

**Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний педагогічний університет  
імені Володимира Гнатюка**

Географічний факультет  
Кафедра геоекології та гідрології

**Кваліфікаційна робота**  
**ВПЛИВ ПЕСТИЦИДІВ ТА МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ НА ДОВКІЛЛЯ**  
**Спеціальність Е2 Екологія**  
**Освітня програма “Екологія”**

Здобувача вищої освіти освітньо-  
кваліфікаційного рівня “бакалавр”  
Гап Соломії Романівни

НАУКОВИЙ КЕРІВНИК:  
кандидат географічних наук, доцент  
Барна Ірина Миколаївна

РЕЦЕНЗЕНТ:  
доктор біологічних наук, професор  
Грицак Людмила Русланівна

Тернопіль – 2026

## АНОТАЦІЯ

**Гап С. Р.** Вплив пестицидів та мінеральних добрив на довкілля. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня “бакалавр” зі спеціальності Е2 Екологія. Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка. Тернопіль, 2026. 63 с.

У роботі розглянуто проблему впливу засобів хімізації сільського господарства на стан навколишнього природного середовища. Узагальнено сучасні наукові підходи до вивчення особливостей використання агрохімічних препаратів та їх взаємодії з компонентами природних систем. Висвітлено основні чинники, що зумовлюють потрапляння хімічних речовин у ґрунти, водні об’єкти та атмосферу. Досліджено можливі наслідки застосування засобів захисту рослин і добрив для природних екосистем та людини. Визначено основні екологічні загрози, пов’язані з накопиченням шкідливих речовин у навколишньому середовищі, порушенням природних процесів і зниженням стійкості екосистем.

Проведено оцінювання екологічних ризиків, пов’язаних із використанням агрохімікатів, та проаналізовано сучасні підходи до спостереження за станом довкілля. Обґрунтовано напрями зменшення негативного впливу хімічних засобів на природне середовище шляхом упровадження екологічно збалансованих методів господарювання та раціонального природокористування.

*Ключові слова:* агрохімікати, пестициди, мінеральні добрива, довкілля, екологічні ризики, забруднення, моніторинг, природоохоронні заходи, органічне землеробство, сталий розвиток

## ABSTRACT

**Hap S.R.** The Impact of Pesticides and Mineral Fertilizers on the Environment. Bachelor's Qualification Thesis in Specialty E2 Ecology. Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University. Ternopil, 2026. 63 p.

The thesis examines the problem of the impact of agricultural chemicalization on the state of the natural environment. Modern scientific approaches to the study of agrochemicals and their interaction with environmental components are summarized. The main factors contributing to the entry of chemical substances into soils, water bodies and the atmosphere are highlighted. The possible consequences of the use of plant protection products and mineral fertilizers for natural ecosystems and human health are investigated. The major environmental threats associated with the accumulation of harmful substances in the environment, disruption of natural processes and reduction of ecosystem stability are identified.

Environmental risks related to the use of agrochemicals are assessed, and modern approaches to environmental monitoring are analyzed. The study substantiates directions for reducing the negative impact of chemical agents on the environment through the implementation of environmentally balanced farming practices and rational use of natural resources.

*Keywords:* agrochemicals, pesticides, mineral fertilizers, environment, environmental risks, pollution, monitoring, environmental protection measures, organic farming, sustainable development.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП.....</b>	<b>6</b>
<b>РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПЕСТИЦИДІВ ТА МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ НА ДОВКІЛЛЯ.....</b>	<b>9</b>
1.1. Пестициди та мінеральні добрива як чинники антропогенного впливу на навколишнє середовище.....	9
1.2. Основні джерела, шляхи міграції та форми потрапляння пестицидів та мінеральних добрив у компоненти довкілля.....	12
1.3. Нормативно-правове регулювання використання пестицидів і агрохімікатів в Україні та міжнародні екологічні вимоги.....	16
1.4. Методичні підходи до оцінювання екологічного впливу пестицидів та мінеральних добрив.....	20
Висновки до розділу 1.....	24
<b>РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПЕСТИЦИДІВ АБО МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ НА СТАН КОМПОНЕНТІВ ДОВКІЛЛЯ.....</b>	<b>26</b>
2.1. Характеристика об'єкта та умов дослідження.....	26
2.2. Вплив пестицидів та мінеральних добрив на стан ґрунтів.....	29
2.3. Вплив пестицидів та мінеральних добрив на поверхневі й підземні води.....	32
2.4. Вплив пестицидів та мінеральних добрив на атмосферне повітря, біоту та здоров'я людини.....	35
Висновки до розділу 2.....	39
<b>РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ ТА ШЛЯХИ ЗМЕНШЕННЯ НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ ПЕСТИЦИДІВ АБО МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ.....</b>	<b>41</b>
3.1. Оцінка екологічних ризиків і наслідків застосування пестицидів та мінеральних добрив у межах досліджуваної території.....	41

3.2. Моніторинг забруднення довкілля та екологічний контроль у системі застосування агрохімікатів.....	45
3.3. Природоохоронні заходи щодо зниження негативного впливу пестицидів та мінеральних добрив.....	49
3.4. Перспективи екологізації агровиробництва: органічне землеробство, інтегрований захист рослин, оптимізація систем удобрення.....	52
<b>Висновки до розділу 3.....</b>	<b>57</b>
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>59</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>63</b>

## ВСТУП

**Актуальність дослідження.** Сучасний етап розвитку аграрного виробництва характеризується інтенсивним використанням хімічних засобів підвищення врожайності, серед яких особливе місце займають пестициди та мінеральні добрива. Їх застосування забезпечує зростання продуктивності сільського господарства, однак водночас супроводжується значним антропогенним навантаженням на довкілля, що зумовлює актуальність комплексного дослідження їх впливу на природні екосистеми.

У сучасних умовах проблема екологічної безпеки агровиробництва набуває особливої гостроти у зв'язку з накопиченням токсичних речовин у ґрунтах, водних об'єктах і біоті. За даними наукових досліджень, значна частина застосованих пестицидів не досягає цільового об'єкта, а розсіюється в навколишньому середовищі, спричиняючи його забруднення та негативний вплив на живі організми. Аналогічно, надмірне внесення мінеральних добрив призводить до деградації ґрунтів, евтрофікації водойм і порушення біогеохімічних циклів.

Особливої уваги потребує вплив агрохімікатів на здоров'я людини, оскільки токсичні речовини можуть потрапляти в організм через продукти харчування, воду та повітря. Всесвітня організація охорони здоров'я наголошує на зростанні ризиків, пов'язаних із тривалим впливом пестицидів, зокрема розвитку хронічних захворювань та порушень функціонування організму.

Актуальність теми зумовлена також необхідністю вдосконалення систем екологічного контролю та впровадження сталих підходів до ведення сільського господарства, які передбачають оптимізацію використання агрохімікатів і зниження їх негативного впливу на довкілля.

Ступінь наукової розробленості проблеми є достатньо високим. Питання впливу пестицидів і мінеральних добрив на довкілля досліджували вітчизняні та зарубіжні вчені, зокрема О. І. Фурдичко, В. П. Кучерявий, Л. Г.

Мельник, D. Pimentel, D. Tilman та інші. У їхніх працях розглядаються екологічні наслідки застосування агрохімікатів, процеси їх міграції в природному середовищі та шляхи мінімізації негативного впливу. Водночас низка питань, пов'язаних із регіональними особливостями впливу цих речовин та оцінкою екологічних ризиків, потребує подальшого дослідження.

Органічне землеробство є важливим напрямом сільського господарства, який сприяє збереженню ґрунтів і покращенню стану довкілля. Його основою є використання екологічно безпечних методів господарювання та мінімізація застосування синтетичних добрив, пестицидів, гормональних препаратів і стимуляторів росту. Завдяки цьому зменшується забруднення ґрунтів, водних ресурсів і негативний вплив на здоров'я людей.

Для підтримання родючості ґрунтів в органічному виробництві використовують сівозміни, органічні добрива, компости, поживні залишки та сидерати. Також застосовують біологічні методи захисту рослин і технологій, що не шкодять навколишньому середовищу. Органічне землеробство сприяє збереженню біорізноманіття, підтримує природні екологічні процеси та забезпечує екологічну рівновагу.

Важливими принципами органічного виробництва збереження природних ресурсів, турбота про здоров'я людей і тварин, підвищення екологічної безпеки та зменшення негативного впливу на довкілля. Саме тому органічне землеробство розглядають як один із перспективних шляхів сталого розвитку сільського господарства.

**Об'єктом дослідження** є вплив пестицидів або мінеральних добрив на навколишнє природне середовище.

**Предметом дослідження** є екологічні наслідки застосування пестицидів або мінеральних добрив та механізми їх впливу на основні компоненти довкілля.

**Метою роботи** є комплексне дослідження впливу пестицидів або мінеральних добрив на довкілля, оцінка екологічних ризиків та обґрунтування заходів щодо їх зниження.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

- розкрити сутність та класифікацію пестицидів і мінеральних добрив;
- дослідити основні шляхи їх потрапляння у довкілля;
- проаналізувати вплив агрохімікатів на ґрунти, водні ресурси та біоту;
- оцінити екологічні ризики їх використання;
- обґрунтувати напрями зменшення негативного впливу пестицидів або мінеральних добрив.

**Методи дослідження.** У роботі використано загальнонаукові та спеціальні методи, зокрема аналіз і синтез, порівняльний метод, статистичний аналіз, метод екологічного моніторингу, системний підхід та метод узагальнення.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає у можливості використання запропонованих рекомендацій для зниження негативного впливу агрохімікатів у сільському господарстві та вдосконалення системи екологічного контролю.

**Структура роботи.** Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел. У першому розділі розглянуто теоретичні основи дослідження, у другому – проведено аналіз впливу пестицидів або мінеральних добрив на довкілля, у третьому – обґрунтовано заходи щодо зменшення їх негативного впливу.

## РОЗДІЛ 1

### ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПЕСТИЦИДІВ ТА МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ НА ДОВКІЛЛЯ

#### 1.1. Пестициди та мінеральні добрива як чинники антропогенного впливу на навколишнє середовище

Сучасний розвиток сільського господарства нерозривно пов'язаний із застосуванням різноманітних хімічних засобів, зокрема пестицидів і мінеральних добрив, які відіграють ключову роль у забезпеченні високої продуктивності аграрного виробництва. Водночас їх використання є одним із найвагоміших чинників антропогенного впливу на навколишнє природне середовище, що зумовлює необхідність ґрунтового теоретичного осмислення цієї проблеми [21, с. 134].

Антропогенний вплив у широкому розумінні являє собою сукупність змін, що виникають у природному середовищі під впливом діяльності людини. Сільське господарство належить до однієї з найбільш масштабних сфер такого впливу, оскільки передбачає трансформацію природних ландшафтів, інтенсивне використання земельних ресурсів і внесення у довкілля значних обсягів хімічних речовин [23, с. 89]. Пестициди та мінеральні добрива є основними інструментами інтенсифікації агровиробництва, однак їх застосування супроводжується низкою екологічних ризиків.

Пестициди – це хімічні або біологічні речовини, призначені для знищення або контролю шкідливих організмів, зокрема бур'янів, комах, грибів та інших шкідників. Вони класифікуються за різними ознаками, серед яких найбільш поширеною є класифікація за об'єктами дії: інсектициди, гербіциди, фунгіциди, родентициди тощо [13, с. 211]. З екологічної точки зору важливим є також поділ пестицидів за ступенем токсичності та стійкості в навколишньому середовищі.

Мінеральні добрива, у свою чергу, є джерелом поживних елементів для рослин і використовуються для підвищення родючості ґрунтів та врожайності сільськогосподарських культур. Основними групами мінеральних добрив є азотні, фосфорні та калійні, а також комплексні добрива, що містять декілька поживних елементів [2, с. 98]. Їх застосування сприяє підвищенню продуктивності агроєкосистем, проте надмірне або неправильне використання може призводити до негативних екологічних наслідків.

Значний антропогенний вплив пестицидів і мінеральних добрив проявляється насамперед через їх здатність до міграції у різні компоненти довкілля. Після внесення в агроєкосистему ці речовини можуть проникати у ґрунт, потрапляти у поверхневі та підземні води, а також поширюватися в атмосферному повітрі у вигляді аерозолів або парів [10, с. 45]. Таким чином, їх вплив набуває комплексного характеру, охоплюючи всі основні природні середовища.

Однією з ключових проблем є те, що значна частина пестицидів не досягає цільового об'єкта, а розсіюється в довкіллі. За результатами досліджень, лише незначний відсоток внесених препаратів безпосередньо впливає на шкідників, тоді як інша частина потрапляє в ґрунт, воду та повітря, спричиняючи їх забруднення [33, с. 61]. Це призводить до накопичення токсичних речовин у природних екосистемах та порушення екологічної рівноваги.

