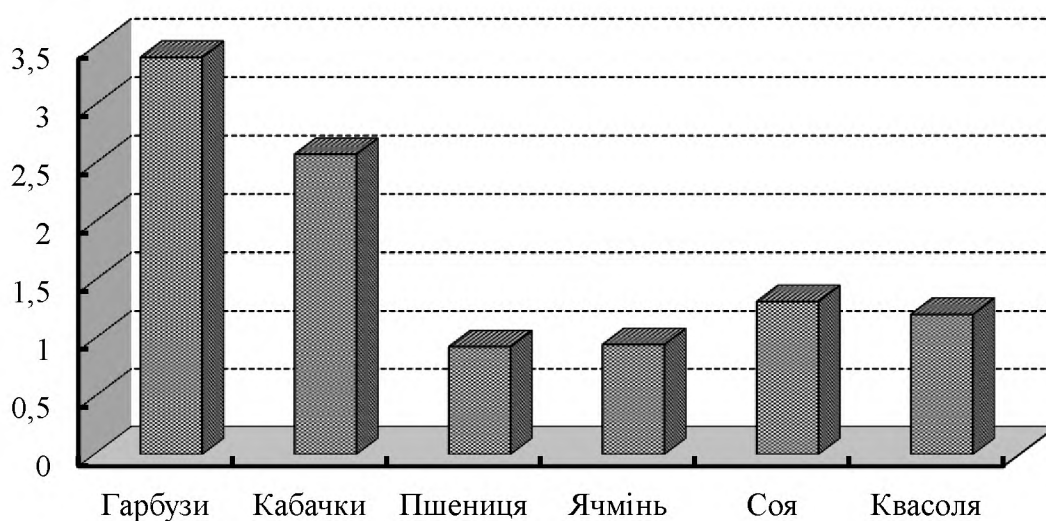


Рис. 2. Коефіцієнти накопичення ДДТ дослідними рослинами з ґрунту при внесенні 15 ГДК ДДТ

Результати досліджень, проведених на фоні внесення 1,5 ГДК ДДТ, свідчать, що найбільше ДДТ із ґрунту поглинають тканини гарбузових. Зокрема, гарбузи $502,0 \pm 31,21$ мкг/кг, а кабачки $694,0 \pm 27,64$ мкг/кг сухої речовини, в той час як у бобових ці показники становлять для сої – $238,82 \pm 15,18$, а для квасолі – $112,75 \pm 7,32$ мкг/кг. Найменше поглинають ДДТ тканини злакових (пшениця містила у своїх тканинах $73,89 \pm 6,21$, а ячмінь – $63,66 \pm 6,22$ мкг/кг сухої речовини). Розраховано коефіцієнт накопичення ДДТ дослідними рослинами з ґрунту (рис. 3).

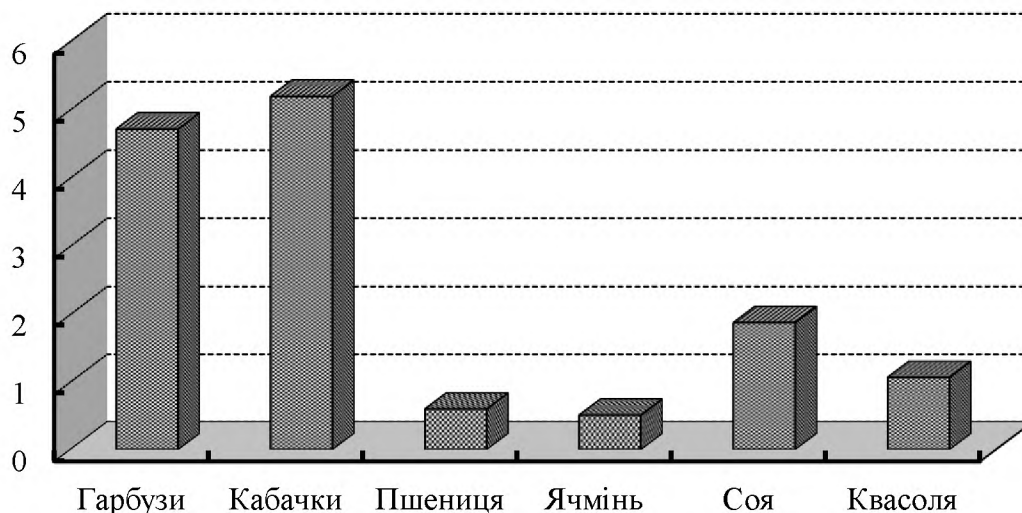


Рис 3. Коефіцієнти накопичення ДДТ дослідними рослинами з ґрунту при внесенні 1,5 ГДК ДДТ

Отримані коефіцієнти накопичення (K_n) підтверджують закономірності вилучення ДДТ рослинами. Так, найбільші коефіцієнти у кабачків – 5,2 та гарбузів – 4,72, а найменші у пшениці – 0,6 та ячменю – 0,51. Отже, можна зробити висновок, що незалежно від концентрації ДДТ у ґрунті досліджувані родини рослин за здатністю до поглинання цього ксенобіотика можна розмістити в такому порядку: *Cucurbitaceae* > *Fabaceae* > *Poaceae*.

На сірому лісовому супіщаному ґрунті на перемитій карбонатній супіщаній морені у ході проведення вегетаційних досліджень вивчали вплив підживлення на фітореMediaційну здатність рослин. Схема досліду включала п'ять варіантів: 1) контроль; 2) ґрунт + ДДТ; 3) ґрунт + ДДТ + $N_{45}P_{60}K_{45}$; 4) ґрунт + ДДТ + $N_{60}P_{90}K_{60}$; 5) ґрунт + ДДТ + $N_{90}P_{135}K_{90}$.

У ґрунт вносили ДДТ у кількості, що у 20 разів перевищує ГДК. Оскільки у попередніх дослідженнях представники родин гарбузових та бобових проявили більші екстракційні можливості, в подальшому досліджено здатність кабачків та квасолі щодо вилучення ДДТ із забрудненого ґрунту. Для дослідження рослини відбирали на стадії трьох справжніх листків і

встановлювали концентрацію ДДТ у кожному варіанті. На базі отриманих даних розраховано коефіцієнт накопичення ДДТ. Результати досліджень показали, що внесення мінеральних добрив збільшує надходження цього інсектициду у рослини (рис. 4).

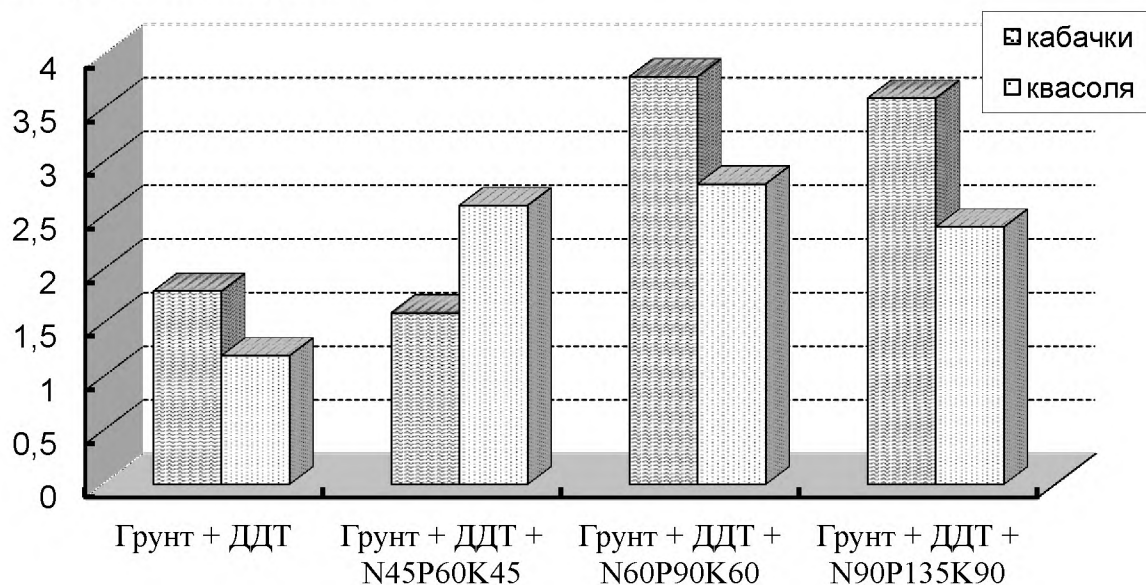


Рис. 4. Коефіцієнти накопичення ДДТ рослинами кабачків та квасолі з сірого лісового ґрунту (у розрахунку на суху речовину)

Для кабачків при підживленні $N_{45}P_{60}K_{45}$ коефіцієнт накопичення становить 1,6; при внесенні $N_{60}P_{90}K_{60}$ – 3,8; на фоні $N_{90}P_{135}K_{90}$ – 3,6. При цьому без внесення добрив цей показник становить 1,8. Для квасолі коефіцієнт накопичення при підживленні $N_{45}P_{60}K_{45}$ сягає 2,6; при внесенні $N_{60}P_{90}K_{60}$ – 2,8; на фоні $N_{90}P_{135}K_{90}$ – 2,4. У варіанті без застосування добрив цей показник становить 1,2.

Отже, доза $N_{60}P_{90}K_{60}$ сприяє найбільшому переходу ДДТ із сірого лісового ґрунту у рослини кабачків та квасолі. Водночас, порівняння фітоекстракційної здатності двох досліджуваних рослин свідчить, що *Cucurbita pepo* L. більшою мірою вилучають ДДТ з ґрунту ніж *Phaseolus vulgaris* L.

У ході проведення вегетаційних досліджень встановлено спроможність щодо екстрагування ДДТ кабачками з темно-сірого опідзоленого грубопилувато-легкосуглинкового ґрунту на лесовидному суглинку на різних етапах розвитку рослин. Встановлено розподіл ДДТ у вегетативних та генеративних органах рослин кабачків. Схема дослідю включала п'ять варіантів: 1) контроль; 2) ґрунт + ДДТ; 3) ґрунт + ДДТ + $N_{45}P_{60}K_{45}$; 4) ґрунт + ДДТ + $N_{60}P_{90}K_{60}$; 5) ґрунт + ДДТ + $N_{90}P_{135}K_{90}$. У ґрунт вносили ДДТ у кількості, що у 25 разів перевищує ГДК. Розраховано коефіцієнт накопичення ДДТ рослинами на стадії трьох справжніх листків із ґрунту (рис. 5). Максимальна кількість ДДТ

($K_n = 1,81$) надійшла з ґрунту у рослини за внесення добрив у кількості $N_{60}P_{90}K_{60}$, а найменше надходження ($K_n = 0,83$) спостерігається у варіанті, без додаткового підживлення рослин. Отже, можна зробити висновок, що на стадії трьох справжніх листків внесення додаткового мінерального підживлення рослин сприяє поглинанню ДДТ тканинами кабачків. Оптимальним виявилось співвідношення NPK як 60:90:60, за якого K_n ДДТ рослинами кабачків із ґрунту у 2,2 рази більше, ніж у варіанті без внесення добрив.

