

ПРОЄКТУВАННЯ БАЗИ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ ДЛЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМ ОРГАНІЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА

І.С. Кузьменко^{1,2}, А.А. Москаленко², Б.Б. Заячківська²

¹ДУ «Держгрунтохорона» (м. Київ, Україна)

e-mail: nessi_ku@ukr.net; ORCID: 0000-0002-7607-9435

²Національний університет біоресурсів і природокористування України
(м. Київ, Україна)

e-mail: moskalenko_a@nubip.edu.ua; ORCID: 0000-0001-7538-8044

e-mail: b_zayachkivska@nubip.edu.ua; ORCID: 0009-0003-0962-5998

Цифрова трансформація та впровадження геоінформаційних технологій є критично важливими для менеджменту органічного землеробства. Зважаючи на глобальні виклики, як-от зміна клімату, деградація ґрунтів, воєнні дії та потреби сертифікації органічної продукції, актуалізується необхідність у створенні автоматизованої геоінформаційної системи і бази даних земельних ресурсів, придатних до агрохімічних органічної продукції. Об'єктом дослідження є процес інформаційного забезпечення систем органічного землеробства. Предметом дослідження є проєктування бази геопросторових даних як інструменту для систематизації та аналізу інформації про якість ґрунтів. Методологія дослідження базувалася на комплексному підході до збору, структурування та аналізу просторових і атрибутивних даних, а також на розробці концептуальної та функціональної моделей бази геопросторових даних. Підхід передбачає інтеграцію нормативно-правових вимог (зокрема, щодо сертифікації та взаємодії з Держпродспоживслужбою та реєстрами) із даними польових замірів, агрохімічних аналізів та інформацією з державних кадастрів. Отримані результати демонструють розроблену структуровану модель бази геопросторових даних, яка передбачає автоматизовану перевірку заявок суб'єктів господарювання на відповідність відомостям ЄДР, Державного реєстру речових прав і Державного земельного кадастру (ДЗК), інтеграцію інформації про фізико-хімічні характеристики ґрунту, рівень забруднення (важкі метали, пестициди, радіонукліди) та обмеження, спричинені військовими діями й сусідством звичайних землекористувачів, а також функціональні можливості для формування тематичних шарів і карт, візуалізації зон моніторингу динаміки зміни показників у довгостроковій перспективі. Практична значущість роботи полягає у створенні ефективного цифрового інструменту, який підвищує достовірність агроекологічних оцінок, мінімізує вплив людського чинника, сприяє науково обґрунтованому управлінню земельними ресурсами для органічного землеробства та забезпечує прозорість процесу сертифікації для всіх учасників ринку.

Ключові слова: моніторинг ґрунтів, агроекологічна оцінка, ГІС-технології, база геоданих, концептуальна модель, інформаційне забезпечення.

ВСТУП

Продовольча та сільськогосподарська організація Об'єднаних Націй (FAO) на сучасному етапі активно реалізує стратегічну програму дій, спрямовану на адаптацію аграрного сектору до наслідків змін клімату. Ключовим елементом цієї стратегії є трансформація агропродовольчих систем у напрямі інноваційного, переважно

вуглецево-нейтрального та кліматично оптимізованого агровиробництва. Важливою складовою такої трансформації постає кліматично орієнтоване сільське господарство, яке передбачає впровадження сталих практик землекористування, зниження викидів парникових газів і підвищення адаптивного потенціалу аграрних екосистем, що просторово досліджується геоінформаційними технологіями [1].

У сучасних умовах розвитку сільського господарства особливої уваги набуває органічне землеробство як складова сталого агровиробництва, що спрямовано на екологічну безпеку, збереження природних ресурсів і біорізноманіття. Розвиток органічного землеробства є одним із пріоритетних векторів середньострокової стратегії «зеленої трансформації» сільського господарства, яке розглядається як важливий інструмент сталого аграрного розвитку. Органічне виробництво не лише сприяє збереженню природних ресурсів і підвищенню якості продукції, а й має вагомий потенціал у контексті адаптації аграрного сектору до змін клімату. Застосування екологічно безпечних технологій, скорочення викидів парникових газів та підтримка біорізноманіття в межах органічного господарювання здатні значною мірою пом'якшити негативні наслідки кліматичних змін і підвищити стійкість сільськогосподарських систем до зовнішніх екологічних викликів.