Особливо небезпечними є стійкі органічні забруднювачі, які характеризуються тривалим періодом розкладу та здатністю до біоаккумуляції. Такі речовини можуть накопичуватися в організмах живих істот і передаватися по трофічних ланцюгах, що створює загрозу для біорізноманіття та здоров'я людини [18, с. 156]. У цьому контексті проблема використання пестицидів набуває глобального характеру.

Вплив мінеральних добрив на довкілля також має багатогранний характер. Надмірне внесення азотних добрив спричиняє накопичення

нітратів у ґрунті та воді, що може призводити до їх потрапляння у харчові продукти і, як наслідок, негативного впливу на здоров'я людини [19, с. 152]. Крім того, вимивання нітратів у водні об'єкти сприяє процесам евтрофікації, що супроводжуються масовим розвитком водоростей і зниженням якості води.

Фосфорні добрива, у свою чергу, можуть містити домішки важких металів, які накопичуються у ґрунтах і з часом негативно впливають на їх родючість та екологічний стан [17, с. 74]. Таким чином, навіть ті речовини, які безпосередньо спрямовані на покращення умов росту рослин, можуть виступати джерелом забруднення довкілля.

Важливим аспектом є також вплив пестицидів і мінеральних добрив на ґрунтові екосистеми. Ґрунт є складною біогеохімічною системою, у якій відбуваються численні процеси взаємодії між живими організмами та абіотичними компонентами. Внесення хімічних речовин може порушувати ці процеси, знижувати біологічну активність ґрунту та змінювати його фізико-хімічні властивості [17, с. 81].

Не менш значущим є вплив агрохімікатів на водні ресурси. Забруднення води пестицидами та нітратами становить серйозну екологічну проблему, оскільки вода є одним із найважливіших природних ресурсів. Потрапляння цих речовин у водні об'єкти може призводити до токсичного впливу на водні організми, а також до погіршення якості питної води [24, с. 203].

Атмосферне повітря також зазнає впливу внаслідок використання пестицидів і добрив. Випаровування летких сполук, а також перенесення аерозолів на значні відстані сприяють поширенню забруднюючих речовин за межі місця їх застосування [5, с. 142]. Це свідчить про трансграничний характер екологічних проблем, пов'язаних із використанням агрохімікатів.

Важливим аспектом є також вплив на біоту. Пестициди можуть негативно впливати не лише на шкідливі організми, а й на корисних комах, птахів, мікроорганізми та інші компоненти екосистем. Це призводить до

зниження біорізноманіття та порушення екологічних зв'язків [18, с. 162]. Таким чином, застосування пестицидів може мати довготривалі наслідки для функціонування природних екосистем.

З позицій сталого розвитку проблема використання пестицидів і мінеральних добрив розглядається як одна з ключових у сфері екологічної безпеки. Необхідність забезпечення продовольчої безпеки повинна поєднуватися з вимогами збереження довкілля, що передбачає оптимізацію використання агрохімікатів і впровадження екологічно безпечних технологій [30, с. 95].

Сучасні підходи до вирішення цієї проблеми включають розвиток органічного землеробства, інтегрованого захисту рослин, використання біологічних засобів боротьби зі шкідниками та вдосконалення системи екологічного моніторингу [19, с. 178]. Ці заходи спрямовані на зменшення негативного впливу агрохімікатів та забезпечення екологічної стійкості агроекосистем.

Отже, пестициди та мінеральні добрива є важливими чинниками антропогенного впливу на довкілля, що мають як позитивні, так і негативні наслідки. З одного боку, вони забезпечують підвищення продуктивності сільського господарства, а з іншого – створюють серйозні екологічні ризики, пов'язані із забрудненням природного середовища, порушенням екологічної рівноваги та негативним впливом на здоров'я людини. Це зумовлює необхідність подальших досліджень у цій сфері та розробки ефективних заходів щодо мінімізації негативного впливу агрохімікатів.

## **1.2. Основні джерела, шляхи міграції та форми потрапляння пестицидів та мінеральних добрив у компоненти довкілля**

Однією з ключових проблем сучасної агроекології є дослідження джерел надходження пестицидів і мінеральних добрив у навколишнє середовище, а також механізмів їх міграції та трансформації. Це зумовлено

тим, що після внесення в агроecosистеми ці речовини не залишаються локалізованими в межах оброблюваних ділянок, а активно переміщуються між різними компонентами довкілля, формуючи складні ланцюги забруднення [19, с. 160].

Основними джерелами надходження пестицидів і мінеральних добрив у довкілля є сільськогосподарська діяльність, зокрема їх безпосереднє внесення на поля, обробка рослин, а також зберігання і транспортування агрохімікатів. Найбільший внесок у забруднення навколишнього середовища припадає на аграрний сектор, де ці речовини застосовуються у значних обсягах з метою підвищення врожайності та захисту культур від шкідників [21, с. 148].

Додатковими джерелами можуть виступати склади застарілих або непридатних пестицидів, порушення правил їх утилізації, аварійні ситуації під час транспортування, а також несанкціоноване використання агрохімікатів. У багатьох випадках саме такі фактори призводять до локальних осередків високого рівня забруднення, що становлять значну екологічну небезпеку [10, с. 52].

Після внесення в навколишнє середовище пестициди та мінеральні добрива зазнають різноманітних фізичних, хімічних і біологічних процесів, що визначають їх подальшу міграцію. Основними шляхами переміщення цих речовин є ґрунтовий, водний та атмосферний перенос, кожен із яких має свої особливості [17, с. 92].

Ґрунт є первинним середовищем, у яке потрапляє основна маса пестицидів і добрив. Тут відбувається їх адсорбція, розкладання, трансформація та накопичення. Значна частина агрохімікатів зв'язується з ґрунтовими частками, що зменшує їх рухливість, однак за певних умов вони можуть знову переходити у рухомий стан і мігрувати в інші компоненти довкілля [13, с. 233]. Важливу роль у цих процесах відіграють фізико-хімічні властивості ґрунту, зокрема його гранулометричний склад, вміст органічної речовини та кислотність.

Одним із найбільш небезпечних шляхів міграції є водний перенос. Пестициди та компоненти мінеральних добрив можуть вимиватися з ґрунту під дією атмосферних опадів або зрошення і потрапляти у поверхневі та підземні води. Особливо інтенсивно цей процес відбувається на легких ґрунтах із низьким вмістом гумусу [24, с. 215]. Внаслідок цього формується дифузне забруднення водних ресурсів, яке важко контролювати та усувати.

Важливим аспектом є потрапляння нітратів у підземні води, що пов'язано з використанням азотних добрив. Нітрати характеризуються високою рухливістю та здатністю легко проникати крізь ґрунтовий профіль, досягаючи водоносних горизонтів [19, с. 168]. Це створює загрозу для якості питної води та здоров'я населення.

Поверхневий стік є ще одним важливим механізмом перенесення агрохімікатів. Під час сильних дощів або танення снігу частина пестицидів і добрив змивається з поверхні ґрунту та потрапляє у річки, озера та інші водні об'єкти. Це призводить до забруднення води та негативного впливу на водні екосистеми [5, с. 156].

Атмосферний шлях міграції пов'язаний із випаровуванням летких компонентів пестицидів, а також з утворенням аерозолів під час їх розпилення. Ці речовини можуть переноситися повітряними потоками на значні відстані, що призводить до їх поширення за межі місця застосування [33, с. 64]. Таким чином, навіть локальне використання пестицидів може мати регіональні або глобальні екологічні наслідки.

Особливу роль у міграції агрохімікатів відіграють біологічні процеси. Пестициди можуть поглинатися рослинами, накопичуватися у тканинах живих організмів і передаватися по трофічних ланцюгах. Це явище відоме як біоаккумуляція і становить серйозну загрозу для екосистем та здоров'я людини [18, с. 170]. У процесі біомагніфікації концентрація токсичних речовин зростає на кожному наступному рівні харчового ланцюга.

Форми потрапляння пестицидів і мінеральних добрив у довкілля є різноманітними і залежать від способів їх застосування. Основними формами

є тверді (гранули, порошки), рідкі (розчини, суспензії) та газоподібні. Кожна з цих форм має свої особливості поведінки у природному середовищі та впливає на характер їх міграції [2, с. 115].

Наприклад, рідкі форми пестицидів легше проникають у ґрунт і можуть швидше вимиватися у водні об'єкти, тоді як тверді форми частіше затримуються у верхніх шарах ґрунту. Газоподібні речовини здатні швидко поширюватися в атмосфері, що підвищує ризик їх перенесення на великі відстані [13, с. 241].

Важливим фактором, що визначає інтенсивність міграції агрохімікатів, є кліматичні умови. Температура, кількість опадів, швидкість вітру та інші метеорологічні параметри суттєво впливають на швидкість розкладання, випаровування та переміщення пестицидів і добрив [21, с. 152]. Наприклад, у посушливих умовах переважає атмосферний перенос, тоді як у вологих – водний.

Не менш значущим є вплив агротехнічних заходів. Глибина обробітку ґрунту, способи внесення добрив, строки їх застосування та інші фактори можуть як зменшувати, так і посилювати ризики забруднення довкілля [19, с. 172]. Раціональне управління цими процесами є важливим елементом екологічно безпечного землеробства.

Слід також враховувати, що у процесі міграції пестициди та добрива зазнають трансформації, внаслідок чого утворюються нові хімічні сполуки, які можуть бути як менш, так і більш токсичними порівняно з вихідними речовинами [10, с. 58]. Це ускладнює оцінку їх впливу на довкілля та потребує застосування комплексних підходів до дослідження.

Таким чином, джерела, шляхи міграції та форми потрапляння пестицидів і мінеральних добрив у довкілля є надзвичайно різноманітними та взаємопов'язаними. Основними джерелами виступає сільськогосподарська діяльність, а основними шляхами міграції – ґрунтовий, водний та атмосферний перенос. Водночас складність і багатофакторність цих процесів зумовлює необхідність їх детального вивчення для розробки ефективних

заходів щодо зменшення негативного впливу агрохімікатів на навколишнє середовище.

Отже, розуміння механізмів міграції та трансформації пестицидів і мінеральних добрив є важливою передумовою для оцінки екологічних ризиків і забезпечення сталого розвитку аграрного сектору.

### **1.3. Нормативно-правове регулювання використання пестицидів і агрохімікатів в Україні та міжнародні екологічні вимоги**

Сфера використання пестицидів і агрохімікатів належить до однієї з найбільш регульованих галузей у системі екологічного права, що зумовлено їх потенційною небезпекою для довкілля та здоров'я людини. Ефективне нормативно-правове забезпечення у цій сфері є ключовим чинником мінімізації екологічних ризиків і забезпечення сталого розвитку аграрного виробництва [22, с. 94].

В Україні правове регулювання використання пестицидів і агрохімікатів базується на комплексі законодавчих та підзаконних актів, що визначають вимоги до їх виробництва, транспортування, зберігання, застосування та утилізації. Центральне місце у цій системі займає Закон України «Про пестициди і агрохімікати», який встановлює правові та організаційні засади державної політики у сфері поводження з цими речовинами.

Відповідно до цього закону, пестициди та агрохімікати можуть використовуватися лише після державної реєстрації, яка передбачає оцінку їх ефективності та безпечності для людини і довкілля. Забороняється застосування препаратів, що не пройшли відповідну процедуру реєстрації або не відповідають встановленим вимогам [6, с. 215]. Такий підхід спрямований на запобігання потраплянню на ринок небезпечних або недостатньо досліджених речовин.

Важливу роль у регулюванні використання агрохімікатів відіграє також Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища», який визначає загальні принципи екологічної політики держави, зокрема принципи запобігання негативному впливу на довкілля, раціонального використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки [5, с. 98]. У контексті використання пестицидів ці положення реалізуються через встановлення обмежень і нормативів їх застосування.

Закон України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення» регламентує питання безпеки для здоров'я людини, зокрема встановлює гранично допустимі концентрації (ГДК) хімічних речовин у продуктах харчування, воді та повітрі [8, с. 132]. Це є важливим інструментом контролю за рівнем забруднення довкілля агрохімікатами.

Окрему групу нормативних актів становлять підзаконні документи, що визначають конкретні правила застосування пестицидів і добрив. До них належать державні санітарні правила, інструкції щодо безпечного використання препаратів, регламенти їх внесення, а також нормативи щодо зберігання і транспортування. Ці документи деталізують вимоги законодавства і забезпечують їх практичну реалізацію [11, с. 67].

Важливим елементом державного регулювання є система екологічного контролю, яка включає моніторинг стану довкілля, перевірку дотримання нормативних вимог, а також застосування санкцій у разі їх порушення. Контроль за використанням пестицидів здійснюється відповідними органами державної влади, зокрема Державною екологічною інспекцією та Держпродспоживслужбою [22, с. 101].