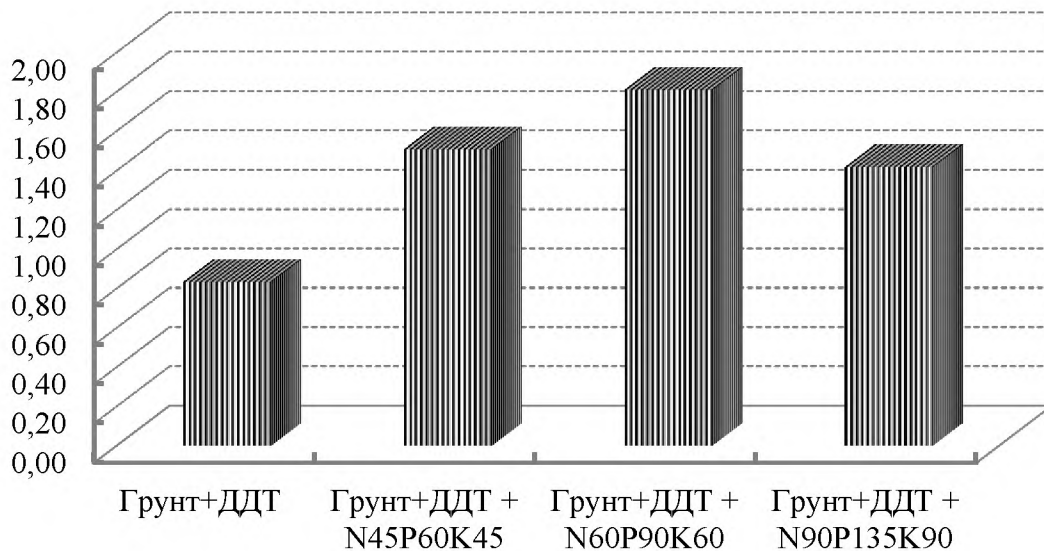


Рис. 5. Коефіцієнти накопичення ДДТ кабачками із ґрунту на стадії трьох справжніх листків

Вдруге дослідні рослини для аналізу відбирали на стадії цвітіння. Розраховано K_n ДДТ рослинами з ґрунту на цьому етапі розвитку.

Найбільша кількість ДДТ поглинулась рослинами з ґрунту у варіанті з дозою мінерального живлення $N_{60}P_{90}K_{60}$ ($K_n=3,40$). Без додаткового підживлення цей показник найменший ($K_n=2,15$). Варіанти із внесенням добрив у співвідношенні NPK як 45:60:45 та 90:135:90 займають проміжне становище, коефіцієнти накопичення у них становлять 2,25 і 2,32 відповідно. Отже, внесення мінеральних добрив у дозі $N_{60}P_{90}K_{60}$, дає можливість у 1,6 разів збільшити K_n ДДТ рослинами кабачків на стадії цвітіння.

Встановлено, що ДДТ поглинають і суцвіття рослин. Зокрема, при внесенні мінеральних добрив у кількості $N_{60}P_{90}K_{60}$ у суцвітті виявлено 25,73 % ксенобіотика від загального вмісту ДДТ у рослині. У варіанті без удобрення аналогічний показник найменший і становить 17,29 %. Спостерігається пряма кореляція між вмістом ДДТ у рослині без суцвіття та у суцвітті ($r = 0,88$). Отже, внесення мінеральних добрив сприяє збільшенню надходження цього ксенобіотика до генеративних органів рослин.

ДДТ розкладається у навколишньому природному середовищі з утворенням двох метаболітів ДДД та ДДЕ, перший з яких утворюється в анаеробних умовах, а другий – в аеробних. ДДД доволі легко піддається подальшому перетворенню до нетоксичних сполук, а ДДЕ розкладається повільно. Тому для характеристики інтенсивності процесів деструкції ДДТ рослинами проаналізовано співвідношення між ДДТ та його стійким метаболітом ДДЕ (рис. 6).

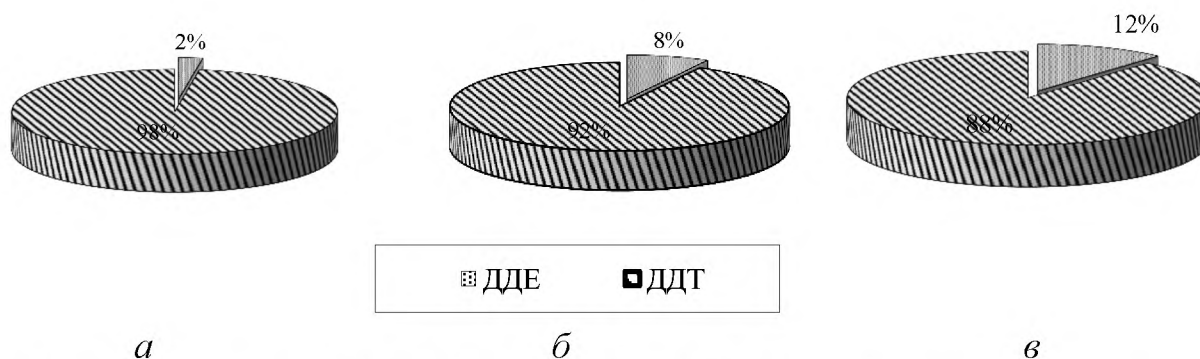


Рис. 6. Відсоткове співвідношення ДДТ та ДДЕ у: а – досліджуваному ґрунті; б – рослинах без суцвіття; в – суцвітті

Співвідношення ДДТ до ДДЕ у ланцюзі ґрунт – рослина без суцвіття – суцвіття змінюється від 98:2 у ґрунті до 88:12 у суцвітті. Це свідчить, що процеси фітоекстракції та фітодеградації ДДТ у рослинах кабачків відбуваються паралельно. Отже, існує пряма залежність між вмістом ДДТ у ґрунті та рослинах, вирощених на ньому. Коефіцієнти накопичення для кабачків більші на дерново-підзолистому супіщаному (2,58 та 5,2) ніж на сірому лісовому супіщаному (1,8) та темно-сірому опідзоленому легкосуглинковому (0,83) ґрунтах. Таким чином у ході проведених досліджень, співробітниками відділу екотоксикології науково обґрунтовано процеси фітоекстракції та фітодеградації ДДТ однорічними культурними рослинами з забруднених ґрунтів України. Встановлено спроможність однорічних культурних рослин: ячменю (*Hordeum vulgare* L.), пшениці (*Triticum durum* L.), квасолі (*Phaseolus vulgaris* L.), сої (*Glycine max* L.), кабачків (*Cucurbita pepo* L. var. *giromontina*), гарбузів (*Cucurbita pepo* L.) поглинати ДДТ із забруднених ґрунтів. Розраховано коефіцієнти накопичення та встановлено, що максимальні його значення у рослин родини *Cucurbitaceae*. Встановлено, що ефективним способом підсилювання спроможності рослин поглинати ДДТ є застосування мінеральних добрив: доза N₆₀P₉₀K₆₀ дає змогу у 2,2 – 2,3 рази збільшити поглинання пестициду.

1.2.3 Фіторемедіація ґрунтів за використання дикорослих видів рослин-ремедіаторів

Науковцями Інституту агроекології і природокористування НААН вперше в Україні досліджено та теоретично обґрунтовано можливості застосування дикорослих видів рослин для фіторемедіації територій в умовах високої фітотоксичності ґрунту [12]. Дослідження проводили в умовах перехідної зони між Поліссям і Лісостепом у межах санітарно-захисної зони складу отрутохімікатів (с. Петрівське Бориспільського району Київської області). Ґрунт – сірий опідзолений супіщаний.

Для дослідження фіторемедіаційної спроможності дикорослих видів рослин щодо хлорорганічних пестицидів відібрано види рослин з ділянок із максимальними рівнями забруднення ДДТ, у тому числі види, толерантні до наявності гербіцидів у ґрунті. Проведено визначення залишкових кількостей ХОП у тканинах рослин та ризосферному ґрунті. З метою вибору критеріїв фіторемедіаційної спроможності дикорослих видів рослин аналізували наступні показники: вміст залишкових кількостей ХОП у надземній і підземній частинах рослин, мкг/кг; коефіцієнти біонакопичення пестицидів рослинами (співвідношення вмісту полютантів у рослині до їх вмісту у ризосферному ґрунті); коефіцієнти транслокації з підземних у надземні органи рослини (співвідношення вмісту пестицидів у надземній частині до вмісту у кореневій системі рослин) (рис. 7).

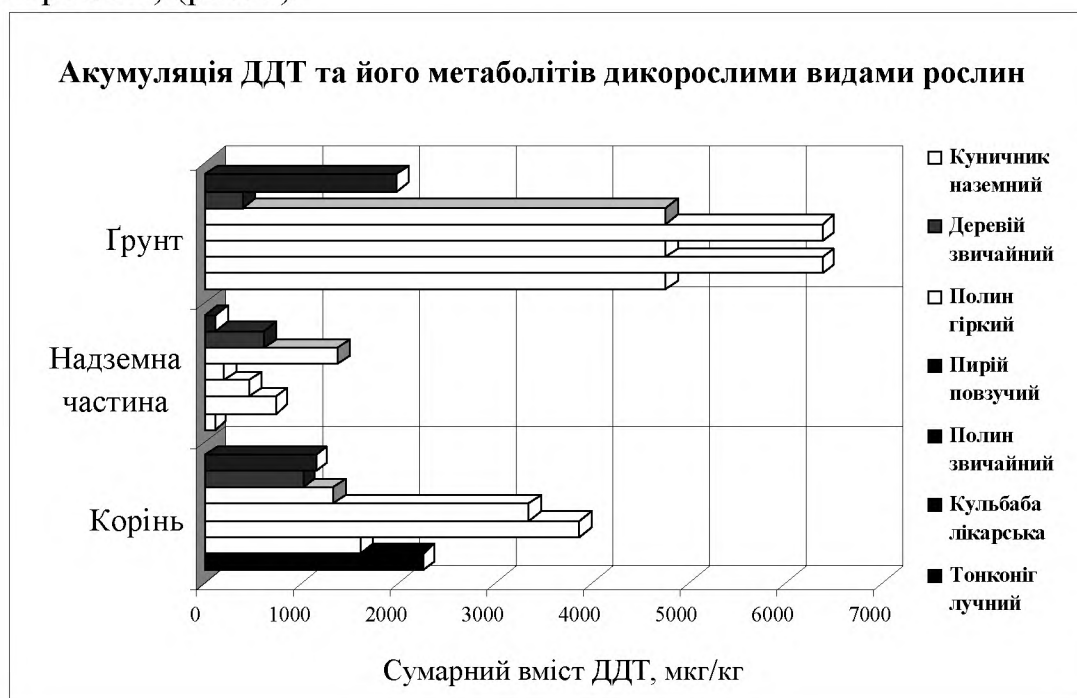


Рис. 7. Акумуляція ДДТ та його метаболітів у кореневій системі та надземних органах різних видів дикорослих рослин

На рисунку 7 наведено результати визначення сумарного вмісту ДДТ та його метаболітів у ризосферному ґрунті та тканинах толерантних до токсичного впливу пестицидів видів рослин. Показано, що рослини тонконогу лучного, кульбаби лікарської, полину звичайного, пирію повзучого, куничника наземного та полину гіркого здатні активно накопичувати ДДТ у своїх тканинах. Акумуляція токсикантів відбувається переважно у кореневій системі наведених видів, до того ж максимальні концентрації ДДТ виявлено у тканинах коренів полину звичайного ($3872,4 \pm 109,9$ мкг/кг), пирію повзучого ($3353,4 \pm 113,9$ мкг/кг) та тонконогу лучного ($2252,8 \pm 113,0$ мкг/кг).