Ефективне довгострокове ведення принципів органічного господарювання неможливе без моніторингу стану ґрунтів, який вимагає комплексного підходу до збору, обробки та аналізу великого обсягу просторових і аналітичних даних. Водночас обґрунтоване визначення придатності земель для здійснення органічного виробництва потребує обробки значного масиву різнорідної інформації — від фізико-хімічних властивостей ґрунтів до показників техногенного навантаження. У цьому аспекті важливе значення має впровадження структурованих підходів до зберігання та аналізу даних, зокрема через використання баз геоданих.

Бази геоданих постають ефективним інструментом для накопичення, систематизації та просторового аналізу інформації про стан ґрунтового покриву. Їх використання дає змогу не лише зберігати численні параметри у структурованому форматі, а й забезпечує географічну прив'язку даних, що є критично важливим для ухвалення рішень на локальному та регіональному рівнях. Тому бази геопросторових даних

дають можливість інтегрувати та просто-риво координувати відповідну комплексну інформацію для подальшого її застосування в агроекологічному плануванні.

Мета роботи — проектування бази геопросторових даних для інформаційного забезпечення систем органічного землеробства з урахуванням особливостей воєнного стану в Україні. Дослідження спрямовано на оптимізацію процесів збору, зберігання та аналізу геопросторових даних, із метою підвищення точності оцінки якості ґрунтового покриву і підтримки ухвалення науково обґрунтованих управлінських рішень у сфері органічного агровиробництва.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Європейський Союз активно працює над гармонізацією та оприлюдненням геопросторових даних сільськогосподарських переписів (*Agricultural Census*). Ці експериментальні статистичні дані включають інформацію про органічне землеробство з високою просторовою роздільною здатністю, а саме до 1 км, згідно з Регламентом ЄС 2018/1091 про інтегровану статистику фермерських господарств [2].

У рамках Спільної аграрної політики (CAP) та ENVISION в ЄС розробляються інструменти системи моніторингу для ідентифікації органічних методів господарювання за допомогою даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). У рамках ініціатив, як-от ENVISION, створюються повністю автоматизовані системи для класифікації органічних посівів (наприклад, система «світлофора») на рівні полів. Ці системи безпосередньо підтримують органи сертифікації (*Certification Bodies*, CBs), застосовуючи принцип «розумного відбору проб» (*smart sampling*) для інспекцій. Це є прямим підтвердженням актуальності інтеграції ДЗЗ та геопросторових баз даних для сертифікаційного контролю [3]. Все це зумовлює необхідність дотримання Україною єдиного підходу до збору та картографування даних про органічне виробництво на рівні ЄС.

Закон України «Про національну інфраструктуру геопросторових даних» визначає правові та організаційні засади створення, функціонування та розвитку національної інфраструктури геопросторових даних [4].

Серед іноземних науковців Йоганнес Шустер, Людвіг Хагн, Мартін Міттермаєр, Франц-Ксавер Майдль і Курт-Юрген Хюльсберген [5] досліджували питання інтеграції сенсорних даних та геостатистики для оцінки поживного балансу на органічних полях. Евеліна Сандстрем, Естер Бере, Тамаш Крістин, Петер Х. Вербург [6] продемонстрували, як дані реєстрів сертифікації використовуються для просторового аналізу чинників поширення органічного землеробства.

Питання необхідності та доцільності впровадження інформаційних технологій для моніторингу земель із метою підвищення ефективності їх використання широко висвітлено у наукових працях таких дослідників, як С.І. Бердін, В.В. Медведєв, М.М. Маренич, М.І. Кондратюк, О.П. Копішинська, Ю. Уткін, С.Р. Трускавецький, Т.Ю. Биндич, Т.Ю. Вяткін, К.І. Шерстюк, О.І. Коляда, С.Ю. Булигін, В.І. Зацерковний та ін. [7–12].

У межах сучасних наукових підходів до управління земельними ресурсами в агросекторі В.І. Зацерковним було розроблено функціональну схему аграрної геоінформаційної системи (АгроГІС), яка дає змогу ефективно застосовувати багатомірні та багатокритеріальні моделі для дослідження просторових аспектів землекористування. Запропонована модель дає змогу проводити комплексну оцінку стану земель, моделювати динаміку використання угідь та виявляти потенційні загрози, пов'язані з антропогенним впливом на агроландшафти, що є надзвичайно актуальним у контексті сталого розвитку сільськогосподарських угідь.