У контексті європейської інтеграції Україна поступово адаптує своє законодавство до вимог Європейського Союзу. Це передбачає гармонізацію нормативно-правової бази, зокрема у сфері використання пестицидів, із європейськими стандартами. Одним із ключових документів ЄС є Регламент (ЄС) № 1107/2009 щодо розміщення засобів захисту рослин на ринку, який

встановлює суворі вимоги до оцінки ризиків і безпечності пестицидів [31, с. 12].

Не менш важливим є Директива ЄС 2009/128/ЄС про стале використання пестицидів, яка спрямована на зменшення ризиків і впливу пестицидів на здоров'я людини та довкілля. Вона передбачає впровадження інтегрованого захисту рослин, використання альтернативних методів боротьби зі шкідниками та підвищення рівня обізнаності користувачів [31, с. 18].

На міжнародному рівні регулювання використання пестицидів здійснюється через низку конвенцій та угод. Однією з найважливіших є Стокгольмська конвенція про стійкі органічні забруднювачі, яка спрямована на обмеження або заборону використання найбільш небезпечних хімічних речовин, зокрема деяких видів пестицидів [29, с. 45]. Ця конвенція передбачає заходи щодо зменшення викидів таких речовин і ліквідації їх запасів.

Роттердамська конвенція про процедуру попередньої обґрунтованої згоди стосується міжнародної торгівлі небезпечними хімічними речовинами і пестицидами. Вона забезпечує обмін інформацією між країнами щодо потенційних ризиків і дозволяє державам приймати обґрунтовані рішення щодо імпорту таких речовин [29, с. 52].

Важливу роль відіграють також рекомендації Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (FAO) і Всесвітньої організації охорони здоров'я (WHO), які розробляють міжнародні стандарти та керівництва щодо безпечного використання пестицидів. Зокрема, Кодекс поведінки щодо управління пестицидами визначає основні принципи їх відповідального застосування [25, с. 33].

Міжнародні екологічні вимоги також передбачають необхідність оцінки впливу агрохімікатів на довкілля (Environmental Impact Assessment), що включає аналіз їх токсичності, стійкості, здатності до біоаккумуляції та інших характеристик [30, с. 102]. Ці вимоги спрямовані на попередження

негативних наслідків ще на етапі розробки та впровадження нових препаратів.

Окрему увагу приділяють принципу запобіжності, який передбачає обмеження використання потенційно небезпечних речовин навіть за відсутності повної наукової визначеності щодо їх впливу. Цей принцип широко застосовується в екологічній політиці ЄС і поступово впроваджується в Україні [22, с. 108].

У сучасних умовах важливим напрямом розвитку нормативно-правового регулювання є впровадження принципів сталого розвитку та екологізації сільського господарства. Це передбачає зменшення використання хімічних засобів, розвиток органічного землеробства та застосування екологічно безпечних технологій [30, с. 110].

Важливим інструментом реалізації цих принципів є система сертифікації та екологічного маркування продукції, яка стимулює виробників дотримуватися екологічних стандартів. Це сприяє підвищенню рівня екологічної відповідальності та формуванню сталих моделей виробництва і споживання.

Таким чином, нормативно-правове регулювання використання пестицидів і агрохімікатів в Україні є багаторівневою системою, що включає національне законодавство, підзаконні акти та міжнародні зобов'язання. Його основною метою є забезпечення безпечного використання цих речовин, мінімізація їх негативного впливу на довкілля та здоров'я людини.

Отже, ефективне правове регулювання у сфері використання пестицидів і агрохімікатів є необхідною умовою забезпечення екологічної безпеки та сталого розвитку аграрного сектору. Подальше вдосконалення законодавства має бути спрямоване на гармонізацію з міжнародними стандартами, підвищення ефективності контролю та впровадження інноваційних екологічно безпечних технологій.

#### **1.4. Методичні підходи до оцінювання екологічного впливу пестицидів та мінеральних добрив**

Оцінювання екологічного впливу пестицидів та мінеральних добрив є важливим елементом системи екологічної безпеки та управління природокористуванням. Воно спрямоване на визначення ступеня негативного впливу агрохімікатів на компоненти довкілля, виявлення екологічних ризиків та обґрунтування заходів щодо їх мінімізації. У сучасних умовах така оцінка базується на комплексі методичних підходів, які поєднують екологічні, хімічні, біологічні та статистичні методи дослідження [11, с. 73].

Одним із базових підходів є **екологічний моніторинг**, який передбачає систематичне спостереження за станом довкілля з метою виявлення змін, спричинених використанням пестицидів і добрив. Моніторинг охоплює дослідження ґрунтів, водних ресурсів, атмосферного повітря та біоти, що дозволяє отримати комплексну інформацію про рівень забруднення і динаміку його змін [11, с. 78]. Важливою складовою моніторингу є визначення концентрацій забруднюючих речовин і їх порівняння з гранично допустимими нормами.

Наступним важливим підходом є **санітарно-гігієнічна оцінка**, яка спрямована на визначення впливу агрохімікатів на здоров'я людини. Вона базується на встановленні гранично допустимих концентрацій (ГДК) пестицидів і нітратів у воді, ґрунті та продуктах харчування. Такий підхід дозволяє оцінити рівень небезпеки для населення та визначити допустимі межі використання агрохімікатів [8, с. 145].

Важливе значення має **екотоксикологічний підхід**, який передбачає вивчення токсичного впливу пестицидів і мінеральних добрив на живі організми. У межах цього підходу проводяться лабораторні та польові експерименти з визначення гострої та хронічної токсичності, впливу на репродуктивну функцію, мутагенності та інших показників [18, с. 178].

Отримані результати дозволяють оцінити небезпеку речовин для різних компонентів біоти.

Одним із сучасних методичних напрямів є **ризик-орієнтований підхід**, який передбачає оцінювання ймовірності виникнення негативних наслідків під впливом агрохімікатів. Екологічний ризик визначається як функція небезпеки речовини та рівня експозиції, тобто ступеня її впливу на організми або екосистеми [22, с. 113]. Такий підхід дозволяє не лише оцінити поточний стан довкілля, а й прогнозувати можливі наслідки використання пестицидів і добрив.

У межах ризик-орієнтованого підходу застосовуються різноманітні методи, зокрема розрахунок індексів екологічного ризику, аналіз сценаріїв розвитку ситуації та моделювання поширення забруднюючих речовин. Це дає змогу враховувати різні фактори, що впливають на поведінку агрохімікатів у довкіллі, і приймати обґрунтовані управлінські рішення [30, с. 118].

Важливим інструментом оцінювання є **балансовий метод**, який передбачає визначення надходження, трансформації та виносу пестицидів і поживних речовин у межах агроєкосистеми. Зокрема, для мінеральних добрив розраховується баланс азоту, фосфору та калію, що дозволяє оцінити ефективність їх використання та ризик накопичення або втрат у навколишнє середовище [19, с. 181].

Суттєву роль відіграє також **метод індикаторів**, який базується на використанні певних показників для оцінювання стану довкілля. До таких індикаторів належать вміст нітратів у воді, концентрація залишків пестицидів у ґрунті, рівень біорізноманіття, активність ґрунтових мікроорганізмів тощо [21, с. 165]. Цей підхід є зручним для порівняння різних територій і визначення тенденцій змін.

Одним із найперспективніших напрямів є застосування **геоінформаційних систем (ГІС)**, які дозволяють здійснювати просторовий аналіз поширення забруднення. За допомогою ГІС можна моделювати

міграцію пестицидів і добрив, визначати зони підвищеного ризику та оптимізувати заходи щодо охорони довкілля [11, с. 84]. Це особливо важливо для великих територій із різноманітними природними умовами.

Важливим методичним підходом є **експериментальні дослідження**, які проводяться як у лабораторних, так і в польових умовах. Лабораторні експерименти дозволяють вивчити механізми дії агрохімікатів у контрольованих умовах, тоді як польові дослідження дають змогу оцінити їх вплив у реальних природних умовах [10, с. 63]. Поєднання цих методів забезпечує більш точну і достовірну оцінку.

Не менш важливим є **порівняльний метод**, який передбачає зіставлення результатів досліджень із нормативними значеннями або даними інших територій. Це дозволяє визначити ступінь відхилення від норми та оцінити рівень екологічної небезпеки [17, с. 96].

У сучасних дослідженнях широко використовується **системний підхід**, який розглядає агроєкосистему як цілісну систему, у межах якої взаємодіють різні компоненти. Це дозволяє враховувати складні взаємозв'язки між ґрунтом, водою, атмосферою та живими організмами, що є необхідним для адекватної оцінки екологічного впливу пестицидів і добрив [21, с. 172].

Особливу увагу приділяють також **економіко-екологічному підходу**, який передбачає оцінювання не лише екологічних, а й економічних наслідків використання агрохімікатів. Це дозволяє визначити оптимальне співвідношення між ефективністю сільськогосподарського виробництва та рівнем екологічної безпеки [15, с. 129].

У міжнародній практиці важливим інструментом є **оцінка впливу на довкілля (ОВД)**, яка передбачає комплексний аналіз можливих екологічних наслідків запланованої діяльності. У контексті використання пестицидів і добрив ОВД дозволяє оцінити їх потенційний вплив ще до початку застосування та розробити заходи щодо його зменшення [30, с. 123].

Таким чином, методичні підходи до оцінювання екологічного впливу пестицидів і мінеральних добрив є багатокомпонентними та

взаємодоповнюючими. Вони включають моніторинг, екотоксикологічні дослідження, ризик-орієнтовані методи, моделювання, експериментальні та аналітичні підходи. Їх комплексне застосування дозволяє отримати об'єктивну інформацію про стан довкілля та розробити ефективні заходи щодо його охорони.

Отже, сучасні методичні підходи до оцінювання екологічного впливу агрохімікатів забезпечують наукове підґрунтя для прийняття управлінських рішень у сфері природокористування та сприяють формуванню екологічно безпечних моделей розвитку сільського господарства.

## Висновки до розділу 1

У результаті проведеного теоретико-методологічного аналізу встановлено, що пестициди та мінеральні добрива є важливими чинниками антропогенного впливу на навколишнє природне середовище. Їх застосування забезпечує підвищення продуктивності сільського господарства, однак супроводжується значними екологічними ризиками, пов'язаними із забрудненням ґрунтів, водних ресурсів, атмосферного повітря та негативним впливом на біоту і здоров'я людини.

З'ясовано, що основними джерелами надходження агрохімікатів у довкілля є сільськогосподарська діяльність, зокрема їх безпосереднє внесення, зберігання та транспортування. Визначено, що ключовими шляхами міграції пестицидів і мінеральних добрив виступають ґрунтовий, водний та атмосферний перенос, а також біологічні процеси, включаючи біоаккумуляцію та біомагніфікацію. Форми потрапляння цих речовин у довкілля залежать від їх фізико-хімічних властивостей, способів застосування та природно-кліматичних умов.

Проаналізовано нормативно-правове регулювання використання пестицидів і агрохімікатів в Україні, яке базується на системі законодавчих і підзаконних актів та спрямоване на забезпечення екологічної безпеки. Встановлено, що національне законодавство поступово гармонізується з міжнародними стандартами, зокрема вимогами Європейського Союзу та положеннями міжнародних екологічних конвенцій, що підвищує рівень контролю та відповідальності у сфері використання агрохімікатів.

Визначено, що оцінювання екологічного впливу пестицидів і мінеральних добрив здійснюється на основі комплексного підходу, який включає екологічний моніторинг, санітарно-гігієнічні та екотоксикологічні дослідження, ризик-орієнтовані методи, моделювання та використання сучасних інформаційних технологій. Застосування цих підходів дозволяє

об'єктивно оцінити стан довкілля, виявити екологічні ризики та обґрунтувати ефективні заходи щодо їх мінімізації.

Таким чином, теоретичні та методичні засади дослідження впливу пестицидів і мінеральних добрив на довкілля створюють необхідне підґрунтя для подальшого аналізу фактичного стану природного середовища та розробки практичних рекомендацій щодо зменшення негативного антропогенного навантаження в аграрному секторі.

## РОЗДІЛ 2

### АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПЕСТИЦИДІВ АБО МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ НА СТАН КОМПОНЕНТІВ ДОВКІЛЛЯ

#### 2.1. Характеристика об'єкта та умов дослідження

Обґрунтована оцінка впливу пестицидів та мінеральних добрив на довкілля неможлива без детального аналізу об'єкта дослідження, природних умов території, а також особливостей ведення сільськогосподарського виробництва. У межах даної роботи як об'єкт дослідження доцільно розглядати агроландшафти півдня України, зокрема територію **Миколаївської області, яка характеризується інтенсивним розвитком аграрного сектору та значним рівнем використання агрохімікатів.**

Миколаївська область розташована в межах степової природної зони України, що визначає її природно-кліматичні особливості. Територія регіону характеризується рівнинним рельєфом, переважанням чорноземних ґрунтів, а також відносно посушливим кліматом із нерівномірним розподілом опадів протягом року. Середньорічна температура повітря становить близько +9–10 °С, а річна кількість опадів коливається в межах 350–450 мм, що є недостатнім для стабільного ведення землеробства без застосування додаткових агротехнічних заходів [24, с. 198].