Одним із основних показників здатності рослин до фітоекстракції забруднювачів є коефіцієнт транслокації. Це безрозмірна величина, що визначається як співвідношення вмісту пестицидів у надземних органах рослин до їх вмісту у кореневій системі. Вважається, що при значеннях цього коефіцієнта ≥ 1 , рослини мають високу здатність переміщувати полютанти із кореневої у надземну частину та є перспективними для використання у технологіях фітоекстракції. Виявлено, що найбільші значення коефіцієнту транслокації мають полин гіркий, деревій звичайний та кульбаба лікарська (табл. 3).

Незважаючи на те, що наведені у таблиці 3 види мають невисокі значення коефіцієнтів транслокації, слід враховувати, що більшість з них – багаторічні рослини, здатні рости в умовах фітотоксичності ґрунту і накопичувати ДДТ та його метаболіти у значних кількостях у тканинах коренів. Це свідчить про можливість застосування даних видів як фітостабілізаторів СОЗ у ґрунті для запобігання міграції токсикантів у суміжні середовища.

Таблиця 3 – Акумуляція та транслокація токсикантів дикорослими видами рослин

Вид рослини	Сумарний вміст ДДТ та його метаболітів, мкг/кг			Коефіцієнт транслокації
	ризосферний ґрунт	надземні органи	коріння	
Тонконіг лучний	$4753,6 \pm 510,2$	$101,2 \pm 7,6$	$2252,8 \pm 113,0$	0,04
Кульбаба лікарська	$6377,0 \pm 45,7$	$729,7 \pm 51,5$	$1605,6 \pm 1,7$	0,45
Полин звичайний	$4753,6 \pm 510,2$	$465,6 \pm 9,7$	$3872,4 \pm 109,9$	0,12
Полин гіркий	$4753,6 \pm 510,2$	$1373,4 \pm 27,1$	$1328,4 \pm 36,2$	1,03
Пирій повзучий	$6377,0 \pm 45,7$	$199,7 \pm 2,5$	$3353,4 \pm 113,9$	0,06
Куничник наземний	$1985,2 \pm 2,6$	$105,0 \pm 0,4$	$1146,4 \pm 33,4$	0,09
Деревій звичайний	$388,5 \pm 1,7$	$612,8 \pm 5,5$	$1016,3 \pm 6,6$	0,60

Розраховано коефіцієнти біонакопичення, що характеризують інтенсивність поглинання токсикантів і показують частку їх вмісту у рослині відносно вмісту у ґрунті. У табл. 4 наведено значення коефіцієнтів біонакопичення та транслокації для рослин кульбаби лікарської при різних рівнях забруднення ґрунту ДДТ та його метаболітами.

Таблиця 4 – Транслокація токсикантів з кореневої системи у надземну частину *Taraxacum officinale* L.

Сумарний вміст ДДТ та його метаболітів, мкг/кг			Коефіцієнт біонакопичення	Коефіцієнт транслокації
ризосферний ґрунт	коріння	надземні органи рослин		
158,0±5,6	276,9±3,5	83,5±4,2	1,14	0,30
388,5±1,7	312,7±3,0	178,5±5,0	0,63	0,57
6377,0± 45,7	1605,6±1,7	729,7±51,5	0,18	0,45

При максимальному вмісті ДДТ у ґрунті (63,8 ГДК) рослини акумулюють найбільшу кількість токсиканта, при цьому коефіцієнт біонакопичення є мінімальним і становить 0,18, тоді як при невисокому ступені забруднення ґрунту (1,6 ГДК) коефіцієнт біонакопичення має максимальне значення – 1,14. Отже, коефіцієнт біонакопичення залежить від ступеня забруднення ґрунту і не може слугувати критерієм фітореMediaційної спроможності дикорослих видів рослин. Натомість, коефіцієнти транслокації незначно залежать від ступеня забруднення ґрунту ДДТ (табл. 5). На прикладі кульбаби лікарської показано, що при зниженні концентрації ДДТ у ризосферному ґрунті від 63,8 до 1,6 ГДК коефіцієнт транслокації варіює у межах 0,30 – 0,57. Коефіцієнт кореляції між сумарним вмістом ДДТ у ґрунті та значеннями коефіцієнтів транслокації для рослин кульбаби лікарської становить -0,10. Отже, коефіцієнт транслокації залежить лише від фізіологічних особливостей рослин і може бути використаний як критерій фітореMediaційної спроможності дикорослих видів рослин.

Науковцями відділу проведено дослідження фітоекстракційної та фітодеградаційної здатності дикорослих видів рослин щодо ДДТ: кульбаби лікарської, енотери дворічної, злинки канадської, нетреби звичайної, моркви дикої та деревію звичайного при їх вирощуванні на ґрунті з полікомпонентним забрудненням пестицидами у кліматичній камері. Контролем слугував варіант із забрудненим ґрунтом без рослин. Встановлено, що процеси деградації ДДТ у ґрунті з тривалим забрудненням цим токсикантом без рослинного покриву відбуваються дуже повільно. Незначне зменшення вмісту токсикантів (на 3,6%) спостерігається за рахунок їх вимивання з ґрунту при поливі. Для всіх

досліджуваних видів рослин зафіксовано значне зниження концентрації токсикантів у ризосферному ґрунті у порівнянні з вихідними рівнями забруднення ґрунту до вирощування рослин. У таблиці 5 показано, що сумарний вміст ДДТ у ризосферному ґрунті по відношенню до вихідного рівня забруднення зменшився на 15,2–30,7% за вегетаційний період. Отже, всі досліджувані види рослин сприяють зниженню концентрації ДДТ у ґрунтах з полікомпонентним забрудненням пестицидами. Частка, на яку зменшується вміст поллютантів у ґрунті, змінюється залежно від вирощуваного виду рослин та вихідного рівня забруднення ґрунту ДДТ та його метаболітами.

Таблиця 5 – Трансформація ДДТ у ризосферному ґрунті та його транслокація у дикорослих видах рослин

Вид	Вихідний рівень забруднення ґрунту	% деградованого ДДТ у ризосферному ґрунті	Коефіцієнт транслокації
Деревій звичайний	1567,0±1,9	15,2	0,27
Нетреба звичайна	398,0±2,5	30,7	0,39
Морква дика	308,3±1,0	20,5	0,07
Кульбаба лікарська	238,0±2,3	24,6	0,38
Злинка канадська	757,9±0,7	16,0	0,06

Проведено дослідження біологічних особливостей дикорослих видів рослин, перспективних для фітореMediaції ґрунтів з полікомпонентним забрудненням пестицидами. Проведені дослідження дали змогу виділити групу дикорослих видів рослин, що, на нашу думку, є найперспективнішими для фітостабілізації та фітодеградації ксенобіотиків в умовах фітотоксичності ґрунту при полікомпонентному забрудненні території пестицидами, а саме: кульбаба лікарська – *Taraxacum officinale* Wigg. (Asteraceae); нетреба звичайна – *Xanthium strumarium* L. (Asteraceae); полин гіркий – *Artemisia absinthium* L. (Asteraceae); полин звичайний – *Artemisia vulgaris* L. (Asteraceae); злинка канадська – *Erigeron canadensis* L. (Asteraceae); деревій звичайний – *Achillea millefolium* L. (Asteraceae); пирій повзучий – *Elytrigia repens* L. (Poaceae); морква дика – *Daucus carota* L. (Apiaceae); енотера дворічна – *Oenothera biennis* L. (Onagraceae); куничник наземний – *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth. (Poaceae). Основна частина, наведених видів належить до родин айстрових або злакових, вони здатні до вегетативного розмноження або формують значну кількість насіння, мають подовжену тривалість життя. Більшість з них є експлерентами. Спільні для наведених видів специфічні речовини (органічні

кислоти, фенольні сполуки, ефірні олії, флавоноїди, дубильні речовини) можуть бути задіяні у механізмах стійкості до високого пестицидного навантаження.

Обстеження території, забрудненої стійкими пестицидами, та прийняття рішення щодо її ремедіації має здійснюватись поетапно і включати наступні заходи: попередню оцінку території на основі картографічних матеріалів та результатів лабораторних досліджень ґрунтових зразків; складання плану території з виділенням меж забрудненої та буферної зон; візуальну оцінку ділянки, що потребує фіторемедіації; покращення місцевих ґрунтів або збереження їх у незмінному стані, придатному для ведення ремедіаційних робіт; вибір рослин-ремедіаторів; фіксацію та трансформацію забруднювачів у ґрунті за допомогою рослинного покриву. В умовах фітотоксичності ґрунту використання рослинних покривів з видів природної флори для фітостабілізації та фітодеградації поллютантів є оптимальним способом його ремедіації. При цьому необхідною умовою є виявлення та знищення карантинних видів у природному ценозі забрудненої зони.

Фіторемедіаційні заходи з очищення ґрунтів з полікомпонентним забрудненням пестицидами доцільно проводити у відповідному порядку та у залежності від особливостей конкретної території, базуючись на ступені деградації та рівнях забруднення ґрунту токсичними речовинами.

Отже, надходження ДДТ та його метаболітів з ґрунту у дикорослі види рослин фітоценозу досліджуваної території, а також процеси їх накопичення та трансформації залежать від вихідного рівня забруднення ґрунту, наявності у ньому фітотоксичних речовин та видових особливостей рослин. Такі дикорослі види рослин як полин звичайний, пирій повзучий, кульбаба лікарська, деревій звичайний, тонконіг лучний, полин гіркий, куничник наземний є перспективними для створення рослинного покриву з метою запобігання міграції ДДТ за рахунок фітостабілізації в умовах полікомпонентного забруднення територій.

1.3 Загальні підходи до реабілітованих ґрунтів, забруднених залишками пестицидів, у процесі сільськогосподарської діяльності

Розроблення загальних підходів для визначення необхідності очищення ґрунту на ділянках, забруднених залишками пестицидів, в тому числі хлорорганічних, в сільськогосподарському секторі є важливим. Проте необхідно враховувати і специфічні умови конкретної ділянки, яка потребує очищення, її унікальні характеристики та перспективи її подальшого використання в сільськогосподарському виробництві.

Пестициди, які надійшли у ґрунт, становлять ризик для живих організмів. Ризик отруєння пестицидами залежить в першу чергу від властивостей діючої речовини пестициду. При розробці підходів до очищення ґрунту необхідно враховувати вплив методів очищення на довкілля, можливість вилуговування забруднюючих речовин у ґрунтові води та вплив на здоров'я людини.

При розробленні способів очищення забрудненої ділянки потрібно враховувати початкову концентрацію забруднювачів, об'єм забрудненого ґрунту, загальну екологічну ситуацію, наявність карстових порід на ділянці або поруч з нею, наявність розташованих поруч тваринницьких комплексів та потрапляння забруднених стоків у поверхневі води. Зокрема, для пестицидів, що зазвичай контролюються в ґрунті і ґрунтових водах, запропоновано рівні ризику щодо забруднення ґрунтових вод їхніми залишками.