У сфері цифрової трансформації аграрного виробництва дедалі повсюдного поширення набувають мобільні додатки, створені спеціально для потреб сільськогосподарських виробників. Розробники

таких програмних рішень пропонують фермерам безкоштовні мобільні застосунки, функціональність яких орієнтована на оптимізацію щоденних виробничих процесів, підвищення ефективності управління фермерськими господарствами та оперативну підтримку прийняття управлінських рішень. Ці мобільні інструменти зазвичай поєднують у собі функції моніторингу агрономічних показників, обліку ресурсів, планування технологічних операцій та аналізу даних, що дає змогу аграріям швидко реагувати на зміну виробничих умов і посилювати загальну продуктивність господарської діяльності.

Хоча існує значна кількість наукових публікацій, присвячених загальним аспектам досліджуваної проблематики, застосування методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та геоінформаційних систем (ГІС) для моніторингу земель для забезпечення ведення та розвитку органічного землеробства, досліджується значно рідше. Через це актуальність цієї проблеми залишається високою, а її комплексне розв'язання потребує подальших наукових розробок та досліджень.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Матеріали, які проаналізовані в рамках даного дослідження включають ґрунтові обстеження, а саме результати польових замірів та лабораторних аналізів, зокрема, такі агрохімічні показники, як вміст органічної речовини (гумусу), реакція ґрунтового розчину (рН), вміст макро- та мікроелементів, вміст азоту. Використані екологічні обмежувальні показники згідно з діючою Методикою агрохімічної паспортизації: рівень забруднення важкими металами (Pb, Cd, Hg, As), залишки пестицидів (ДДТ, ГХЦГ), радіонукліди (^{137}Cs , ^{90}Sr).

Атрибутивні дані стандартизуються у табличному форматі (.csv, .xlsx), точки відбору проби повинні мати чітку просторову прив'язку.

Дані Державного земельного кадастру (ДЗК) використовуватимуться для отримання геометрії земельних ділянок (меж

полів) суб'єктів господарювання та кадастрових номерів, а Державний реєстр речових прав (ДРРП) залучатиметься для перевірки правостановлювальних документів та права власності/користування на ділянку.

Для реалізації функціональної моделі та проектування бази геопросторових даних було обрано таку систему управління базами даних PostgreSQL з просторовим розширенням PostGIS. Вибір обумовлений його потужними можливостями для зберігання, індексації та аналізу векторних та растрових геопросторових даних, а також його відкритим кодом.

ГІС-програмне забезпечення QGIS (з відкритим кодом) або ArcGIS. Геоінформаційні інструменти здійснюють завантаження та обробку вхідних даних, гарантують виконання просторового аналізу (інтерполяцію, буферизацію, оверлей тощо), створюють тематичні карти і шари для візуалізації.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Органічне землеробство, яке передбачає використання безсинтетичних засобів захисту рослин і добрив, вимагає високого рівня контролю за станом ґрунтів. У зв'язку з цим зростає потреба у впровадженні точних, системних та адаптивних методів збору й аналізу інформації про якість ґрунтів. Одним із перспективних підходів у цьому контексті є застосування структурованих моделей даних, що забезпечують інтегровану обробку та інтерпретацію великомасштабної екологічної інформації.

Структурована модель даних — це формалізована система представлення взаємозв'язаних параметрів, яка допомагає організовано накопичувати, обробляти й аналізувати дані з різних джерел: вже накопичених баз геопросторових даних, лабораторних аналізів, геодезичних вишукувань, даних про рельєф, інформацію про природні умови тощо. Така модель є ключовим елементом у створенні цифрового профілю ґрунту, що відображає його фізико-хімічні, біологічні та агрономічні характеристики

в динаміці та моделює умови, в яких вирощується органічна продукція.

У контексті органічного землеробства структуровані моделі дають змогу реалізувати системний моніторинг, орієнтований на виявлення змін родючості, органічного вуглецю, кислотності, вологості, біорізноманіття мікробіоти тощо. Це особливо актуально в умовах обмеженого використання агрохімії, коли підтримання природної рівноваги ґрунтового середовища є пріоритетним завданням. Наприклад, структурована модель може поєднувати в собі дані з агрохімічного аналізу, дані ДЗЗ та метеорологічні спостереження для прогнозування деградаційних процесів або оптимізації сівозмін. Геоінформаційне моделювання на основі багатокритеріального підходу і обмежень дає можливість здійснити зонування сільськогосподарських полів за допустимими нормами та економічною спроможністю до вирощування органічної сільськогосподарської продукції.