Ґрунтовий покрив області представлений переважно чорноземами звичайними та південними, які характеризуються високим вмістом гумусу та значною природною родючістю. Водночас тривале інтенсивне використання цих ґрунтів у сільському господарстві, зокрема із застосуванням мінеральних добрив і пестицидів, призводить до поступового виснаження їх родючості, зміни фізико-хімічних властивостей та накопичення токсичних речовин [17, с. 86].

Водні ресурси регіону представлені річками Південний Буг, Інгул, Інгулець, а також численними водосховищами та ставками. В умовах

обмеженої кількості опадів водні ресурси відіграють важливу роль у забезпеченні потреб сільського господарства, зокрема для зрошення. Однак саме водні об'єкти є одними з найбільш уразливих до забруднення агрохімікатами, що потрапляють у них із поверхневим стоком або внаслідок вимивання з ґрунтів [24, с. 205].

Агрокліматичні умови регіону зумовлюють необхідність активного застосування мінеральних добрив для підвищення врожайності сільськогосподарських культур. Основними культурами, що вирощуються на території області, є зернові (пшениця, ячмінь, кукурудза), технічні (соняшник, ріпак) та овочеві культури. Інтенсивне землеробство передбачає систематичне внесення азотних, фосфорних і калійних добрив, що може спричинити надлишкове накопичення поживних елементів у ґрунті та їх міграцію у водні об'єкти [19, с. 175].

Важливою складовою агротехнологій є застосування пестицидів для захисту рослин від шкідників, хвороб і бур'янів. У регіоні широко використовуються гербіциди, інсектициди та фунгіциди, які забезпечують підвищення врожайності, проте водночас створюють ризики забруднення довкілля. Особливо актуальною є проблема накопичення залишкових кількостей пестицидів у ґрунтах і водах, що може мати довготривалі екологічні наслідки [13, с. 247].

Об'єкт дослідження характеризується також значним антропогенним навантаженням, пов'язаним із розвитком сільського господарства, транспортної інфраструктури та промисловості. Сукупний вплив цих факторів посилює негативний ефект від використання агрохімікатів, що потребує комплексного підходу до оцінки стану довкілля [21, с. 182].

Умови дослідження передбачають аналіз впливу пестицидів і мінеральних добрив на основні компоненти довкілля, зокрема ґрунти, водні ресурси та біоту. Для цього використовуються дані екологічного моніторингу, статистичні матеріали, результати наукових досліджень, а також узагальнення літературних джерел [11, с. 92].

Методична база дослідження включає використання загальнонаукових і спеціальних методів. До загальнонаукових методів належать аналіз, синтез, узагальнення та порівняння, які дозволяють систематизувати наявну інформацію та виявити закономірності впливу агрохімікатів на довкілля. Спеціальні методи включають екологічний моніторинг, статистичний аналіз, оцінку екологічних ризиків та моделювання процесів міграції забруднюючих речовин [22, с. 119].

Особливу увагу приділено аналізу ґрунтових показників, таких як вміст гумусу, кислотність, концентрація нітратів і залишків пестицидів. Ці показники є важливими індикаторами екологічного стану ґрунтів і дозволяють оцінити ступінь їх забруднення [17, с. 91].

Дослідження водних ресурсів передбачає визначення вмісту нітратів, фосфатів та залишкових кількостей пестицидів у поверхневих і підземних водах. Особливу увагу приділяють джерелам питного водопостачання, оскільки забруднення води агрохімікатами становить серйозну загрозу для здоров'я населення [24, с. 210].

У межах дослідження також враховуються біологічні показники, зокрема стан рослинності, чисельність і різноманіття живих організмів. Зміни у цих показниках можуть свідчити про негативний вплив пестицидів і добрив на екосистеми [18, с. 185].

Важливим аспектом є врахування сезонних особливостей застосування агрохімікатів. Основне внесення добрив і обробка пестицидами відбуваються у весняно-літній період, що збігається з періодом активного росту рослин. Саме в цей час спостерігається найбільший ризик міграції цих речовин у довкілля, особливо в умовах інтенсивних опадів або зрошення [19, с. 179].

Крім того, слід враховувати вплив кліматичних змін, які можуть посилювати негативні наслідки використання агрохімікатів. Зокрема, підвищення температури сприяє інтенсивнішому випаровуванню летких сполук, тоді як збільшення кількості опадів може посилювати процеси вимивання [21, с. 188].

Таким чином, об'єкт і умови дослідження характеризуються складним поєднанням природних і антропогенних факторів, що визначають особливості впливу пестицидів і мінеральних добрив на довкілля. Комплексний аналіз цих факторів є необхідною передумовою для об'єктивної оцінки екологічного стану території та розробки ефективних заходів щодо його поліпшення.

Отже, характеристика об'єкта та умов дослідження дозволяє сформулювати цілісне уявлення про фактори, що впливають на стан довкілля в умовах інтенсивного сільськогосподарського використання території, і створює основу для подальшого аналізу впливу агрохімікатів на окремі компоненти природного середовища.

## **2.2. Вплив пестицидів та мінеральних добрив на стан ґрунтів**

Ґрунт є одним із ключових компонентів природного середовища, який виконує важливі екологічні, біологічні та господарські функції. Він забезпечує рослини поживними речовинами, є середовищем існування для численних організмів, а також відіграє роль природного фільтра, що регулює міграцію хімічних речовин у довкіллі. Водночас інтенсивне застосування пестицидів і мінеральних добрив у сільському господарстві суттєво впливає на стан ґрунтів, змінюючи їх фізико-хімічні та біологічні властивості [17, с. 88].

Одним із основних наслідків використання мінеральних добрив є зміна хімічного складу ґрунту. Азотні, фосфорні та калійні добрива, які широко застосовуються для підвищення врожайності, можуть призводити до порушення природного балансу поживних елементів. Зокрема, надмірне внесення азотних добрив сприяє накопиченню нітратів у ґрунті, що може мати негативні екологічні наслідки [19, с. 184]. Частина нітратів використовується рослинами, однак їх надлишок залишається у ґрунті або вимивається у водні об'єкти.

Важливим аспектом є вплив мінеральних добрив на кислотність ґрунту. Тривале застосування амонійних форм азотних добрив може призводити до підкислення ґрунтів, що негативно впливає на їх родючість і біологічну активність [13, с. 252]. Підвищення кислотності сприяє вимиванню поживних елементів і зменшенню доступності мікроелементів для рослин.

Фосфорні добрива, у свою чергу, можуть містити домішки важких металів, зокрема кадмію, свинцю та інших токсичних елементів. Їх накопичення у ґрунті становить серйозну екологічну проблему, оскільки ці речовини здатні тривалий час зберігатися в ґрунтовому середовищі та негативно впливати на живі організми [17, с. 93]. У процесі біоаккумуляції важкі метали можуть потрапляти в рослини і, відповідно, у харчовий ланцюг.

Застосування пестицидів також має значний вплив на стан ґрунтів. Після внесення ці речовини частково адсорбуються ґрунтовими частками, частково розкладаються під дією мікроорганізмів і фізико-хімічних процесів, а частково накопичуються у верхніх шарах ґрунту [10, с. 66]. Стійкість пестицидів у ґрунті залежить від їх хімічної структури, властивостей ґрунту та кліматичних умов.

Однією з важливих проблем є накопичення залишкових кількостей пестицидів, що може призводити до довготривалого забруднення ґрунтів. Особливо небезпечними є стійкі органічні сполуки, які повільно розкладаються і здатні зберігатися у ґрунті протягом тривалого часу [18, с. 189]. Це створює ризик їх повторного надходження у рослини та інші компоненти екосистем.

Пестициди також впливають на біологічну активність ґрунту. Вони можуть пригнічувати діяльність ґрунтових мікроорганізмів, які відіграють важливу роль у процесах розкладання органічної речовини та формування гумусу [17, с. 95]. Зниження активності мікрофлори призводить до порушення біогеохімічних процесів і зменшення родючості ґрунтів.

Особливу увагу слід приділити впливу агрохімікатів на гумусовий стан ґрунтів. Гумус є основним показником родючості, який визначає здатність

грунту забезпечувати рослини поживними речовинами. Інтенсивне використання мінеральних добрив без належного внесення органічної речовини може призводити до зниження вмісту гумусу та деградації ґрунтів [19, с. 188].

Фізичні властивості ґрунту також зазнають змін під впливом агрохімікатів. Зокрема, порушується структура ґрунту, зменшується його пористість і водопроникність. Це ускладнює доступ води та повітря до кореневої системи рослин і негативно впливає на їх розвиток [13, с. 258].

Важливим наслідком є процеси вторинного засолення ґрунтів, які можуть виникати внаслідок неправильного застосування мінеральних добрив, особливо в умовах зрошуваного землеробства. Накопичення солей у ґрунті призводить до погіршення його фізико-хімічних властивостей і зниження врожайності [19, с. 190].

Слід зазначити, що вплив пестицидів і добрив на ґрунти має комплексний характер і залежить від багатьох факторів, зокрема типу ґрунту, кліматичних умов, способів і норм внесення агрохімікатів. У деяких випадках раціональне використання мінеральних добрив може навіть сприяти підвищенню родючості ґрунтів, однак перевищення допустимих норм призводить до негативних наслідків [21, с. 190].

Особливе значення має оцінка інтегрального впливу агрохімікатів на ґрунтові екосистеми. Для цього використовуються різні показники, зокрема вміст гумусу, рівень кислотності, концентрація нітратів і залишків пестицидів, а також біологічні індикатори [11, с. 97]. Комплексний аналіз цих показників дозволяє визначити ступінь деградації ґрунтів і розробити заходи щодо їх відновлення.

У сучасних умовах важливим напрямом є впровадження екологічно безпечних технологій землеробства, які передбачають зменшення використання хімічних засобів і підвищення ролі біологічних методів. До таких технологій належать органічне землеробство, використання сидератів, біопрепаратів та інших екологічно чистих засобів [19, с. 194].

Таким чином, вплив пестицидів і мінеральних добрив на стан ґрунтів є складним і багатограним процесом, що охоплює зміни хімічних, фізичних і біологічних властивостей ґрунту. Надмірне або нераціональне використання агрохімікатів призводить до деградації ґрунтів, зниження їх родючості та погіршення екологічного стану.

Отже, для забезпечення сталого розвитку аграрного виробництва необхідно впроваджувати науково обґрунтовані системи удобрення та захисту рослин, які дозволяють мінімізувати негативний вплив на ґрунти і зберегти їх продуктивність у довгостроковій перспективі.

### **2.3. Вплив пестицидів та мінеральних добрив на поверхневі й підземні води**

Водні ресурси є одним із найважливіших компонентів довкілля, що забезпечують життєдіяльність людини, функціонування екосистем і розвиток господарської діяльності. Водночас вони належать до найбільш уразливих об'єктів щодо антропогенного забруднення, зокрема внаслідок застосування пестицидів і мінеральних добрив у сільському господарстві. Потрапляння агрохімікатів у поверхневі та підземні води призводить до суттєвого погіршення їх якості, що становить загрозу для екосистем і здоров'я населення [24, с. 212].

Основними шляхами надходження пестицидів і компонентів мінеральних добрив у водні об'єкти є поверхневий стік, інфільтрація через ґрунтовий профіль та атмосферне перенесення. Поверхневий стік формується під час інтенсивних опадів або зрошення, коли частина агрохімікатів змивається з поверхні ґрунту та потрапляє у річки, озера та інші водойми [5, с. 160]. Цей процес є особливо характерним для територій із розвиненим землеробством і недостатнім рівнем ґрунтозахисних заходів.

Інфільтрація є основним механізмом забруднення підземних вод. Розчинені у воді нітрати, фосфати та деякі пестициди здатні проникати крізь

грунтові горизонти і досягати водоносних шарів. Нітрати характеризуються високою мобільністю, що робить їх одним із найбільш небезпечних забруднювачів підземних вод [19, с. 196]. У разі перевищення допустимих концентрацій вони можуть спричиняти негативні наслідки для здоров'я людини.

Пестициди, залежно від їх фізико-хімічних властивостей, також можуть потрапляти у водні об'єкти. Водорозчинні препарати легко мігрують із водними потоками, тоді як гідрофобні сполуки можуть адсорбуватися на частинках ґрунту і переноситися разом із ними [10, с. 69]. У результаті формується складна картина забруднення, яка залежить від багатьох факторів.

Однією з найбільш серйозних екологічних проблем є евтрофікація водних об'єктів, що виникає внаслідок надходження у воду значних кількостей азоту і фосфору з мінеральних добрив. Ці елементи стимулюють інтенсивний розвиток водоростей і ціанобактерій, що призводить до зниження вмісту кисню у воді та погіршення умов існування водних організмів [24, с. 218]. У крайніх випадках це може спричиняти масову загибель риби та інших гідробіонтів.