Критеріями ступеня забруднення ґрунту для кожної окремої токсичної сполуки є гранично допустима концентрація та шляхи впливу на організм при надходженні ґрунту/пилу у організм людини. Всі ці фактори слід враховувати при визначенні кінцевих цілей очищення ґрунту на ділянці. Основним критерієм успішності очищення ґрунту є здоров'я людини.

Відносно використання земель сільськогосподарського призначення з урахуванням забруднення їх пестицидами розроблено спеціальну градацію забруднення ґрунтів, що нараховує 4 класи. До першого класу відносяться ґрунти із вмістом пестицидів меншим 0,5 ГДК. Ці землі відносяться до умовно чистих і на них можливе вирощування сільськогосподарської продукції.

До другого класу відносяться землі зі вмістом пестицидів від 0,5 до 1,0 ГДК. Ці землі можливо використовувати під будь-які сільськогосподарські культури при умові контролю якості вирощеної сільськогосподарської продукції. Основною складовою механізму використання цих земель становлять агротехнічні заходи (вирощування культур у залежності від здатності нагромаджувати пестициди, вапнування кислих ґрунтів, застосування мінеральних та органічних добрив та сидератів). Безумовно, вказаний перелік заходів далеко не повний, це тільки основні, які вимагають обов'язкового впровадження у виробництво.

До третього класу відносяться землі зі вмістом пестицидів на рівні від 1,0 до 10,0 ГДК. Їх можна використовувати під сільськогосподарські культури, сировина яких проходить відповідну переробку, що гарантує отримання незабрудненої продукції (етилового спирту, біопалива тощо).

До четвертого класу відносяться землі із вмістом пестицидів, що перевищує 10,0 ГДК. На таких землях забороняється вирощувати сільськогосподарські культури, а самі землі підлягають виведенню із сільськогосподарського використання та консервації. Консервація земель являє

собою тимчасове виведення забруднених сільськогосподарських угідь із сільськогосподарського використання, проведення на таких угіддях комплексу робіт з відновлення їхньої родючості (головним чином, залуження або заліснення) та повернення їх у сферу сільськогосподарського виробництва.

При застосуванні відновлених територій у сільськогосподарському виробництві слід також враховувати міграцію пестицидів профілем ґрунту та ймовірність забруднення підземних вод. Дослідження рухомості пестицидів профілем ґрунту показали, що їх проникність у глибокі шари та ризик забруднення підземних вод залежить від хімічних властивостей пестицидів та їх здатності до адсорбції. За рухомістю у ґрунті пестициди можна розділити на два класи – нейтральні пестицидні сполуки; пестициди з кислотними властивостями. Крім того, міграція пестицидів профілем ґрунту залежить від гранулометричного складу та вмісту органічної речовини. Проникнення пестицидів на велику глибину спостерігається для ґрунтів, що характеризуються легким гранулометричним складом і низьким вмістом гумусу. За ризиком забруднення підземних вод ґрунти доцільно поділити на три групи: високий, помірний та низький рівень ризику забруднення ґрунтових вод.

При проведенні заходів з очищення ґрунту та використанні відновлених територій необхідно враховувати ризик забруднення підземних вод кожним із пестицидів для кожної групи ґрунтів (табл. 6).

Як видно з таблиці 6, для пестицидів кислотного характеру ризик забруднення підземних вод не залежить від гранулометричного складу та вмісту органічної речовини у ґрунті. Для більшості нейтральних пестицидів, ризик забруднення підземних вод залежить від гранулометричного складу та вмісту органічної речовини у ґрунті забрудненої ділянки. Зокрема, небезпечна концентрація гербіциду Алахлор у ґрунтах з високим рівнем ризику забруднення підземних вод відповідає $\geq 0,1$ мг/кг, а для ґрунтів з низьким рівнем ризику забруднення підземних вод $\geq 2,0$ мг/кг відповідно. Виключення становлять Хлорпірифос, Етилфлуралін та Металохлор. Відповідно до цілей подальшого використання реабілітованих ґрунтів в аграрному секторі, якісно очищені ділянки рекомендовано використовувати під забудівлю, для посадки лісозахисних смуг, для вирощування сільськогосподарської продукції або з рекреаційною метою. В усіх таких випадках необхідно провадити моніторинг динаміки вмісту забруднювачів, з урахуванням всіх необхідних вимог щодо провадження господарської діяльності на таких ділянках.

Таблиця 6 – Ризик забруднення підземних вод пестицидами, мг/кг

Діюча речовина пестициду	Ґрунти з низьким рівнем ризику забруднення підземних вод	Ґрунти з помірним рівнем ризику забруднення підземних вод	Ґрунти з високим рівнем ризику забруднення підземних вод
Нейтральні пестициди			
Ацетохлор	1,0	1,0	0,1
Алахлор	2,0	1,2	0,1
Атразин	2,0	0,6	0,1
Хлорпірифос	1,0	1,0	1,0
Цианазин	0,5	0,2	0,1
Диметенамід	1,2	1,2	0,5
Етилфлуралін	0,5	0,5	0,5
Фонофос	2,0	2,0	0,8
Металохлор	1,5	1,5	1,5
Метрибузин	0,3	0,3	0,1
Пендиметалін	0,8	0,8	0,5
Пропахлор	4,0	4,0	1,1
Прометон	8,0	8,0	0,9
Пропазин	1,0	1,0	0,1
Симазин	1,0	1,0	0,1
Тербуфос	1,0	0,2	0,1
Трифлуралін	1,0	1,0	1,0
Пестициди кислотного характеру			
2,4-Д	0,5	0,5	0,5
Бентазон	0,5	0,5	0,5
Дикамба	0,3	0,3	0,3
Піклорам	0,1	0,1	0,1
2,4,5-Т	0,5	0,5	0,5
Карбарил	0,5	0,5	0,5
Карбофуран	0,2	0,2	0,2

Таким чином, висвітлено стан проблем, пов'язаних із непридатними пестицидами в Україні, та можливі шляхи їх вирішення. Наведено дані щодо інвентаризації непридатних пестицидів у всіх областях України. Розглянуто методи очищення забруднених ґрунтів. Науково обґрунтовано процеси фітоекстракції та фітодеградації ДДТ однорічними культурними рослинами з забруднених ґрунтів України. Встановлено спроможність однорічних культурних рослин: ячменю (*Hordeum vulgare* L.), пшениці (*Triticum durum* L.), квасолі (*Phaseolus vulgaris* L.), сої (*Glycine max* L.), кабачків (*Cucurbita pepo* L. var. *giromontina*), гарбузів (*Cucurbita pepo* L.) поглинати ДДТ із забруднених ґрунтів. Розраховано коефіцієнти накопичення та встановлено, що максимальні його значення у рослин родини *Cucurbitaceae*. Встановлено, що ефективним способом підсилювання спроможності рослин поглинати ДДТ є застосування мінеральних добрив.

Встановлено, що надходження ДДТ та його метаболітів з ґрунту у дикорослі види рослин фітоценозу досліджуваної території, а також процеси їх накопичення та трансформації залежать від вихідного рівня забруднення ґрунту, наявності у ньому фітотоксичних речовин та видових особливостей рослин. Такі дикорослі види рослин як полин звичайний, пирій повзучий, кульбаба лікарська, деревій звичайний, тонконіг лучний, полин гіркий, куничник наземний є перспективними для створення рослинного покриття з метою запобігання міграції ДДТ за рахунок фітостабілізації в умовах полікомпонентного забруднення територій.

При розробці підходів до очищення забрудненої ділянки потрібно враховувати початкову концентрацію забруднювачів, обсяг забрудненого ґрунту, загальну екологічну ситуацію, наявність карстових порід на ділянці або поруч з нею, наявність поруч тваринницьких комплексів та забруднених стоків у поверхневій воді. Також необхідно враховувати такі чинники як практичність і економічна ефективність технологій очищення, загальний захист здоров'я людини і навколишнього середовища та довгострокова ефективність і стабільність очищення ґрунту. Зокрема, для пестицидів, що зазвичай контролюються в ґрунті і ґрунтових водах, запропоновано рівні ризику щодо забруднення ґрунтових вод їхніми залишками

Розроблено загальні підходи щодо визначення необхідності очищення ґрунту на ділянках, забруднених залишками пестицидів, в тому числі хлорорганічних, в сільськогосподарському секторі.

ЧАСТИНА 2. ІНДИКАТОРИ ТА КРИТЕРІЇ ЗЕЛЕНОГО ЗРОСТАННЯ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА У ЕКОЛОГОБЕЗПЕЧНИХ ПІДХОДАХ ДО МЕТОДІВ РЕАБІЛІТАЦІЇ ҐРУНТІВ

Існує потенційно велика кількість показників, які можуть бути використані як індикатори для вимірювання кількості різних компонентів та їх зв'язків. Для того, щоб показники, за якими проводять оцінювання зеленого зростання сільського господарства, можна було вважати індикаторами, ці показники повинні, насамперед, відображати ті природні та антропогенні зміни, які відбуваються у агроєкосистемах. Запропоновані Організацією економічного співробітництва та розвитку (ОЕСР) індикатори зеленого зростання неоднаково актуальні для різних країн і мають інтерпретуватися з урахуванням їх специфіки [23, 24]. Принципи сталого використання ґрунтів добре задокументовані в тематичній стратегії щодо захисту ґрунтів, у документах Європейського парламенту, Ради Європи та Європейської Комісії. Метою запропонованої Єврокомісією тематичної стратегії щодо захисту ґрунтів є збереження ґрунту, його стале використання шляхом запобігання подальшої деградації, збереження ґрунтових функцій і реабілітації деградованих ґрунтів [25, 26, 27]. До числа результатів процесів деградації ґрунтів відносяться: зниження родючості ґрунтів, вуглецю вмісту гумусу, біорізноманіття, водоутримної здатності; порушення циклів поживних речовин, зростання вмісту забруднюючих речовин.

2.1 Індикатори моніторингу стану ґрунтів сільськогосподарського призначення ОЕСР

Для моніторингу прогресу у напрямі зеленого зростання сільського господарства ОЕСР пропонує такі індикатори [27]:

- ✓ стан агроландшафтів;
- ✓ використання і збереження земель;
- ✓ збалансоване використання поживних речовин;
- ✓ використання води;
- ✓ якість ґрунту;
- ✓ якість води;
- ✓ збереження біорізноманіття;
- ✓ рівень застосування пестицидів;
- ✓ парникові гази;
- ✓ сільськогосподарські фінансові ресурси;
- ✓ соціально-культурні проблеми.

За рекомендаціями ОЕСР основними індикаторами зеленого зростання сільського господарства є зміни концентрації органічної речовини ґрунту та зміни у балансі і концентрації поживних речовин. Але нині ще не розроблено чіткої системи індикаторів зеленого зростання сільськогосподарського виробництва України. Для розроблення цієї системи, насамперед, слід розробити індикатори, які характеризують зелене зростання ґрунтів земель сільськогосподарського призначення, оскільки ґрунти є основним засобом виробництва сільськогосподарської продукції. Виходячи з того, що, основною продуктивною силою аграрного виробництва є ґрунт, стан ґрунту і баланс поживних речовин у ньому є одним із основних індикаторів збалансованого розвитку агроєкосистем. Баланс поживних речовин може вказувати на рівень потенційного забруднення ґрунту, води і повітря надлишками поживних речовин або на недостатню їх кількість для отримання належного врожаю. Це концентрація азоту і фосфору, виражена як валовий баланс N і P на 1 га земель сільськогосподарського призначення.