Використання таких моделей також сприяє підвищенню ефективності прийняття рішень на рівні аграрних господарств. Інтеграція структурованої інформації в геоінформаційні системи (ГІС) дає можливість візуалізувати просторові закономірності та здійснювати зонування земель за рівнем придатності до органічного обробітку. Крім того, моделі можуть включати історичні дані, що допомагає формувати дослідницькі тренди та виконувати порівняльний аналіз у ретроспективі.

Отже, модель даних у моніторингу ґрунтів постає не лише інструментом для поточного контролю, а й платформою для довгострокового екологічного планування в органічному землеробстві. Її впровадження зумовлює підвищення достовірності агроекологічних оцінок, зменшення ризиків втрати родючості, а також сприяє формуванню сталих виробничих практик. Серцем такої моделі є база геопросторових даних.

Запропонована база геопросторових даних ґрунтується на вимогах чинного законодавства, а саме взаємодію з органами сертифікації. Так, зацікавлені особи можуть стати операторами ринку та виробля-

ти, маркувати і вводити в обіг органічну продукцію лише за наявності сертифіката. Реалізація наміру працювати за стандартами органічного виробництва розпочинається з реєстрації в Державному реєстрі операторів органічного ринку України, який реалізовується через Держпродспоживслужбу. Згідно з Постановою Кабінету Міністрів України № 1032 від 21 жовтня 2020 р. «Суб'єкт господарювання, що має намір перейти на органічне виробництво та/або здійснювати обіг органічної продукції, надсилає органу сертифікації поштою чи електронною формою зв'язку заяву довільної форми про проведення сертифікації, підписану уповноваженою особою.

Заява має містити такі відомості:

- повне найменування, адресу місцезнаходження, ідентифікаційний код — для юридичної особи або прізвище, ім'я, по батькові, місце проживання, реєстраційний номер облікової картки платника податків (серію та номер паспорта — для фізичних осіб, які через свої релігійні переконання відмовилися від прийняття реєстраційного номера облікової картки платника податків та офіційно повідомили про це відповідному податковому органу та мають відмітку в паспорті) — для фізичної особи — підприємця;
- адреси всіх потужностей, на яких суб'єкт господарювання планує здійснювати органічне виробництво та/або обіг органічної продукції;
- інформацію про землі, на яких планується провадження такої діяльності: площа угіддя, місце розташування;
- вид діяльності (виробництво у певній галузі органічного виробництва та/або обіг органічної продукції);
- контактну інформацію (номер телефону, поштову адресу, адресу електронної пошти).

Орган сертифікації у строк, що не перевищує десяти робочих днів, перевіряє подану заяву та надсилає суб'єкту господарювання пропозицію укласти договір на проведення сертифікації між органом сертифікації та суб'єктом господарювання, що має намір перейти на органічне вироб-

ництво та/або здійснювати обіг органічної продукції» [13].

У запропонованій моделі бази геопросторових даних передбачена автоматична перевірка поданої заявки суб'єкта господарювання (юридичної особи чи фізичної особи-підприємця) на відповідність поданих даних:

- відомостям Єдиного державного реєстру реєстр юридичних осіб, фізичних осіб-підприємців та громадських формувань через ідентифікаційні дані особи;
- відомостям Державного реєстру речових прав на нерухоме майно через правовстановлювальні документи;
- відомостям Державного земельного кадастру через кадастрові номери земельних ділянок [14–16].

Отже, розгляд заяви не обмежується людським чинником, усувається можливість допущення помилок та процес розгляду і перевірки заявки займає мінімум часу. За результатами перевірки на відповідність усіх необхідних даних, база геопросторових даних може також передбачати функціонал для автоматичного генерування договору та надсилання заявнику для цифрового підписання.

Після підписання договору спеціаліст органу сертифікації проводить планові щорічні та позапланові перевірки оператора. Матеріали перевірок та значення показників пропонуються автоматично прив'язувати до полів (земельних ділянок). Завдяки базі геопросторових даних у спеціаліста формується картографічний план виїзду з прогнозним маршрутом обстежень.