Вплив пестицидів на водні екосистеми проявляється у їх токсичній дії на водні організми. Навіть у низьких концентраціях деякі пестициди можуть негативно впливати на риб, безхребетних, водорості та мікроорганізми, порушуючи їх фізіологічні процеси та знижуючи життєздатність [18, с. 192]. Особливо чутливими є молоді стадії розвитку організмів, що робить водні екосистеми вразливими до забруднення.

Важливим аспектом є накопичення пестицидів у донних відкладах. Частина хімічних речовин осідає на дно водойм, де може зберігатися протягом тривалого часу. За певних умов ці речовини можуть знову переходити у водну фазу, створюючи додаткове джерело забруднення [10, с. 72]. Таким чином, навіть після припинення використання пестицидів їх вплив може зберігатися протягом тривалого часу.

Підземні води є особливо важливим джерелом питного водопостачання, тому їх забруднення має серйозні соціальні наслідки. Потрапляння нітратів у питну воду може спричиняти розвиток метгемоглобінемії та інших захворювань, особливо у дітей [8, с. 148]. Крім того, деякі пестициди мають канцерогенні та мутагенні властивості, що підвищує ризики для здоров'я населення.

Рівень забруднення водних ресурсів значною мірою залежить від природно-кліматичних умов. У регіонах із високою кількістю опадів інтенсивність вимивання агрохімікатів є вищою, тоді як у посушливих умовах більшу роль відіграє атмосферний перенос [21, с. 194]. Важливим фактором є також тип ґрунту, його структура та водопроникність.

Не менш важливим є вплив агротехнічних заходів. Раціональне внесення добрив, використання сучасних технологій обробітку ґрунту, створення захисних смуг уздовж водних об'єктів дозволяють суттєво зменшити ризики забруднення води [19, с. 198]. Навпаки, порушення цих вимог призводить до посилення негативного впливу.

Сучасні дослідження свідчать про необхідність комплексного підходу до оцінки впливу агрохімікатів на водні ресурси. Такий підхід передбачає поєднання моніторингових досліджень, лабораторного аналізу, математичного моделювання та оцінки екологічних ризиків [11, с. 102]. Це дозволяє не лише фіксувати рівень забруднення, а й прогнозувати його зміни у часі.

Важливим напрямом є також впровадження екологічно безпечних технологій, які передбачають зменшення використання хімічних засобів і перехід до більш сталих моделей ведення сільського господарства. До таких заходів належать використання органічних добрив, біологічних засобів захисту рослин та оптимізація систем удобрення [30, с. 125].

Таким чином, вплив пестицидів і мінеральних добрив на поверхневі й підземні води є складним і багатогранним процесом, що включає різні шляхи надходження, трансформації та накопичення забруднюючих речовин.

Основними наслідками цього впливу є погіршення якості води, порушення функціонування водних екосистем та загроза для здоров'я населення.

Отже, забезпечення охорони водних ресурсів потребує впровадження ефективних заходів контролю та раціонального використання агрохімікатів, що дозволить знизити рівень їх негативного впливу та забезпечити сталий розвиток аграрного сектору.

#### **2.4. Вплив пестицидів та мінеральних добрив на атмосферне повітря, біота та здоров'я людини**

Атмосферне повітря, біота та здоров'я людини є взаємопов'язаними складовими екосистеми, на які суттєво впливають процеси антропогенного забруднення. Використання пестицидів і мінеральних добрив у сільському господарстві є одним із важливих джерел такого впливу, що проявляється через надходження хімічних речовин у повітря, їх накопичення в живих організмах та вплив на фізіологічні процеси людини [5, с. 163].

Вплив агрохімікатів на атмосферне повітря пов'язаний насамперед із процесами випаровування, аерозольного перенесення та газоутворення. Під час обробки полів пестицидами значна частина препаратів потрапляє в атмосферу у вигляді дрібнодисперсних крапель, які можуть переноситися повітряними потоками на значні відстані [33, с. 66]. Це призводить до забруднення повітря не лише в межах оброблюваних територій, а й у прилеглих регіонах.

Особливу роль у забрудненні атмосферного повітря відіграють леткі компоненти пестицидів, які можуть випаровуватися після внесення. Інтенсивність цього процесу залежить від температури повітря, вологості, швидкості вітру та фізико-хімічних властивостей речовини [21, с. 196]. У результаті формується вторинне забруднення атмосфери, яке може тривати протягом тривалого часу після застосування препаратів.

Мінеральні добрива також впливають на атмосферне повітря, особливо азотні. У процесі їх трансформації у ґрунті утворюються газоподібні сполуки, такі як аміак ( $\text{NH}_3$ ), оксиди азоту ( $\text{NO}_x$ ) та закис азоту ( $\text{N}_2\text{O}$ ), які виділяються в атмосферу [19, с. 201]. Закис азоту є одним із парникових газів, що сприяє зміні клімату, а також бере участь у руйнуванні озонового шару.

Забруднення повітря агрохімікатами має негативний вплив на біоту. Рослини можуть поглинати токсичні речовини з повітря через листову поверхню, що призводить до порушення фотосинтезу, уповільнення росту та зниження врожайності [18, с. 195]. Деякі пестициди можуть спричиняти хлороз, некроз тканин і інші патологічні зміни у рослин.

Тваринний світ також зазнає значного впливу. Пестициди можуть потрапляти в організм тварин через корм, воду або повітря, викликаючи гострі та хронічні отруєння. Особливо чутливими є комахи-запилювачі, зокрема бджоли, чисельність яких значно зменшується внаслідок використання інсектицидів [18, с. 198]. Це, у свою чергу, негативно впливає на запилення рослин і функціонування екосистем.

Важливим аспектом є явище біоаккумуляції, яке полягає у накопиченні пестицидів у тканинах живих організмів. У процесі біомагніфікації концентрація токсичних речовин зростає на кожному наступному рівні трофічного ланцюга [18, с. 200]. Це створює особливу небезпеку для хижаків і людини, які знаходяться на верхніх рівнях харчового ланцюга.

Вплив агрохімікатів на здоров'я людини є однією з найважливіших проблем сучасної екології. Людина може зазнавати впливу пестицидів і добрив через різні шляхи: інгаляційний (через повітря), пероральний (через їжу і воду) та контактний (через шкіру) [8, с. 151]. Така багатоканальність надходження підвищує ризик негативного впливу навіть при відносно низьких концентраціях.

Гостре отруєння пестицидами проявляється у вигляді порушень нервової системи, дихання, серцево-судинної діяльності та інших функцій

організму. Хронічний вплив може призводити до розвитку онкологічних захворювань, порушень ендокринної системи, імунітету та репродуктивної функції [28, с. 27]. Особливо небезпечним є вплив на дітей, організм яких є більш чутливим до токсичних речовин.

Нітрати, що надходять у організм людини з водою і продуктами харчування, можуть перетворюватися на нітрити, які здатні викликати метгемоглобінемію – захворювання, пов'язане з порушенням транспорту кисню кров'ю [8, с. 153]. Це особливо небезпечно для дітей раннього віку.

Важливим аспектом є також вплив агрохімікатів на якість харчових продуктів. Залишкові кількості пестицидів у продукції рослинного і тваринного походження можуть перевищувати допустимі норми, що створює додаткові ризики для здоров'я споживачів [21, с. 201]. Контроль за вмістом таких речовин є важливою складовою системи продовольчої безпеки.

Слід зазначити, що ступінь впливу агрохімікатів на атмосферне повітря, біоту та здоров'я людини залежить від багатьох факторів, зокрема типу речовини, її токсичності, способу застосування, кліматичних умов та інтенсивності використання [19, с. 204]. Це зумовлює необхідність комплексного підходу до оцінки їх впливу.

У сучасних умовах важливим напрямом є зменшення негативного впливу агрохімікатів шляхом впровадження екологічно безпечних технологій. До таких заходів належать оптимізація норм внесення добрив, використання малотоксичних препаратів, застосування біологічних засобів захисту рослин та розвиток органічного землеробства [30, с. 128].

Важливу роль відіграє також підвищення рівня екологічної свідомості населення та професійної підготовки працівників аграрного сектору. Дотримання правил безпечного використання пестицидів і добрив дозволяє суттєво зменшити ризики для довкілля і здоров'я людини.

Таким чином, вплив пестицидів і мінеральних добрив на атмосферне повітря, біоту та здоров'я людини є комплексним і багатогранним. Він проявляється через забруднення повітря, порушення функціонування

екосистем і негативний вплив на фізіологічні процеси людини (рис. 1). Це зумовлює необхідність впровадження ефективних заходів екологічного контролю та раціонального використання агрохімікатів.

Отже, забезпечення екологічної безпеки у сфері застосування пестицидів і мінеральних добрив потребує комплексного підходу, який поєднує наукові дослідження, нормативно-правове регулювання та практичні заходи щодо зниження негативного впливу на довкілля і здоров'я населення.

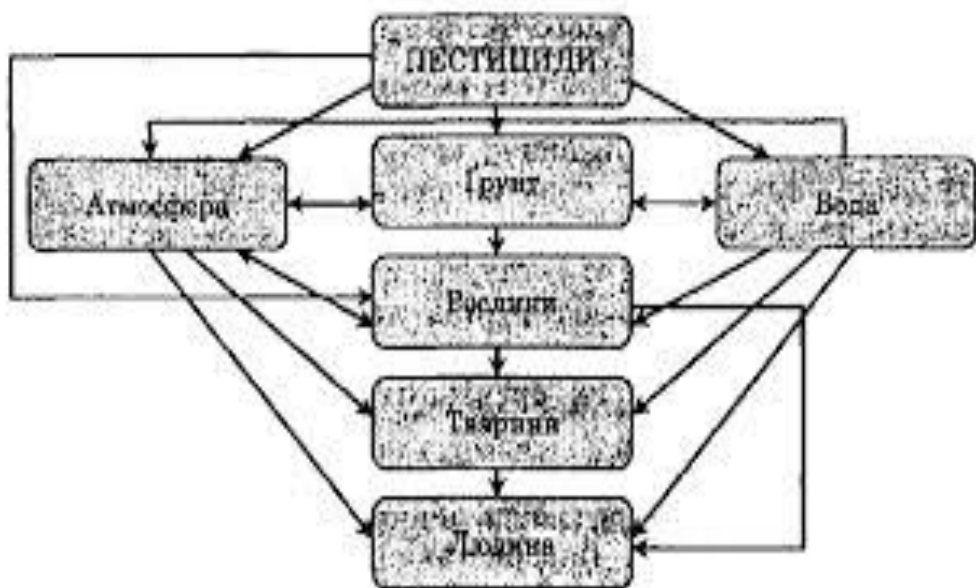


Рис. 1. Схема розповсюдження пестицидів у навколишньому середовищі

## Висновки до розділу 2

У результаті проведеного аналізу встановлено, що вплив пестицидів і мінеральних добрив на компоненти довкілля має комплексний, багатофакторний характер і охоплює всі основні природні середовища – ґрунти, водні ресурси, атмосферне повітря та біоту. Визначено, що об'єкт дослідження, представлений агроландшафтами півдня України, зокрема Миколаївської області, характеризується інтенсивним сільськогосподарським використанням, що зумовлює високий рівень антропогенного навантаження.

Доведено, що найбільш суттєвий вплив агрохімікатів проявляється у зміні властивостей ґрунтів. Надмірне внесення мінеральних добрив призводить до порушення балансу поживних елементів, підкислення, накопичення нітратів і важких металів, а також зниження вмісту гумусу. Встановлено, що застосування пестицидів сприяє накопиченню токсичних речовин у ґрунтах та пригніченню біологічної активності, що негативно впливає на їх родючість і екологічний стан.

Проаналізовано вплив агрохімікатів на водні ресурси та визначено, що основними шляхами їх надходження є поверхневий стік і інфільтрація. Встановлено, що мінеральні добрива спричиняють евтрофікацію водних об'єктів, а пестициди – токсичний вплив на водні організми. Особливо небезпечним є забруднення підземних вод нітратами, що становить загрозу для якості питної води та здоров'я населення.

З'ясовано, що вплив пестицидів і мінеральних добрив на атмосферне повітря проявляється через процеси випаровування та аерозольного перенесення, що сприяє їх поширенню за межі місця застосування. Встановлено, що агрохімікати негативно впливають на біоту, зокрема знижують біорізноманіття, порушують функціонування екосистем і сприяють процесам біоаккумуляції токсичних речовин.

Обґрунтовано, що вплив агрохімікатів на здоров'я людини реалізується через різні шляхи надходження – з повітрям, водою та продуктами

харчування. Визначено, що їх дія може спричиняти як гострі отруєння, так і хронічні захворювання, включаючи порушення функціонування органів і систем організму.

Таким чином, результати проведеного аналізу свідчать про значний негативний вплив пестицидів і мінеральних добрив на стан довкілля та здоров'я людини у разі їх нераціонального використання. Це зумовлює необхідність впровадження науково обґрунтованих систем землеробства, посилення екологічного контролю та застосування екологічно безпечних технологій з метою мінімізації антропогенного навантаження та забезпечення сталого розвитку аграрного сектору.