З метою розроблення індикаторів зеленого зростання сільського господарства на національному, регіональному та локальному рівнях як засобу скорочення негативних екологічних наслідків сільськогосподарського виробництва, а також збалансованого використання його позитивного екологічного потенціалу, у т.ч. збереження екосистем і забезпечення продовольством населення, проведено аналіз, оцінювання та порівняння основних індикаторів зеленого зростання, запропонованих міжнародними організаціями і адаптованих для України, та індикаторів моніторингу ґрунтів земель сільськогосподарського призначення, що проводиться в ЄС та Україні.

Для того щоб показники, за якими проводять оцінювання зеленого зростання сільського господарства, можна було вважати індикаторами, останні мають насамперед відображати природні та антропогенні зміни, що відбуваються в агроєкосистемах. Але показники, за якими проводиться моніторинг ґрунтів, також є індикаторами екологічних загроз, що виникають у процесі сільськогосподарського виробництва. З іншого боку, вміст органічної речовини ґрунту, мікроелементів та баланс поживних речовин можуть вказувати на рівень потенційного забруднення ґрунту, води і повітря надлишками поживних речовин або на недостатню їх кількість для отримання належного врожаю. Вони також вказують на погіршення чи покращання стану ґрунтів. Тому ці показники певною мірою можуть слугувати агроєкологічними індикаторами зеленого зростання агроєкосистем.

Одним із основних індикаторів зеленого зростання сільського господарства вважається динаміка вмісту органічної речовини ґрунту (гумусу). Цей індикатор відповідає критеріям ОЕСР, до того ж є регіональним

індикатором зеленого зростання сільського господарства. В Україні моніторинг проводиться не за вмістом органічного вуглецю, а за вмістом органічної речовини ґрунту. Цей метод має свої недоліки і переваги. Основним недоліком методу є те, що для отримання значень вмісту органічної речовини у ґрунті, використовують емпіричні коефіцієнти. Якби чітко були відомі хімічні формули всіх гумінових сполук та співвідношення їх у органічній речовині ґрунту, тоді коефіцієнти можна було б визначити точно і результати визначень органічної речовини були б статистично достовірними (табл. 6). Отже, метод, в основі якого лежить визначення вмісту органічної речовини ґрунту, дає можливість охарактеризувати стан і охарактеризувати динаміку родючості ґрунтів, відповідає критеріям ОЕСР до методу визначення агроекологічних індикаторів зеленого зростання. Але, метод не є статистично достовірним і для визначення показників не можна застосовувати міжнародні уніфіковані методи. Тому динаміка гумусу є регіональним індикатором зеленого зростання сільського господарства.

Таблиця 6 – Індикатори моніторингу ґрунтів

Індикатор	Метод визначення	Статистична достовірність	Можливість застосування уніфікованих методів визначення ЄС	Ранг індикатора
Вміст гумусу	Хіміко-аналітичний з використанням емпіричних коефіцієнтів	Ні	Ні	Регіональний
Вміст органічного вуглецю	Хіміко-аналітичний	Так	Так	Глобальний

2.2 Індикатори зеленого зростання, адаптовані для України

Робота над адаптацією індикаторів зеленого зростання для України почалася у 2013 р. Питанню розвитку зеленого зростання економіки присвячені дослідження українських вчених Л.А. Мусіної, Т.П. Галушкіної, А.В. Ямчука, Т.К. Кваші, Я.П. Квача та ін. [2, 3, 5] та зарубіжних [22, 29].

Міжвідомча робоча група у складі представників Міністерства економічного розвитку і торгівлі, Міністерства екології та природних ресурсів України (нині – Міністерство енергетики та захисту довкілля України), Державної служби статистики, Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження, низки науково-дослідних інститутів і недержавних організацій запропонувала набір індикаторів зеленого зростання, адаптованих

для умов України і рекомендованих для моніторингу та оцінки прогресу реалізації цілей Стратегії державної екологічної політики України до 2020 р. з урахуванням практики ЄЕК ООН, ОЕСР та інших міжнародних організацій [4]. Перелік економічних, екологічних та соціальних індикаторів зеленого зростання для України та їх динаміку змін наведено в таблиці 7.

Таблиця 7 – Перелік та динаміка індикаторів зеленого зростання для України [4]

Назва показників для України	Оцінка тренду (2005–2015 рр.)
1. Екологічна і ресурсна продуктивність	
Вуглецева продуктивність ВВП (у межах виробництва), грн/кг CO ₂	позитивний тренд
Енергетична продуктивність ВВП: ВВП на одиницю спожитої енергії, грн/кг	позитивний тренд
Матеріальна неенергетична продуктивність ВВП, грн/кг	негативний тренд
Водна продуктивність ВВП, грн/м ³	позитивний тренд
Продуктивність ВВП за відходами I-IV класів, грн/кг	позитивний тренд
Продуктивність ВВП за побутовими та подібними відходами, грн/кг	негативний тренд
Динаміка родючості ґрунтів: баланс гумусу і поживних речовин на 1га	негативний тренд
2. Наявність і використання природних ресурсів	
Зміни в землекористуванні – питома вага в загальній площі земельних ресурсів:	негативний тренд
- орних земель, %	позитивний тренд
- пасовищ, %	негативний тренд
- земель під забудову, %	позитивний тренд
Площа землі, зайнята під органічним сільським господарством, у % до загальної площі сільськогосподарських земель	позитивний тренд
Площа лісів і лісовкритих територій, га	позитивний тренд
Обсяги видобутої води на душу населення, м ³	негативний тренд
Обсяги видобутку невідновлюваних ресурсів	негативний тренд
3. Екологічні аспекти якості життя	
Динаміка викидів найбільш забруднювальних речовин:	
- діоксиду азоту	негативний тренд
- суспендованих твердих частинок розміром менше 10 мкм і менше 2,5 мкм	негативний тренд
- неметанових летких органічних сполук	негативний тренд
Питома вага домогосподарств, підключених до централізованої системи водопостачання	негативний тренд
Темпи зростання захворюваності населення України:	
- хворобами органів кровообігу	позитивний тренд
- хворобами органів дихання	негативний тренд
Середня очікувана тривалість життя народжених, років	позитивний тренд

4. Економічні можливості та і політичні рішення	
Витрати на охорону навколишнього природного середовища, у % до ВВП	негативний тренд
Частка коштів державного бюджету у витратах на охорону навколишнього природного середовища, у т.ч.:	негативний тренд
- поточні витрати,%	позитивний тренд
- капітальні витрати,%	негативний тренд
Державні витрати на наукові дослідження та інновації, важливі для зеленого зростання	негативний тренд
5. Соціально-економічні умови та параметри росту	
Питома вага у доданій валовій вартості (ДВВ) України,%:	
- промисловості	негативний тренд
- сільського господарства	негативний тренд
- послуг	позитивний тренд
Загальна чисельність населення	негативний тренд
Питома вага населення в працездатному віці у загальній чисельності населення країни, %	негативний тренд
Рівень економічної активності населення віком 15–70 років, %	негативний тренд
Рівень зайнятості населення у віці 15–70 років, %	позитивний тренд
Рівень безробіття населення у віці 15–70 років, %	позитивний тренд
Темпи зростання багатofакторної продуктивності	позитивний тренд
Рейтинг за індексом легкості ведення бізнесу (Doing Business)	позитивний тренд
Інновації та технологічна готовність (Всесвітній економічний форум, Глобальний індекс конкурентоспроможності ГІК)	позитивний тренд
Рейтинг за індексом екологічної ефективності	позитивний тренд
Рейтинг за індексом сталого розвитку суспільства	позитивний тренд

Визначені індикатори, загалом характеризують процес зеленого зростання країни. Проте для оцінювання зеленого зростання сільського господарства запропонованих індикаторів недостатньо. Аналіз наукових джерел та наші дослідження свідчать про необхідність визначення агроекологічних індикаторів зеленого зростання на глобальному, регіональному та локальному рівнях.

2.3 Основні індикатори зеленого зростання сільського господарства України

На основі аналізу документів ОЕСР та власних досліджень, проведених в лабораторії реабілітації ґрунтів і органічного виробництва ІАП НААН [8, 16, 17], розроблено систему екологічних індикаторів зеленого зростання сільського господарства України, які дають можливість найточніше оцінити стан

сільського господарства та прискорити перехід до його зеленого зростання. Дослідження, засвідчили, що індикатори: розораність території, баланс гумусу, баланс нітрогену, баланс фосфору та баланс калію можна вважати *глобальними*, оскільки їхні кількісні значення можна порівняти з аналогічними даними для деяких інших країн. Індикатори: динаміка вмісту гумусу, динаміка вмісту гідролізованого нітрогену, вміст рухомих сполук фосфору та вміст рухомих сполук калію мають значення на *національному* рівні. Індикатори: реакція ґрунтового розчину, забезпеченість необхідними мікроелементами, забруднення токсичними металами (кадмієм, свинцем, ртуттю), вміст залишкових кількостей пестицидів та вміст радіоактивних елементів (цезію-137 та стронцію-90) мають *локальний* характер, що пов'язане із неможливістю виділення чинників антропогенного впливу серед великої кількості факторів, які впливають на значення індикатора. Основні індикатори зеленого зростання сільського господарства, за якими можна кількісно визначити рівень антропогенного впливу на стан агроєкосистем, наведено в таблиці 8.

Таблиця 8 – Основні індикатори зеленого зростання сільського господарства України[16]

Індикатори	Критерії	Рівень індикатора
Розораність території	Відсоток розораності території	Глобальний
Уміст гумусу (органічного вуглецю)	Позитивний тренд вмісту гумусу (органічного вуглецю) у ґрунті	Національний
Баланс гумусу у рослинництві	Збалансованість концентрації гумусу у процесі с.-г. виробництва	Глобальний
Динаміка вмісту гідролізованого нітрогену	Достатня кількість гідролізованого нітрогену для живлення рослин	Національний
Баланс нітрогену	Збалансованість концентрації гідролізованого нітрогену у процесі с.-г. виробництва	Глобальний
Уміст рухомих сполук фосфору	Достатня кількість рухомих форм фосфору для живлення рослин	Національний
Баланс фосфору	Збалансованість концентрації рухомих форм фосфору у процесі с.-г. виробництва	Глобальний
Уміст рухомих сполук калію	Фоновий вміст калію	Національний
Баланс калію	Збалансованість концентрації калію у процесі с.-г. виробництва	Глобальний
Реакція ґрунтового розчину	Заходи для підтримання толерантних для вирощування рослин значень рН	Локальний
Забезпеченість необхідними мікроелементами	ГДК, фоновий вміст необхідних мікроелементів	Локальний
Забруднення токсичними металами: Cd, Pb, Hg	ГДК, фоновий вміст токсичних металів	Локальний
Уміст залишкових кількостей пестицидів	МДР залишкових кількостей пестицидів у ґрунті	Локальний
Уміст радіоактивних елементів: цезію-137 та стронцію-90	ДР радіонуклідів у ґрунті	Локальний

2.4 Оцінювання екологічного стану ґрунтів за екологічними індикаторами зеленого зростання сільського господарства

Оцінювання екологічного стану ґрунтів України проводили за використання результатів ІХ (2006–2010 рр.) та Х (2011–2015 рр.) турів агрохімічного обстеження ґрунтів України ДУ «Інститут охорони ґрунтів України» за основними показниками їхньої родючості [6, 11]. За допомогою екологічних індикаторів зеленого зростання встановлено наступне.

Розораність. За даними Державної служби статистики України, розораність земель нашої країни перевищує цей показник для багатьох країн. Розораність ґрунтів в середньому по Україні становить 78,4%. Слід зазначити, що найбільша площа сільськогосподарських угідь (46%) знаходиться у зоні Степу. Також у зоні Степу спостерігається найбільша розораність ґрунтів, зокрема у Херсонській області – 90,3%, Кіровоградській, Запорізькій, Дніпропетровській та Миколаївській – 85–87%.

Уміст гумусу. Вміст гумусу є інтегральним показником рівня потенційної і ефективної родючості. Переважна більшість ґрунтів з високим та дуже високим вмістом гумусу зосереджена в степовій зоні, де переважають чорноземи звичайні середньо- і малогумусні. Більша частина ґрунтів України (53,8%), що характеризуються середнім і підвищеним вмістом гумусу, зосереджена в Степу. Найбільше зниження вмісту гумусу відбулося в ґрунтах степової зони – із 3,72 до 3,45% (на 0,27%). Зменшення середньозваженого показника вмісту гумусу відповідно вплинув на перерозподіл площ угідь за рівнем його забезпечення.

Баланс гумусу. Динаміка зміни гумусу є екологічним індикатором стану ґрунтів земель сільськогосподарського призначення в Україні. Гумус як інтегральний показник родючості ґрунту найповніше характеризує його потенційну родючість і займає одне з провідних місць у системі моніторингу ґрунтів України. Це динамічна складова ґрунту, яка піддається кількісним та якісним змінам під впливом ряду факторів, серед яких провідним є господарська діяльність людини.

Уміст гумусу в ґрунтах України зменшився на 0,22% в абсолютних величинах і становить 3,14%. Найвищий показник гумусу спостерігається у степовій зоні – 3,45%, найнижчий – у зоні Полісся (2,33%), у лісостеповій зоні цей показник становить 3,21% та. Проте у розрізі ґрунтово-кліматичних зон найбільше зниження вмісту гумусу відбулося в ґрунтах степової зони – із 3,72 до 3,45% (на 0,27%) (у Лісостепу – з 3,38 до 3,21 % (на 0,17%)). У розрізі областей по Україні уміст гумусу варіює від 1,56 (Волинська область) до 4,1% (Харківська та Кіровоградська області).

Розрахунки балансу гумусу свідчать про погіршення стану ґрунтів. Баланс гумусу залишається дефіцитним, а саме $-0,13$ т/га, хоча останніми роками сальдо зменшилося за рахунок пожнивних решток, які залишаються на поверхні поля, що можна вважати позитивним зрушенням.

Зменшення вмісту гумусу у ґрунті останніми роками відбувається в основному за рахунок таких чинників: високий рівень розораності території України і сільськогосподарських угідь; катастрофічне зменшення кількості надходження до ґрунту органічних добрив; незбалансоване використання мінеральних добрив; їх відсутність або занадто низькі чи високі норми. Довготривале внесення високих норм мінеральних добрив у необґрунтованих обсягах значно посилює лабільність (рухомість) органічної речовини.

Динаміка вмісту гідролізованого нітрогену. У степовій зоні ґрунтів з дуже низьким умістом гідролізованого нітрогену виявлено лише 26,7%. Хоча варто зазначити, що у Запорізькій області їх налічується 74,7%. Низьким його вмістом тут характеризується 54,5% обстежених ґрунтів, середнім – 15,5% та підвищеним – 3,4%. Середньозважений рівень вмісту в ґрунтах України гідролізованого нітрогену складає 110,3 мг/кг ґрунту, що відповідає низькому рівню його забезпечення. У цілому ж можна констатувати, що накопичення сполук гідролізованого нітрогену в ґрунтах України не спостерігається. В цілому у ґрунтах України переважає дуже низький та низький вміст нітрогену (93,1% обстежених площ), у тому числі в Степу – 93,3% (на Поліссі – 90,5%, Лісостепу 94,3%).

Уміст рухомих сполук фосфору. Середньозважений вміст рухомих сполук фосфору у ґрунтах України становить 110,3 мг/кг. Зниження рівня забезпеченості ґрунтів фосфором відбулося у всіх ґрунтово-кліматичних зонах. Степова зона забезпечена рухомими фосфатами гірше, ніж поліська і лісостепова. У степовій зоні цей показник нижчий від середнього по Україні і становить 101 мг/кг.

Уміст калію. Понад 90% обстежених ґрунтів України характеризуються дуже високим, високим, підвищеним та середнім вмістом рухомих сполук калію у ґрунті і лише 8,4% – низьким і дуже низьким. За середнього по Україні значення цього показника 112 мг/кг, в Степу він становить 134 мг/кг.

Реакція ґрунтового розчину. За даними X туру обстеження, більше 19% ґрунтів є кислими, 57,3% – близькими до нейтральних та нейтральні, 23,6% – лужні. Низька питома вага кислих ґрунтів характерна для зони Степу (1,8%), найвища – для зони Полісся (45,6%). Останніми роками встановилася тенденція застосування переважно азотних мінеральних добрив, які у більшості є фізіологічно кислими і створюють умови для подальшого підкислення

грунтового розчину, а також слід відмітити незадовільний рівень гіпсування засолених ґрунтів.

Забезпеченість необхідними мікроелементами. За рівнем забезпеченості фізіологічно необхідними мікроелементами для рослин обстежені ґрунти дуже строкаті. Вміст мікроелементів залежить від гранулометричного складу ґрунтоутворних порід та вмісту органічної речовини в ґрунтах. Отже, через різноманітне природне забезпечення ґрунтів мікроелементами, екологічні індикатори вмісту мікроелементів можуть бути визначені лише на локальному рівні.

Забруднення токсичними металами: кадмієм, свинцем, ртуттю. Ґрунти України мають низьке забруднення такими високотоксичними хімічними елементами як свинець, кадмій, ртуть. Забруднення ґрунтів цими елементами носить локальний характер. Сільськогосподарські угіддя з перевищенням ГДК рухомих форм свинцю (6,0 мг/кг) в процесі їх обстеження не виявлено (рис. 8). З обстежених понад 17,2 млн. га сільськогосподарських угідь у 50% земель вміст рухомих сполук кадмію не перевищує фонових. Запобігання накопичення їх у продовольчій сировині може досягатися шляхом вапнування кислих ґрунтів, внесенням адсорбентів, а на сильно забруднених землях – висіванням технічних культур.

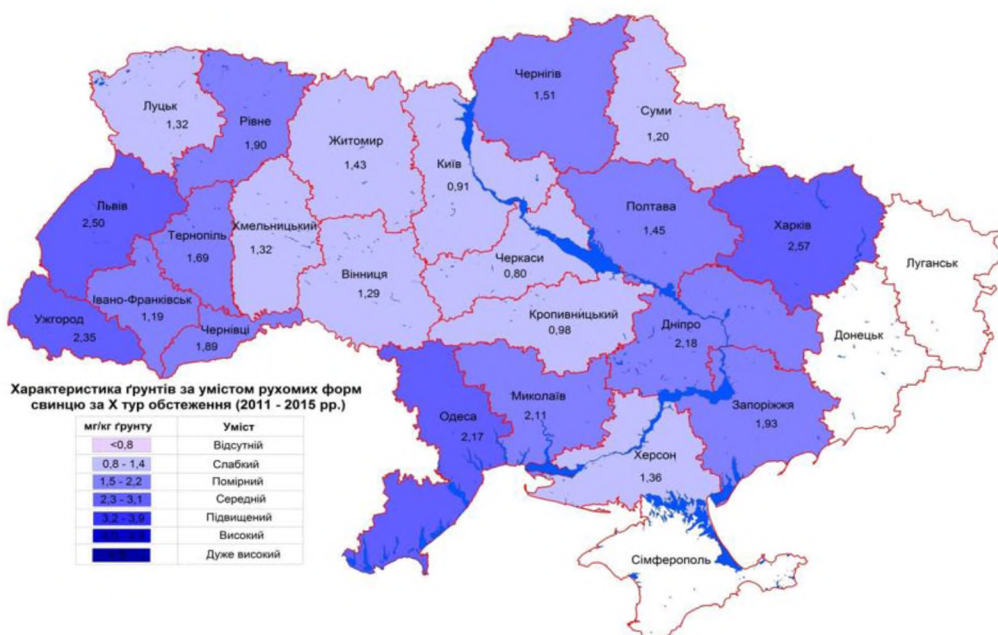


Рис. 8. Уміст рухомих форм свинцю в ґрунтах України [6]

Забруднення залишковими кількостями пестицидів. Застосування пестицидів вимагає контролю їх залишкових кількостей у ґрунті, воді та сільськогосподарській продукції, причому контроль за забрудненням залишками сучасних пестицидів слід проводити згідно з історією обробітки полів. Забруднення стійкими пестицидами має локальний характер.

Забруднення радіонуклідами. Забруднення радіонуклідами – цезієм-137 та стронцієм-90 ґрунтів України має локальний характер. Умовно чиста територія, на якій може здійснюватися аграрне виробництво, складає 99,7 % від обстеженої площі.

2.5 Вміст гумусу у ґрунті як регіональний індикатор зеленого зростання

Процеси дегуміфікації ґрунтів України на землях сільськогосподарського призначення продовжуються тривалий час. Загалом, найбільші площі займають ґрунти з середнім та підвищеним умістом гумусу – 61,9%, з високим та дуже високим – 22,8, дуже низьким та низьким – 15, % (рис. 9) [7, 11].