## РОЗДІЛ 3

### ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ ТА ШЛЯХИ ЗМЕНШЕННЯ НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ ПЕСТИЦИДІВ АБО МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ

#### 3.1. Оцінка екологічних ризиків і наслідків застосування пестицидів та мінеральних добрив у межах досліджуваної території

Оцінка екологічних ризиків є одним із базових напрямів сучасних екологічних досліджень, що спрямований на визначення ймовірності виникнення негативних наслідків у довкіллі внаслідок антропогенного впливу. У контексті застосування пестицидів і мінеральних добрив екологічний ризик розглядається як інтегральна характеристика, що поєднує небезпечні властивості хімічних речовин та рівень їх надходження у навколишнє середовище [22, с. 121].

Загальноприйнята методологія оцінки екологічного ризику включає кілька послідовних етапів: ідентифікацію небезпеки, оцінку впливу (експозиції), оцінку дозо-ефектних залежностей та характеристику ризику. На першому етапі визначаються потенційно небезпечні речовини, їх токсичні властивості, стійкість у довкіллі та здатність до накопичення [30, с. 131]. Для пестицидів важливими показниками є токсичність, період напіврозпаду та коефіцієнт біоаккумуляції, тоді як для мінеральних добрив – рівень міграції сполук азоту та фосфору.

Другий етап передбачає оцінку експозиції, тобто визначення шляхів і рівнів надходження забруднюючих речовин у компоненти довкілля. У цьому контексті враховуються такі фактори, як спосіб внесення агрохімікатів, кліматичні умови, властивості ґрунтів і гідрологічні особливості території [11, с. 112]. Особливу роль відіграють процеси вимивання, випаровування та поверхневого стоку, які визначають масштаби поширення забруднення.

На третьому етапі аналізується залежність між дозою речовини та її впливом на живі організми. Цей етап є ключовим для визначення гранично допустимих концентрацій і встановлення безпечних рівнів впливу. Для пестицидів особливе значення мають показники гострої та хронічної токсичності, а також мутагенні й канцерогенні властивості [18, с. 203].

Завершальним етапом є характеристика ризику, яка передбачає узагальнення отриманих даних і визначення рівня небезпеки для довкілля та здоров'я людини. У результаті оцінки ризик класифікується за ступенем небезпеки (низький, середній, високий), що дозволяє приймати управлінські рішення щодо обмеження або оптимізації використання агрохімікатів [22, с. 124].

Сучасні підходи до оцінки екологічних ризиків базуються на принципах сталого розвитку та передбачають врахування довгострокових наслідків впливу хімічних речовин. Особливу увагу приділяють кумулятивному ефекту, який проявляється у поступовому накопиченні забруднюючих речовин у довкіллі та їх впливі на екосистеми протягом тривалого часу [21, с. 205].

Важливим є також використання ризик-орієнтованого підходу в управлінні природокористуванням, який дозволяє не лише оцінювати існуючі екологічні проблеми, а й прогнозувати їх розвиток та запобігати негативним наслідкам. Це особливо актуально у сфері застосування пестицидів і мінеральних добрив, де навіть незначні порушення технологій можуть призводити до суттєвих екологічних ризиків [30, с. 133].

Таким чином, оцінка екологічних ризиків є комплексним процесом, що поєднує аналіз небезпеки, шляхів впливу та можливих наслідків використання агрохімікатів. Вона створює наукову основу для подальшого дослідження конкретних територій і дозволяє обґрунтувати заходи щодо зменшення негативного впливу пестицидів і мінеральних добрив на довкілля.

Оцінка екологічних ризиків є ключовим етапом дослідження впливу пестицидів та мінеральних добрив на довкілля, оскільки дозволяє визначити ймовірність виникнення негативних наслідків для природних компонентів і здоров'я людини, а також обґрунтувати ефективні заходи щодо їх мінімізації. У межах даної роботи оцінка екологічних ризиків здійснюється для агроландшафтів Тернопільської області, яка належить до зони лісостепу України та характеризується сприятливими умовами для розвитку сільського господарства.

Екологічний ризик у контексті використання агрохімікатів визначається як імовірність виникнення негативних змін у довкіллі або здоров'ї людини внаслідок впливу хімічних речовин. Він формується під впливом двох основних чинників – токсичності речовини та рівня її надходження у природне середовище [22, с. 120]. У випадку пестицидів важливе значення мають їх токсичність, стійкість і здатність до біоаккумуляції, тоді як для мінеральних добрив – рівень міграції сполук азоту та фосфору.

Тернопільська область характеризується помірно-континентальним кліматом із достатньою кількістю опадів (550–650 мм на рік), що створює сприятливі умови для інтенсивного землеробства. Основними ґрунтами є чорноземи опідзолені, сірі та темно-сірі лісові ґрунти, які відзначаються високою родючістю. Водночас такі умови сприяють активному використанню мінеральних добрив і пестицидів, що підвищує рівень антропогенного навантаження на довкілля [17, с. 102].

Оцінка ризиків для ґрунтів показує, що найбільш суттєвими є процеси накопичення нітратів, залишків пестицидів і, частково, важких металів. Надмірне внесення азотних добрив призводить до порушення біогеохімічних циклів і підвищення концентрації нітратів у ґрунті. У лісостеповій зоні, де спостерігається достатнє зволоження, ці сполуки активно вимиваються, що підвищує ризик їх потрапляння у водні ресурси [19, с. 207].

Пестициди, що застосовуються на території області, можуть накопичуватися у верхньому шарі ґрунту та негативно впливати на ґрунтову біоту. Зниження активності мікроорганізмів призводить до порушення процесів гумусоутворення та зменшення родючості ґрунтів. У довгостроковій перспективі це може спричиняти деградацію ґрунтового покриву [18, с. 204].

Оцінка ризиків для водних ресурсів свідчить про значну ймовірність їх забруднення, що обумовлено гідрологічними особливостями регіону. Тернопільська область має розвинену річкову мережу (річки Дністер, Серет, Збруч), що сприяє швидкому поширенню забруднюючих речовин. В умовах достатнього зволоження процеси поверхневого стоку та інфільтрації є інтенсивними, що підвищує ризик потрапляння агрохімікатів у водні об'єкти [24, с. 228].

Особливо небезпечним є забруднення підземних вод нітратами, які характеризуються високою рухливістю. Вони можуть проникати у водоносні горизонти та потрапляти у системи питного водопостачання. Це становить серйозну загрозу для здоров'я населення, особливо в сільській місцевості, де широко використовуються індивідуальні джерела водопостачання [8, с. 158].

Аналіз ризиків для атмосферного повітря показує, що основними джерелами забруднення є випаровування пестицидів і виділення газоподібних сполук азоту. У кліматичних умовах Тернопільської області ці процеси мають помірний характер, однак можуть посилюватися у періоди високих температур і активного внесення добрив [19, с. 211].

Ризики для біоти проявляються через токсичний вплив пестицидів на рослини, тварин і мікроорганізми. Особливо чутливими є комахи-запилювачі, зниження чисельності яких негативно впливає на агроєкосистеми. Крім того, пестициди можуть накопичуватися у живих організмах, що створює ризик біоаккумуляції та біомагніфікації [18, с. 206].

Оцінка ризиків для здоров'я людини показує, що основними шляхами надходження агрохімікатів є споживання забрудненої води та продуктів

харчування. Умови регіону, де широко розвинене сільське господарство, сприяють формуванню підвищених ризиків для населення. Тривалий вплив навіть незначних концентрацій пестицидів може призводити до розвитку хронічних захворювань [28, с. 31].

Для досліджуваної території характерний переважно середній рівень екологічного ризику, однак у зонах інтенсивного землеробства він може набувати високого рівня. Це пов'язано з поєднанням природних умов (достатнє зволоження, розвинена гідромережа) та антропогенних факторів (активне застосування агрохімікатів) [22, с. 126].

Слід також враховувати кумулятивний ефект, який проявляється у накопиченні забруднюючих речовин у довкіллі протягом тривалого часу. У таких умовах навіть незначні перевищення норм внесення можуть призводити до суттєвого погіршення екологічного стану території [21, с. 208].

Таким чином, оцінка екологічних ризиків показує, що застосування пестицидів і мінеральних добрив у межах Тернопільської області супроводжується значними екологічними наслідками, які охоплюють усі компоненти довкілля. Основними проявами цього впливу є забруднення ґрунтів і вод, зниження біорізноманіття та підвищення ризиків для здоров'я населення.

Отже, результати оцінки свідчать про необхідність впровадження ефективних заходів щодо зменшення негативного впливу агрохімікатів, зокрема вдосконалення системи екологічного контролю, оптимізації норм внесення добрив і пестицидів та розвитку екологічно безпечних технологій землеробства.

### **3.2. Моніторинг забруднення довкілля та екологічний контроль у системі застосування агрохімікатів**

Моніторинг забруднення довкілля та екологічний контроль є ключовими інструментами забезпечення екологічної безпеки у сфері використання пестицидів і мінеральних добрив. В умовах інтенсивного аграрного виробництва саме систематичне спостереження за станом природного середовища та контроль за дотриманням екологічних норм дозволяють своєчасно виявляти негативні тенденції, оцінювати ризики та впроваджувати ефективні заходи щодо їх мінімізації [11, с. 105].

Екологічний моніторинг у сфері застосування агрохімікатів являє собою комплексну систему спостережень, оцінювання та прогнозування змін стану довкілля під впливом пестицидів і добрив. Його основною метою є отримання достовірної інформації про рівень забруднення та виявлення джерел негативного впливу [22, с. 128]. Моніторинг охоплює всі основні компоненти довкілля – ґрунти, водні ресурси, атмосферне повітря та біоту.

Моніторинг ґрунтів передбачає визначення вмісту залишкових кількостей пестицидів, концентрації нітратів, важких металів, рівня кислотності та інших показників. Ці дані дозволяють оцінити ступінь деградації ґрунтів і визначити ефективність застосування агрохімікатів [17, с. 99]. Особливу увагу приділяють динаміці змін показників у часі, що дає змогу прогнозувати подальший розвиток екологічної ситуації.

Моніторинг водних ресурсів включає дослідження поверхневих і підземних вод на вміст нітратів, фосфатів і пестицидів. Важливим є контроль якості питної води, оскільки її забруднення становить безпосередню загрозу для здоров'я населення [24, с. 225]. Для цього використовуються як лабораторні аналізи, так і автоматизовані системи спостереження.

Моніторинг атмосферного повітря спрямований на визначення концентрації летких органічних сполук, аміаку, оксидів азоту та інших забруднюючих речовин, що утворюються внаслідок використання агрохімікатів. Ці дані дозволяють оцінити рівень забруднення повітря та його вплив на екосистеми і людину [5, с. 168].

Біологічний моніторинг є важливою складовою системи спостережень, оскільки дозволяє оцінити вплив агрохімікатів на живі організми. Він включає дослідження стану рослинності, чисельності та різноманіття тварин, а також активності ґрунтових мікроорганізмів [18, с. 210]. Зміни цих показників можуть свідчити про негативний вплив пестицидів і добрив навіть за відсутності значних концентрацій у середовищі.

Ефективність моніторингу значною мірою залежить від організації спостережень. В Україні функціонує державна система екологічного моніторингу, яка передбачає координацію діяльності різних органів влади та установ. До них належать Міністерство економіки, довілля і сільського господарства України, Державна екологічна інспекція, Держпродспоживслужба, а також інші установи, що здійснюють контроль у сфері охорони довкілля [22, с. 132].

Екологічний контроль є невід'ємною складовою системи управління використанням агрохімікатів. Він передбачає перевірку дотримання законодавчих вимог, норм і стандартів, а також застосування заходів впливу у разі їх порушення. Основними формами контролю є державний, виробничий і громадський контроль [6, с. 220].

Державний контроль здійснюється уповноваженими органами і включає проведення перевірок, аналіз документації, відбір проб та лабораторні дослідження. У разі виявлення порушень можуть застосовуватися адміністративні та економічні санкції, включаючи штрафи, припинення діяльності та інші заходи [22, с. 135].

Виробничий контроль здійснюється безпосередньо на підприємствах і передбачає дотримання технологічних регламентів, контроль за якістю агрохімікатів і умовами їх зберігання та застосування. Це дозволяє запобігти виникненню екологічних проблем на ранніх стадіях [19, с. 212].

Громадський контроль базується на участі громадськості у вирішенні екологічних питань. Він включає діяльність екологічних організацій, засобів

масової інформації та окремих громадян, які здійснюють спостереження за станом довкілля та інформують про порушення [22, с. 138].

Важливим елементом екологічного контролю є встановлення нормативів, зокрема гранично допустимих концентрацій (ГДК) забруднюючих речовин у різних компонентах довкілля. Дотримання цих нормативів є обов'язковою умовою безпечного використання агрохімікатів [8, с. 160].