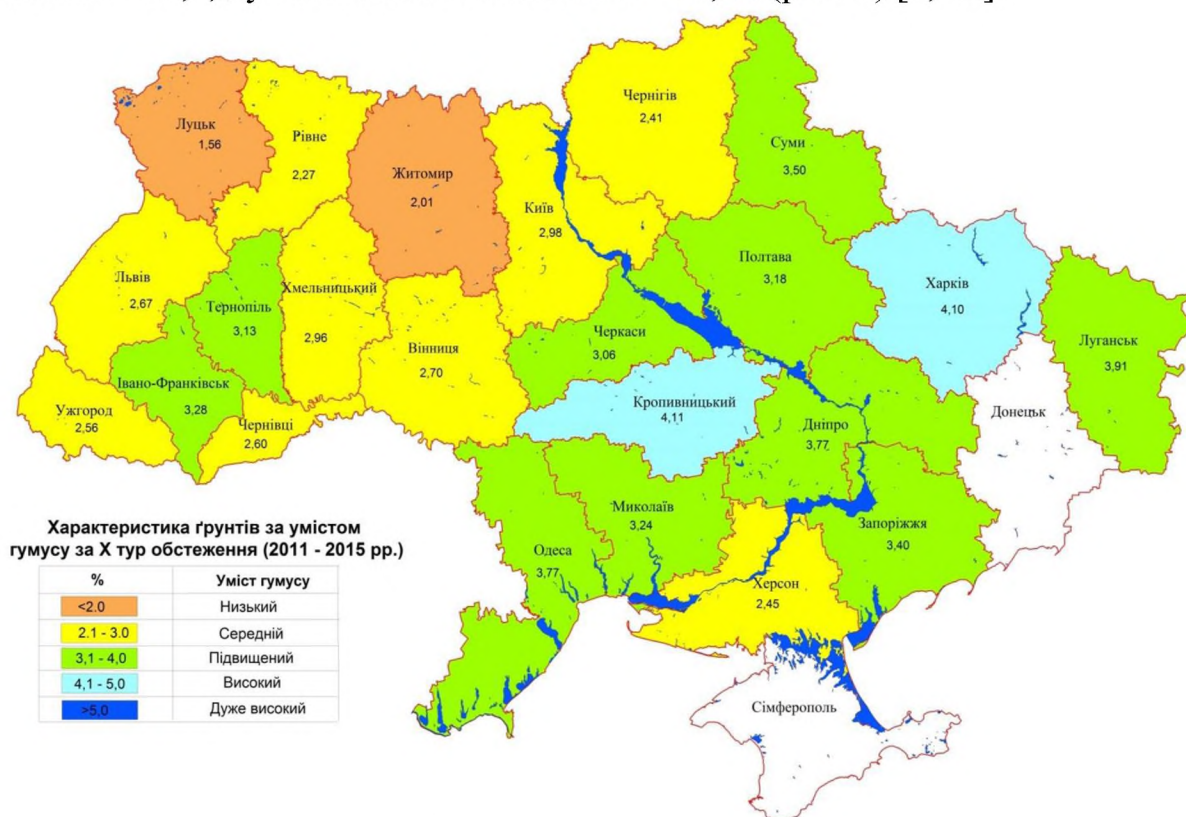


Рис. 9. Вміст гумусу в ґрунтах України [6]

За результатами агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення впродовж п'яти турів (1986–2010 рр.) агрохімічного обстеження середньозважений уміст гумусу в ґрунтах України зменшився на 0,22% в абсолютних величинах і становив 3,14% [11]. Умовні збитки від втрати такої кількості гумусу сягають близько 450 млрд грн. Крім того, за прогнозами науковців, для створення 1 см родючого шару ґрунту природі необхідно щонайменше 100 років. У розрізі ґрунтово-кліматичних зон найбільшого зниження вмісту гумусу зазнали ґрунти степової зони – із 3,72 до

3,40%, тобто на 0,32%. У Лісостепу ці зміни дещо менші, але з огляду на втрати гумусу є значними – 0,19% (рис. 10). За результатами інтенсивності зменшення вмісту гумусу за турами можна зробити висновок, що в 1996–2010 рр. темпи дегуміфікації дещо уповільнилися, оскільки останніми роками побічна продукція після збирання озимих та ярих зернових, кукурудзи, соняшнику, ріпаку залишається у полі, а не відчужується [8].

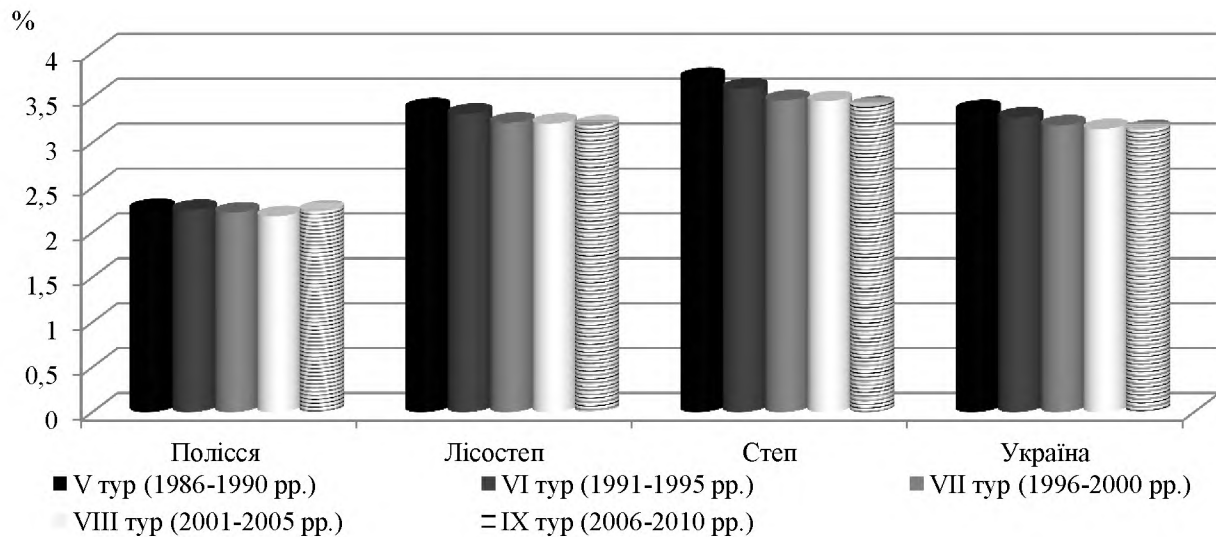


Рис. 10. Динаміка вмісту гумусу в ґрунті за період 1986–2010 рр. [11]

За результатами X туру (2011–2015 рр.) агрохімічних обстежень (рис. 11) середньозважений уміст гумусу у ґрунтах України становив 3,16% [6] порівняно з 3,14% у IX турі [11].

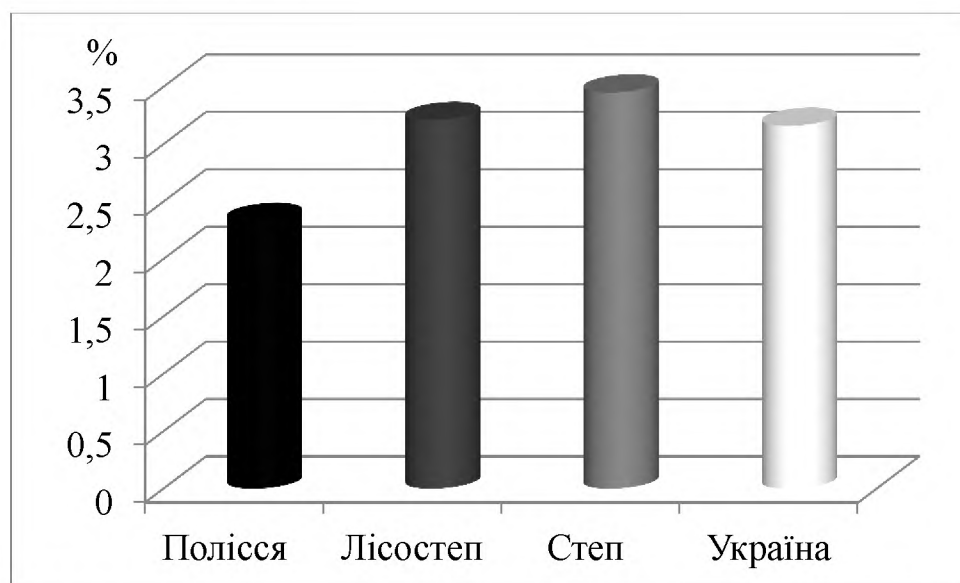


Рис. 11. Уміст гумусу в ґрунтах України за результатами агрохімічних обстежень у 2011–2015 рр. [6]

Тобто, за незначного збільшення вмісту гумусу в ґрунті, цей показник за останні п'ять років зменшився у 11 областях, найбільших змін зазнали ґрунти Запорізької та Хмельницької областей – на 4%, Дніпропетровської, Полтавської і Чернігівської областей – на 2,5%.

Зменшення середньозваженого показника вмісту гумусу своєю чергою вплинув на перерозподіл площ угідь за рівнем його забезпечення. Порівняно з V туром обстеження ґрунтів, IX тур засвідчив, що частка площ із дуже високим його вмістом (>5,1%), загалом в Україні зменшилася з 6,4 до 2,4% від обстеженої площі, високим (4,1–5,0%) – з 24,9 до 19,2%. Натомість збільшилася з середнім і підвищеним умістом – на 5,8 та 3,6% відповідно (рис. 12).

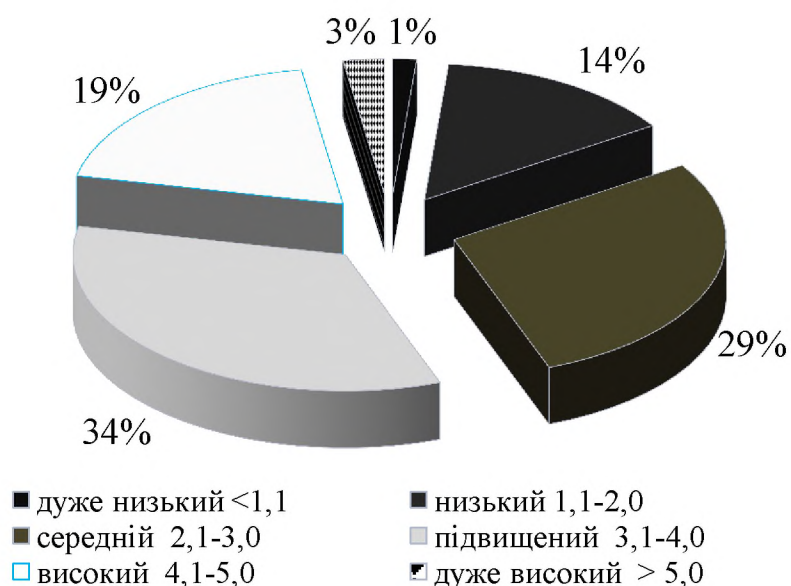


Рис. 12. Розподіл площі сільськогосподарських угідь України за вмістом гумусу, % від обстеженої площі

Зменшення вмісту гумусу у ґрунті останніми роками відбувається переважно внаслідок таких чинників: високого рівня розораності території України і сільськогосподарських угідь; катастрофічного зменшення кількості надходження до ґрунту органічних добрив; незбалансованого використання мінеральних добрив: їх відсутності або занадто низьких чи високих норм. За таких умов значно посилюється лабільність (рухомість) органічної речовини; порушення структури посівних площ у бік переваги просапних культур над культурами суцільного способу посіву, вирощування монокультури, зменшення площ посіву багаторічних трав та зернобобових культур; інтенсивність обробітку ґрунту; зміщення рівноваги між процесами гуміфікації та мінералізації органічної речовини ґрунту на користь мінералізації [8].

За результатами ІХ туру агрохімічної паспортизації частка ґрунтів з високим та дуже високим умістом гумусу становила 21,7% від обстеженої площі (рис. 4). Переважна їх більшість зосереджена в степовій зоні, де переважають чорноземи звичайні середньо- і малогумусні. Площа ґрунтів України, яка характеризується середнім і підвищеним умістом гумусу, становить 15,3 млн га, або 62,4% від обстеженої площі. З них 53,8% зосереджено в Степу, 33,2 – у Лісостепі, 13,0% – у Поліссі.

Переважає площа ґрунтів з низьким та дуже низьким умістом гумусу розміщується в поліській зоні – 52,8%, де переважають легкі малогумусні ґрунти, 23,5 – у лісостеповій, 23,7% – у степовій зоні.