Сучасні підходи до моніторингу та контролю передбачають використання інформаційних технологій, зокрема геоінформаційних систем (ГІС), дистанційного зондування Землі та автоматизованих систем збору даних. Це дозволяє підвищити точність і оперативність отримання інформації, а також забезпечити ефективне управління природними ресурсами [11, с. 110].

Важливим напрямом є інтеграція моніторингових даних у систему прийняття управлінських рішень. Аналіз отриманої інформації дозволяє визначати пріоритетні напрями екологічної політики, розробляти заходи щодо зменшення негативного впливу агрохімікатів і оцінювати ефективність їх реалізації [30, с. 134].

Особливу увагу слід приділити проблемам функціонування системи моніторингу та контролю. До них належать недостатнє фінансування, застаріле обладнання, відсутність єдиної інформаційної бази, а також недостатній рівень координації між різними органами [22, с. 140]. Подолання цих проблем є важливою умовою підвищення ефективності екологічного управління.

Таким чином, моніторинг забруднення довкілля та екологічний контроль є необхідними складовими системи управління використанням пестицидів і мінеральних добрив. Вони забезпечують отримання об'єктивної інформації про стан довкілля, дозволяють виявляти порушення та впроваджувати заходи щодо їх усунення.

Отже, ефективна система моніторингу та контролю є важливим інструментом забезпечення екологічної безпеки, збереження природних ресурсів і сталого розвитку аграрного сектору.

### **3.3. Природоохоронні заходи щодо зниження негативного впливу пестицидів та мінеральних добрив**

Зниження негативного впливу пестицидів та мінеральних добрив на довкілля є одним із пріоритетних напрямів сучасної екологічної політики та практики природокористування. В умовах Тернопільської області, яка характеризується інтенсивним розвитком сільського господарства, високою родючістю ґрунтів та достатнім рівнем зволоження, впровадження природоохоронних заходів має особливе значення. Це пов'язано з тим, що саме природні умови регіону сприяють як підвищенню ефективності агровиробництва, так і посиленню процесів міграції агрохімікатів у довкіллі.

Комплекс природоохоронних заходів має базуватися на принципах сталого розвитку, раціонального природокористування та екологічної безпеки. Основними напрямками зниження негативного впливу агрохімікатів є оптимізація їх використання, впровадження альтернативних технологій, удосконалення системи моніторингу та підвищення екологічної свідомості виробників.

Одним із найважливіших заходів є **оптимізація норм і строків внесення мінеральних добрив**. Умови Тернопільської області, де спостерігається достатнє зволоження, сприяють активному вимиванню нітратів у ґрунті та підземні води. Тому внесення азотних добрив повинно здійснюватися з урахуванням потреб рослин, агрохімічних властивостей ґрунту та прогнозу погодних умов [19, с. 214]. Застосування дрібного внесення добрив дозволяє зменшити втрати поживних речовин і знизити ризик забруднення довкілля.

Важливим напрямом є **впровадження науково обґрунтованих систем удобрення**, які передбачають поєднання мінеральних і органічних добрив (рис. 2). Використання органічної речовини (гною, компостів, сидератів) сприяє підвищенню вмісту гумусу, покращенню структури ґрунту та зменшенню потреби у мінеральних добривах [17, с. 104]. Це особливо актуально для чорноземів і сірих лісових ґрунтів Тернопільської області, які зазнають поступової деградації при інтенсивному використанні.



**Рис. 2. Екологічні наслідки використання добрив**

Значну роль відіграє **використання сучасних технологій точного землеробства**, які дозволяють оптимізувати застосування агрохімікатів. Використання GPS-навігації, датчиків стану ґрунту та рослин, а також автоматизованих систем внесення добрив і пестицидів забезпечує точне дозування і зменшує їх надлишкове використання [11, с. 115]. Це дозволяє знизити антропогенне навантаження на довкілля та підвищити економічну ефективність виробництва.

Важливим природоохоронним заходом є **зменшення використання пестицидів шляхом впровадження інтегрованого захисту рослин**. Цей підхід передбачає поєднання агротехнічних, біологічних і хімічних методів боротьби зі шкідниками. Зокрема, використання стійких сортів рослин, дотримання сівозмін, механічний обробіток ґрунту та застосування

біопрепаратів дозволяють значно знизити потребу у хімічних засобах [30, с. 136].

Умови Тернопільської області сприятливі для розвитку **біологічних методів захисту рослин**, оскільки помірний клімат і достатня вологість створюють умови для ефективного використання ентомофагів і мікробіологічних препаратів. Це дозволяє зменшити використання токсичних пестицидів і знизити ризики для біоти.

Важливим напрямом є **створення захисних (буферних) смуг уздовж водних об'єктів**. Такі смуги, засаджені трав'янистою або деревною рослинністю, виконують функцію природного бар'єра, який затримує агрохімікати і запобігає їх потраплянню у річки та водойми [24, с. 230]. Це особливо актуально для території Тернопільської області з розвинутою гідромережею.

З метою зниження забруднення водних ресурсів доцільно впроваджувати **системи раціонального зрошення та дренажу**, які запобігають надмірному вимиванню поживних речовин. Контроль за режимом зволоження дозволяє зменшити втрати добрив і знизити рівень їх міграції у водні об'єкти [19, с. 217].

Важливим є також **удосконалення системи зберігання і транспортування пестицидів та добрив**. Неправильне зберігання агрохімікатів може призводити до їх потрапляння у ґрунт і воду, що створює локальні осередки забруднення. Тому необхідно забезпечити дотримання санітарних норм, використання герметичних контейнерів і спеціально обладнаних складів [6, с. 224].

Значну роль у зниженні негативного впливу відіграє **екологічний моніторинг і контроль**, які дозволяють своєчасно виявляти порушення та оцінювати ефективність природоохоронних заходів. У Тернопільській області доцільно розширити мережу спостережень за станом ґрунтів і водних ресурсів, а також впроваджувати сучасні методи аналізу та обробки даних [22, с. 142].

Перспективним напрямом є **розвиток органічного землеробства**, яке передбачає відмову від використання синтетичних пестицидів і мінеральних добрив. У регіоні існують сприятливі умови для розвитку цього напрямку, що дозволяє зменшити антропогенне навантаження та підвищити екологічну безпеку аграрного виробництва [30, с. 139].

Не менш важливим є **підвищення рівня екологічної освіти та обізнаності аграріїв**. Навчання сучасним екологічно безпечним технологіям, дотримання правил використання агрохімікатів та впровадження інноваційних підходів дозволяють суттєво зменшити ризики для довкілля і здоров'я людини [21, с. 210].

Важливим заходом є також **економічне стимулювання екологічно безпечного виробництва**, яке передбачає надання державної підтримки господарствам, що впроваджують природоохоронні технології. Це може включати податкові пільги, субсидії та інші механізми підтримки [15, с. 132].

Таким чином, природоохоронні заходи щодо зниження негативного впливу пестицидів і мінеральних добрив повинні мати комплексний характер і включати технологічні, організаційні, економічні та освітні аспекти. Їх реалізація у Тернопільській області дозволить зменшити рівень забруднення довкілля, підвищити ефективність використання природних ресурсів і забезпечити сталий розвиток аграрного сектору.

Отже, впровадження сучасних екологічно безпечних технологій і систем управління природокористуванням є необхідною умовою мінімізації негативного впливу агрохімікатів та збереження природного потенціалу регіону.

**3.4. Перспективи екологізації агровиробництва: органічне землеробство, інтегрований захист рослин, оптимізація систем удобрення**

Екологізація агровиробництва є одним із ключових напрямів забезпечення сталого розвитку сільського господарства в сучасних умовах. Вона передбачає зменшення негативного впливу господарської діяльності на довкілля, раціональне використання природних ресурсів та впровадження екологічно безпечних технологій. Особливо актуальним це питання є для регіонів із розвиненим аграрним сектором, зокрема для Тернопільської області, де інтенсивне землеробство поєднується з високим природним потенціалом.

Одним із основних напрямів екологізації є розвиток **органічного землеробства**, яке базується на відмові від використання синтетичних пестицидів і мінеральних добрив. Органічне виробництво передбачає застосування природних методів підвищення родючості ґрунтів, таких як використання органічних добрив, сидератів, біологічних препаратів та сівозмін [30, с. 141]. Умови Тернопільської області, зокрема наявність родючих ґрунтів і сприятливого клімату, створюють передумови для активного розвитку цього напрямку.

Перевагами органічного землеробства є зменшення рівня забруднення ґрунтів і вод, підвищення біорізноманіття, покращення якості продукції та збереження природної родючості ґрунтів. Водночас цей напрям потребує значних організаційних і технологічних змін, а також державної підтримки, зокрема у вигляді сертифікації та стимулювання виробників [15, с. 135].

Іншим важливим напрямом екологізації є **інтегрований захист рослин (ІЗР)**, який передбачає комплексне використання різних методів боротьби зі шкідниками з мінімальним застосуванням хімічних засобів. Основними складовими ІЗР є агротехнічні, біологічні, механічні та, за необхідності, хімічні методи [21, с. 212]. Такий підхід дозволяє зменшити пестицидне навантаження на довкілля і водночас забезпечити ефективний захист культур (рис. 3).



**Рис. 3. Синергія методів для стійкого захисту рослин**

У межах інтегрованого захисту рослин важливе значення має використання стійких сортів, дотримання сівозмін, оптимізація строків посіву та обробітку ґрунту. Біологічні методи передбачають використання ентомофагів, мікроорганізмів та біопрепаратів, які знижують чисельність шкідників без шкоди для довкілля [18, с. 212]. У Тернопільській області ці методи можуть бути ефективно реалізовані завдяки сприятливим природним умовам.

Важливим напрямом є також **оптимізація систем удобрення**, яка передбачає раціональне використання мінеральних і органічних добрив. Основною метою є забезпечення потреб рослин у поживних речовинах при мінімальному негативному впливі на довкілля. Для цього застосовуються методи агрохімічного аналізу ґрунтів, що дозволяють визначити необхідні норми внесення добрив [19, с. 220].

Сучасні підходи до удобрення включають використання **точного землеробства**, яке базується на застосуванні цифрових технологій, геоінформаційних систем та автоматизованих засобів управління. Це дозволяє вносити добрива з урахуванням просторової неоднорідності ґрунтів, що підвищує ефективність їх використання і знижує втрати [11, с. 118].

Важливим аспектом є використання **органо-мінеральних систем удобрення**, які поєднують переваги органічних і мінеральних добрив. Такий підхід дозволяє підтримувати баланс поживних речовин, підвищувати вміст гумусу і зменшувати ризик забруднення довкілля [17, с. 107]. Умови Тернопільської області є сприятливими для впровадження таких систем.

Перспективним напрямом є застосування **інноваційних добрив**, зокрема повільнодіючих і стабілізованих форм азоту, які зменшують втрати поживних речовин і підвищують ефективність їх використання. Це дозволяє знизити рівень вимивання нітратів і зменшити негативний вплив на водні ресурси [19, с. 223].

Не менш важливим є розвиток **агроекологічних технологій**, які передбачають інтеграцію екологічних принципів у всі етапи агровиробництва. До них належать мінімальний обробіток ґрунту, мульчування, використання покривних культур та інші методи, що сприяють збереженню ґрунтової структури та зменшенню ерозії [21, с. 215].

Важливу роль у процесі екологізації відіграє **державна політика та міжнародні стандарти**, які стимулюють впровадження екологічно безпечних технологій. У рамках європейської інтеграції Україна адаптує своє законодавство до вимог ЄС, зокрема у сфері сталого використання пестицидів і розвитку органічного виробництва [30, с. 145].

Значним фактором є також **економічна доцільність екологізації**, оскільки впровадження нових технологій потребує інвестицій. Водночас довгострокові вигоди, такі як підвищення родючості ґрунтів, зменшення витрат на агрохімікати та покращення якості продукції, роблять ці заходи економічно виправданими [15, с. 138].

Важливим напрямом є **підвищення рівня екологічної освіти та підготовки кадрів**, що дозволяє забезпечити ефективне впровадження нових технологій. Навчання аграріїв сучасним методам екологічного землеробства сприяє зниженню негативного впливу на довкілля [21, с. 217].

Слід також враховувати роль **наукових досліджень і інновацій**, які забезпечують розробку нових екологічно безпечних технологій. Впровадження результатів наукових досліджень у практику є важливою умовою підвищення ефективності агровиробництва та зменшення його негативного впливу [11, с. 120].

Таким чином, перспективи екологізації агровиробництва пов'язані з комплексним впровадженням органічного землеробства, інтегрованого захисту рослин та оптимізації систем удобрення (рис. 4). Умови Тернопільської області створюють сприятливі передумови для реалізації цих заходів, що дозволяє зменшити антропогенне навантаження та забезпечити сталий розвиток аграрного сектору.

Отже, екологізація агровиробництва є необхідною умовою збереження природного потенціалу, підвищення якості продукції та забезпечення екологічної безпеки. Її реалізація потребує комплексного підходу, що поєднує наукові, технологічні, економічні та соціальні аспекти.



**Рис. 4. Складові системи органічного рослинництва**

### Висновки до розділу 3

У результаті проведеного дослідження встановлено, що оцінка екологічних ризиків, моніторинг стану довкілля та впровадження природоохоронних заходів є ключовими складовими забезпечення екологічної безпеки у сфері використання пестицидів і мінеральних добрив. З'ясовано, що на території Тернопільської області екологічні ризики формуються під впливом поєднання природних умов і антропогенних факторів, серед яких провідне місце займає інтенсивне застосування агрохімікатів.

Встановлено, що найбільш суттєві екологічні ризики пов'язані із забрудненням ґрунтів і водних ресурсів, накопиченням нітратів та залишкових кількостей пестицидів, а також зниженням біологічної активності ґрунтів. Визначено, що в умовах достатнього зволоження та розвиненої гідромережі регіону підвищується ймовірність міграції забруднюючих речовин, що посилює негативний вплив на довкілля та здоров'я населення.

Доведено, що ефективна система екологічного моніторингу та контролю є необхідною умовою своєчасного виявлення забруднення та запобігання його поширенню. Водночас встановлено, що існуюча система потребує вдосконалення, зокрема у напрямі розширення мережі спостережень, впровадження сучасних технологій та підвищення рівня координації між відповідними органами.

Обґрунтовано, що зниження негативного впливу пестицидів і мінеральних добрив можливе лише за умови впровадження комплексу природоохоронних заходів, які включають оптимізацію норм їх застосування, використання органічних і біологічних методів, створення захисних смуг та удосконалення технологій землеробства. Особливе значення має впровадження інтегрованого підходу до управління агроєкосистемами.

Визначено, що перспективи екологізації агровиробництва пов'язані з розвитком органічного землеробства, інтегрованого захисту рослин та оптимізації систем удобрення. Умови Тернопільської області є сприятливими для реалізації цих напрямів, що дозволяє зменшити антропогенне навантаження на довкілля та підвищити ефективність використання природних ресурсів.

Таким чином, результати дослідження свідчать про необхідність переходу до екологічно орієнтованих моделей агровиробництва, які забезпечують баланс між економічною ефективністю та збереженням довкілля. Реалізація запропонованих заходів сприятиме зниженню екологічних ризиків, покращенню стану природних ресурсів і забезпеченню сталого розвитку аграрного сектору регіону.

## ВИСНОВКИ

У результаті виконаного дослідження комплексно проаналізовано вплив пестицидів та мінеральних добрив на довкілля, визначено основні закономірності їх взаємодії з компонентами природного середовища, оцінено екологічні ризики та обґрунтовано напрями зниження негативного впливу агрохімікатів у сучасних умовах. Проведене дослідження дозволяє сформулювати такі узагальнені висновки.

Встановлено, що пестициди та мінеральні добрива є важливими чинниками антропогенного впливу на довкілля, які, з одного боку, забезпечують інтенсифікацію сільськогосподарського виробництва, а з іншого – створюють значні екологічні ризики. Їх використання призводить до зміни природних процесів у ґрунтах, водних об'єктах, атмосферному повітрі та біоті, що порушує екологічну рівновагу та негативно впливає на стан навколишнього середовища.

З'ясовано, що основними джерелами надходження агрохімікатів у довкілля є сільськогосподарська діяльність, зокрема внесення добрив і застосування пестицидів, а також порушення правил їх зберігання, транспортування та утилізації. Визначено, що ключовими шляхами міграції цих речовин є ґрунтовий, водний та атмосферний перенос, які забезпечують їх поширення на значні території та формування комплексного характеру забруднення.

Доведено, що пестициди та мінеральні добрива істотно впливають на стан ґрунтів, змінюючи їх фізико-хімічні та біологічні властивості. Надмірне внесення мінеральних добрив спричиняє порушення балансу поживних речовин, підкислення ґрунтів, накопичення нітратів і важких металів. Застосування пестицидів призводить до накопичення токсичних речовин та пригнічення ґрунтової мікрофлори, що негативно впливає на родючість і екологічний стан ґрунтів.

Встановлено, що водні ресурси є одним із найбільш уразливих компонентів довкілля щодо впливу агрохімікатів. Потрапляння нітратів і пестицидів у поверхневі та підземні води призводить до їх забруднення, погіршення якості питної води та розвитку процесів евтрофікації. Особливо небезпечним є забруднення підземних вод, яке має довготривалий характер і безпосередньо впливає на здоров'я населення.

Визначено, що вплив пестицидів і мінеральних добрив на атмосферне повітря проявляється через процеси випаровування, аерозольного перенесення та утворення газоподібних сполук. Це сприяє поширенню забруднюючих речовин за межі місця їх застосування та формуванню регіонального і навіть глобального характеру екологічних проблем.

Доведено, що агрохімікати мають суттєвий вплив на біоту, зокрема знижують біорізноманіття, порушують екологічні зв'язки та сприяють процесам біоаккумуляції токсичних речовин. Це призводить до негативних змін у функціонуванні екосистем і зниження їх стійкості до зовнішніх впливів.

Встановлено, що вплив пестицидів і мінеральних добрив на здоров'я людини реалізується через різні шляхи надходження – з повітрям, водою та продуктами харчування. Визначено, що їх дія може спричиняти як гострі отруєння, так і хронічні захворювання, включаючи порушення функціонування нервової, ендокринної та імунної систем.

Проаналізовано нормативно-правове регулювання використання агрохімікатів в Україні та встановлено, що воно базується на системі законодавчих і підзаконних актів, які визначають вимоги до їх застосування. Водночас виявлено необхідність подальшої гармонізації національного законодавства з міжнародними стандартами та підвищення ефективності контролю за дотриманням екологічних норм.

Визначено, що оцінка екологічного впливу пестицидів і мінеральних добрив здійснюється на основі комплексного підходу, який включає екологічний моніторинг, екотоксикологічні дослідження, ризик-орієнтовані

методи та моделювання. Застосування цих підходів дозволяє отримати об'єктивну інформацію про стан довкілля та прогнозувати можливі наслідки використання агрохімікатів.

Встановлено, що для території Тернопільської області характерний середній, а в окремих випадках – підвищений рівень екологічних ризиків, що зумовлено поєднанням природних умов (достатнє зволоження, розвинена гідромережа) та інтенсивного використання агрохімікатів. Особливу небезпеку становлять процеси вимивання нітратів і потрапляння пестицидів у водні ресурси.

Обґрунтовано, що ефективна система моніторингу та екологічного контролю є необхідною умовою зниження негативного впливу агрохімікатів. Водночас виявлено проблеми її функціонування, зокрема недостатній рівень технічного забезпечення, координації та фінансування, що потребує вдосконалення.

Визначено, що зниження негативного впливу пестицидів і мінеральних добрив можливе лише за умови впровадження комплексу природоохоронних заходів, які включають оптимізацію норм їх застосування, використання органічних і біологічних методів, створення захисних смуг, удосконалення систем удобрення та підвищення екологічної свідомості аграріїв.

Встановлено, що перспективи екологізації агровиробництва пов'язані з розвитком органічного землеробства, інтегрованого захисту рослин та застосуванням сучасних технологій точного землеробства. Реалізація цих напрямів дозволяє зменшити антропогенне навантаження на довкілля та підвищити ефективність використання природних ресурсів.

Доведено, що впровадження екологічно безпечних технологій є економічно доцільним у довгостроковій перспективі, оскільки сприяє збереженню родючості ґрунтів, підвищенню якості продукції та зниженню витрат на агрохімікати.

Таким чином, результати дослідження свідчать про необхідність переходу до екологічно орієнтованих моделей сільськогосподарського

виробництва, які забезпечують баланс між економічною ефективністю та збереженням довкілля. Реалізація запропонованих заходів сприятиме зниженню екологічних ризиків, покращенню стану природних ресурсів і забезпеченню сталого розвитку аграрного сектору.

Отже, досягнення екологічної безпеки у сфері використання пестицидів і мінеральних добрив можливе лише за умови комплексного підходу, що поєднує наукові дослідження, ефективне нормативно-правове регулювання, сучасні технології та підвищення екологічної відповідальності суспільства.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Андрущенко В. П., Савченко С. І. Екологія. Київ: Центр навчальної літератури, 2020. 456 с.
2. Бабенко О. І. Агроекологія. Київ: Ліра-К, 2019. 380 с.
3. Барна І., Сяміо Н. Органічне землеробство як інструмент збереження ґрунтів. Моделювання еколого-географічних систем : матеріали звітної наукової конференції викладачів, аспірантів, магістрантів, студентів кафедри геоекології та методики навчання екологічних дисциплін та НДЛ. Тернопіль : ТНПУ ім. В. Гнатюка, 2024. С. 10-26
4. Бурда А. Ю., Бунякіна Н. В., Дрючко О. Г. Пестициди, їх вплив на довкілля та здоров'я людини. Екологія. Довкілля. Енергозбереження – 2024. Полтава, 2024. С. 78–81.
5. Бурда А. Ю., Дрючко О. Г. Вплив мінеральних добрив на довкілля та здоров'я людини. Полтава, 2024. С. 182–185.
6. Величко О. М. Екологічна безпека аграрного виробництва. Харків: Факт, 2021. 312 с.
7. Герасименко І. В. Охорона навколишнього середовища. Київ: Каравела, 2019. 420 с.
8. Голік Ю. С. Основи екології. Львів: Новий Світ, 2020. 360 с.
9. Гончарук Є. І. Гігієна навколишнього середовища. Київ: Здоров'я, 2018. 728 с.
10. Грицак Л.Р., Барна І.М. Екологічна оцінка застосування пестицидів на землях Тернопільської області. *Родючість ґрунтів як основа ефективного землекористування*: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції 10-11 грудня 2019 р. Київ : НУБІП України. 2019. С.23-25.
11. Державна служба статистики України. Сільське господарство України 2023. Київ, 2024.
12. Іщенко В. А. Ресурсний потенціал непридатних пестицидів. Вісник ВНТУ. 2025.

13. Коваленко О. І. Екологічний моніторинг. Київ: Академія, 2021. 280 с.
14. Кучерявий В. П. Екологія. Львів: Світ, 2021. 520 с.
15. Лісовий М. М. Агрохімія. Київ: Урожай, 2019. 410 с.
16. Мартіянова Ю. В. Гігієнічна оцінка впливу пестицидів. Дисертація. 2025.
17. Мельник Л. Г. Екологічна економіка. Суми: Університетська книга, 2020. 384 с.
18. Національна доповідь про стан довкілля в Україні 2021. Київ, 2023.
19. Патица В. П. Екологія ґрунтів. Київ: Урожай, 2018. 256 с.
20. Протасов А. А. Біологічні основи екології. Київ: Логос, 2019. 408 с.
21. Рибалко О. І. Агроєкологія та раціональне природокористування. Київ: Центр учбової літератури, 2022. 350 с.
22. Стегній О. Г. Екологічна громадська думка. 2024.
23. Фурдичко О. І. Агроєкологія. Київ: Аграрна наука, 2021. 500 с.
24. Хвесик М. А. Екологічна політика України. Київ: Наукова думка, 2020. 360 с.
25. Шевчук В. Я. Основи екології. Київ: Либідь, 2019. 368 с.
26. Яцик А. В. Водні ресурси України. Київ: Генеза, 2020. 320 с.
- 26.FAO. Pesticide Residues in Food. Rome, 2022.
- 27.FAO. The State of the World's Land and Water Resources. Rome, 2021.
- 28.WHO. Guidelines for Drinking-water Quality. Geneva, 2022.
- 29.WHO. Public health impact of pesticides. Geneva, 2020.
- 30.UNEP. Global Chemicals Outlook II. Nairobi, 2019.
- 31.OECD. Environmental Indicators for Agriculture. Paris, 2021.
- 32.European Commission. Farm to Fork Strategy. Brussels, 2020.
- 33.European Environment Agency. Water pollution by nitrates. Copenhagen, 2022.
- 34.Pimentel D. Environmental impacts of pesticides. New York, 2019.
- 35.Pretty J. Agricultural sustainability. London, 2020.
- 36.Tilman D. Agricultural sustainability and intensive production. Nature, 2020.
- 37.Postigo C. et al. Monitoring pesticide pollution in water. 2020.

38. Garcia-Galan M. J. Bioremediation of pesticide-contaminated water. 2020.
39. Isikgor F. Lignocellulosic biomass and sustainable development. 2016.
40. Ortiz-Bobea A. Climate change and agriculture productivity. 2020.
41. Zinchuk T. Sustainable agriculture models. 2022.
42. Azarov V., Kharlamova G. Environmental sustainability research. 2020.
43. Study of pesticide migration in soils and groundwater. 2024.