Тому для відтворення вмісту гумусу у ґрунтах потрібно зменшувати у польових сівозмінах частку просапних культур; за можливості застосовувати технології з мінімальним обробітком ґрунту; вносити як органічні добрива побічну продукцію сільськогосподарських культур; вирощувати сидерати з подальшим їх приорюванням; підвищувати ефективність дії гною як добрива та гумусоутворювача.

Таким чином, для того щоб показники, за якими проводять оцінювання зеленого зростання сільського господарства можна було вважати індикаторами, ці показники повинні насамперед відображати ті природні та антропогенні зміни, які відбуваються у агроєкосистемах.

Відповідно до рекомендацій ОЕСР, основними індикаторами зеленого зростання сільського господарства для умов України є показники зміни концентрації органічної речовини ґрунту та зміни у балансі поживних речовин ґрунтів земель сільськогосподарського призначення. Вони є основними показниками родючості ґрунтів, що відповідають критеріям ОЕСР, та є регіональними індикаторами зеленого зростання сільського господарства.

Показники, за якими проводиться моніторинг ґрунтів, є індикаторами не лише загроз, що виникають у процесі сільськогосподарського виробництва, але й можуть слугувати національними та регіональними індикаторами зеленого зростання сільського господарства.

ВИСНОВКИ

Викладено методи очищення забруднених ґрунтів, які полягають у науково обґрунтованих процесах очищення забруднених стійкими органічними забруднювачами ґрунтів. Розроблено загальні підходи щодо визначення необхідності очищення ґрунту на ділянках, забруднених залишками пестицидів, в тому числі хлорорганічних, у сільськогосподарському секторі.

Доведено можливість використання карбонатних меліорантів для ремедіації забруднених хлорорганічними пестицидами ґрунтів. При проведенні такої ремедіації відбувається підвищення реакції ґрунтового середовища (до рН 7,42), що сприяє вивільненню зв'язаних залишків хлорорганічних пестицидів за рахунок присутності незв'язаного меліоранту. При цьому така зміна реакції ґрунтового середовища не є значною і відповідає вимогам щодо кислотності ґрунту при вирощуванні більшості сільськогосподарських культур.

Запропоновано науково обґрунтовані методи очищення забруднених ґрунтів, які полягають у процесах фітоекстракції та фітодеградації ДДТ однорічними культурними рослинами з забруднених ґрунтів. Встановлено спроможність однорічних культурних рослин: ячменю, пшениці, квасолі, сої, кабачків, гарбузів поглинати ДДТ із забруднених ґрунтів. Експериментально підтверджено, що ефективним способом підсилювання спроможності рослин поглинати ДДТ є застосування мінеральних добрив.

Запропоновано використання фітоекстракційної та фітодеградаційної здатності дикорослих видів рослин щодо ДДТ у фіторемедіаційних заходах з очищення ґрунтів з полікомпонентним забрудненням пестицидами. Процес очищення земель доцільно проводити у відповідному порядку та у залежності від особливостей конкретної території, базуючись на ступені деградації та рівнях забруднення ґрунту токсичними речовинами. Доведено, що надходження ДДТ та його метаболітів з ґрунту у дикорослі види рослин, а також процеси їх накопичення та трансформації, залежать від вихідного рівня забруднення ґрунту, наявності у ньому фітотоксичних речовин та видових особливостей рослин. Відмічено, що такі дикорослі види рослин як полин звичайний, пирій повзучий, кульбаба лікарська, деревій звичайний, тонконіг лучний, полин гіркий, куничник наземний є перспективними для створення рослинного покриву з метою запобігання міграції ДДТ за рахунок фітостабілізації в умовах полікомпонентного забруднення територій.

Розглянуто індикатори та критерії зеленого зростання сільського господарства у екологічнобезпечних підходах до методів реабілітації ґрунтів. Проведена оцінка ґрунтів за екологічними індикаторами зеленого зростання підтвердила необхідність переходу до зеленого зростання сільського

господарства України на основі збалансованого ведення сільськогосподарського виробництва, ефективність якого оцінюється за розрахунками балансу гумусу та поживних речовин у землеробстві кожної області. Досягнення збалансованого розвитку сільського господарства шляхом зеленого зростання агроєкосистем є стратегією, в якій інвестиції в екологічні ресурси та послуги стають рушійною силою економічного розвитку, а охорона навколишнього природного середовища розглядається як чинник економічного зростання.

Для того щоб показники, за якими проводять оцінювання зеленого зростання сільського господарства можна було вважати індикаторами, ці показники повинні насамперед відображати ті природні та антропогенні зміни, які відбуваються у агроєкосистемах.

Відповідно до рекомендацій ОЕСР, основними індикаторами зеленого зростання сільського господарства для умов України є показники зміни концентрації органічної речовини ґрунту та зміни у балансі поживних речовин ґрунтів земель сільськогосподарського призначення. Вони є основними показниками родючості ґрунтів, що відповідають критеріям ОЕСР, та є регіональними індикаторами зеленого зростання сільського господарства.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Базельская конвенция о контроле за трансграничной перевозкою опасных отходов и их удалением. – UNEP, 1989. – URL: доступу: <http://www.pops.int/documents/implementation/nips/submissions/default.htm>
2. Галушкіна Т.П. Джерела економічного зростання в умовах моделі «зеленої» економіки / Т. П. Галушкіна // Формування ринкових відносин в Україні : зб. наук. праць. – Київ, 2013. – № 5. – С. 71–74.
3. Марчук Л.П. «Зелена» економіка: суперечності та перспективи розвитку/ Л. П. Марчук // Вісн. аграр. науки Причорномор'я. – 2014. – Вип. 1. – С. 34–41.
4. Министерство экономического развития и торговли Украины: Доклад о зеленой трансформации в Украине на основе показателей зеленого роста ОЭСР. – URL: <http://www.me.gov.ua>
5. Мусіна Л.А. Взаємний вплив економіки та природного середовища в сучасному світі: політика, стратегії, технології: монографія / Л.А. Мусіна, А.В. Ямчук, Т.К. Кваша. – К.: УкрІНТЕІ, 2012. – 260 с.
6. Наукові дослідження з моніторингу та обстеження сільськогосподарських угідь України: за результатами X туру (2011–2015 рр.) / За ред. І.П. Яцука. – К., 2017. – 68 с.
7. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2015 році. – К.: Міністерство екології та природних ресурсів України, ФОРМ Грінв Д.С. – 2017. – 308 с.
8. Оцінювання екологічного стану ґрунтів земель сільськогосподарського призначення / Л.І. Моклячук, І.П. Яцук, А.М. Ліщук, І.М.Городиська // Вісник аграрної науки. – 2017. – № 1. – С. 52–56.
9. Пат. 2002053734 Україна, МПК В 09 С 1/08, С 09 К 17/00. Спосіб очистки ґрунту від залишкових кількостей ДДТ / Патица В.П., Моклячук Л.І., Макаренко Н.А. [та ін.]; замовник та патентовласник Інститут агроекології та біотехнології УААН. – №50678 А; замовл. 07.05.02; опубл. 15.10.02. Бюл. № 10.
10. Пат. 2002075718 Україна, МПК В 09 С 1/08, С 09 К 17/00. Спосіб очистки ґрунту від залишкових кількостей гексахлорциклогексану / Патица В.П., Моклячук Л.І., Макаренко Н.А. [та ін.]; замовник та патентовласник Інститут агроекології та біотехнології УААН. – № 53530 А; замовл. 11.07.02; опубл. 15.01.03. Бюл. № 1.
11. Періодична доповідь про стан ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення України за результатами 9 туру (2006–2010 роки) агрохімічного обстеження земель / М-во аграр. політики та продовольства України, ДУ «Ін-т охорони ґрунтів України»; підгот.:

І. С. Брошак, М. О. Венгліньський, В. Б. Гаврилюк [та ін.]. – К.: Вік принт, 2015. – 118 с.

12. Петришина В.А. Агроекологічне обґрунтування фітореMediaційної спроможності дикорослих видів рослин : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук: спец. 03.00.16 «Екологія» / В.А. Петришина. – К., 2009. – 21 с.

13. Роттердамская конвенция о процедуре предварительного обоснованного согласия в отношении отдельных опасных химических веществ и пестицидов в международной торговле. – URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/pdf/consent.pdf

14. Слободенюк О.А. ФітореMediaція ґрунтів, забруднених стійкими хлорорганічними пестицидами: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук: спец. 03.00.16 «Екологія» / О.А. Слободенюк. – К., 2008. – 20 с.

15. Стокгольмська конвенція про стійкі органічні забруднювачі: Текст та додатки. – К.: СП Вальд, 2004. – 43 с.

16. Яцук І.П. Екологічні індикатори зеленого зростання сільського господарства: монографія / І.П. Яцук, Л.І. Моклячук. – К.: ДІА, 2018. – 443 с.

17. Яцук І.П. Національні та регіональні індикатори «зеленого зростання» сільського господарства / І.П. Яцук, Л.І. Моклячук, А.М. Ліщук // Агроекологічний журнал. – 2017. – № 3. – С. 7–17.

18. Chappell J. Phytoremediation of TCE using Populus: Status Report / J. Chappell. – Washington: U.S. Environmental Protection Agency, Technology Innovation Office. – 1997. – URL: <http://www.clu-in.com/phytoTCE.htm>.

19. Environmental Assessment of Soil for Monitoring / M.G. Kibblewhite, R.J.A. Jones, L. Montanarella, Baritz R., S. Huber (eds) // Office for the Official Publications of the European Communities Luxembourg, 2008. – URL: <http://esdac.jrc.ec.europa.eu/projects/envasso>

20. Henry J. R. An Overview of the Phytoremediation of Lead and Mercury / J. R. Henry. – Washington: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response, Technology Innovation office. – 2000. – URL: <http://www.clu-in.org>

21. Introduction to Phytoremediation, EPA 600/R-99/107. – Cincinnati: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development. – 2000. – URL: <http://www.clu-in.org>

22. Measuring Inclusive Green Growth at the Country Level. – URL: <http://docslide.net/documents/measuring-inclusive-green-growth-at-the-country-level.html>

23. OECD Environmental Outlook to 2030/ OECD. – 2008. – P. 14. – URL: <http://www.oecd.org/env/indicators-modelling-outlooks/40200582.pdf>

24. OECD. Agricultural Innovation Systems: A Framework for Analyzing the Role of the Government, OECD Publishing. – Paris: OECD, 2013. – 106 p. – URL: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264200593-en>
25. OECD. Green Growth Indicators, OECD Green Growth Studies, OECD Publishing. – Paris: OECD, 2014. – P. 144. – URL: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264202030-en>
26. OECD. Towards Green Growth: Monitoring Progress: OECD Indicators, OECD Green Growth Studies, OECD Publishing. – Paris: OECD, 2011. – P. 144. – URL: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264111356-en>
27. OECD/FAO / OECD-FAO, Paris: OECD Publishing, Agricultural Outlook. – URL: http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2012-en
28. The future we want. Outcome of the UN Conference of Sustainable development. A/CONF.216/L. / United Nations Conference on Sustainable Development (Rio de Janeiro, Brazil, 2012). – P. 53. – URL: <https://sustainabledevelopment.un.org/futurewewant.html>
29. Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication / UNEP. – 2011. – P. 632. – URL: <http://www.unep.org/GreenEconomy>