Для накопичення даних і ухвалення рішень уповноваженими органами щодо сертифікації, що засвідчує відповідність процесу виробництва продукції та її обігу вимогам законодавства у сфері органічного виробництва, обігу та маркування органічної продукції впливає низка таких чинників як: обмежувальні норми, суміжні землекористувачі та воєнні дії.

Інтеграція до Європейського Союзу передбачає дотримання єдиних підходів та стандартів, проте в найродючіших ґрунтах України можна знайти: важкі метали (сви-

нець (Pb), кадмій (Cd), ртуть (Hg), миш'як (As); залишки пестицидів ДДТ, гексахлорциклогексан (ГХЦГ), неонікотиніди (імідаклоприд, тіаметоксам); нафтопродукти та поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ); радіонукліди, зокрема цезій-137 (Cs-137), стронцій-90 (Sr-90).

Наслідки воєнних дій. Внаслідок воєнних дій у ґрунт разом із вибуховими засобами, воєнною технікою і різного роду зброєю потрапляють небезпечні речовини високої концентрації. Це питання наразі перебуває в процесі дослідження, оскільки для проведення робіт із забору проб ґрунту потрібен виїзд на земельні ділянки, які зазнали забруднення, проте є безпечними для обстеження фахівцями. Воєнні дії як і наслідки Чорнобильської катастрофи формують концептуальні відмінності підходів до органічного землеробства в Україні та до директив європейської спільноти. Ці чинники зумовлюють необхідність у формуванні зон обмежень у органічному землеробстві.

Суміжні землекористувачі. Суміжні землекористувачі, які застосовують традиційні підходи до землеробства у зв'язку з сусідством з суб'єктами господарювання, які хочуть займатися органічним землеробством безпосередньо впливають через обробіток ґрунту і культур досить на великих відстанях. Органічне землеробство передбачає відсутність застосування штучних засобів захисту ґрунту і рослин. Засоби захисту під час розпилення можуть переноситися з вітром на кілометри. Також системи захисту негативно впливають на бджіл, які необхідні для запилення рослин. Тому добросусідство є важливим чинником.

Агрохімічні обмеження. З метою стимулювання розвитку органічного виробництва в Україні держава здійснює формування відповідної інфраструктури та нормативно-правової бази. Паралельно впроваджуються заходи підтримки виробників органічної продукції, а також реалізуються інформаційно-просвітницькі ініціативи, спрямовані на підвищення обізнаності суспільства щодо переваг органічного виробництва.

Визначення агрофізичних та агрохімічних характеристик родючості ґрунтів, а також рівня їхнього забруднення, становить ключовий етап процедури сертифікації органічного виробництва. Оцінювання проводиться на основі зіставлення фактичних характеристик із еталонними значеннями. Як еталонні використовуються оптимальні показники родючості ґрунтів, визначені відповідно до їхнього типу та гранулометричного складу згідно з чинними нормативними документами. Дослідження ґрунтових зразків виконується відповідно до чинної нормативної бази. Зокрема, вміст гумусу визначається за ДСТУ 4289:2004 «Якість ґрунту. Метод визначання органічної речовини» [17], реакцію ґрунтового розчину (рН) — згідно з ДСТУ 4362:2004 «Якість ґрунту. Показники родючості ґрунтів» [18], вміст азоту — за методикою, описаною у посібнику «Агрохімічний аналіз» [19], а рівень забруднення важкими металами — відповідно до ДСТУ 4944:2008 «Встановлення допустимих концентрацій шкідливих речовин» [20], для оцінювання технологій виробництва органічної продукції використовується система НАССР за алгоритмом, узгодженим із ДСТУ 4161-2003 «Системи управління безпечністю харчових продуктів» [21].

Оцінку придатності ґрунтів для виробництва органічної продукції можна здійснити також на основі використання науково-методичних рекомендацій [22].

На основі накопичених даних формується база геопросторових даних (рис. 1). Завдяки різним критеріям відповідності нормам, створюються тематичні шари станом на певну дату, а також можна здійснювати моніторинг зміни показників, та моделювати прогрес наближення відповідно до вимог для вирощування продукції з маркування Organic Standart.

Структурований аналіз даних за допомогою геоінформаційних систем (ГІС) і засобів цифрового моніторингу дасть можливість:

- Оптимізувати частоту та обсяг польових вимірювань. Завдяки наявності чіткої структури даних зменшиться потреба

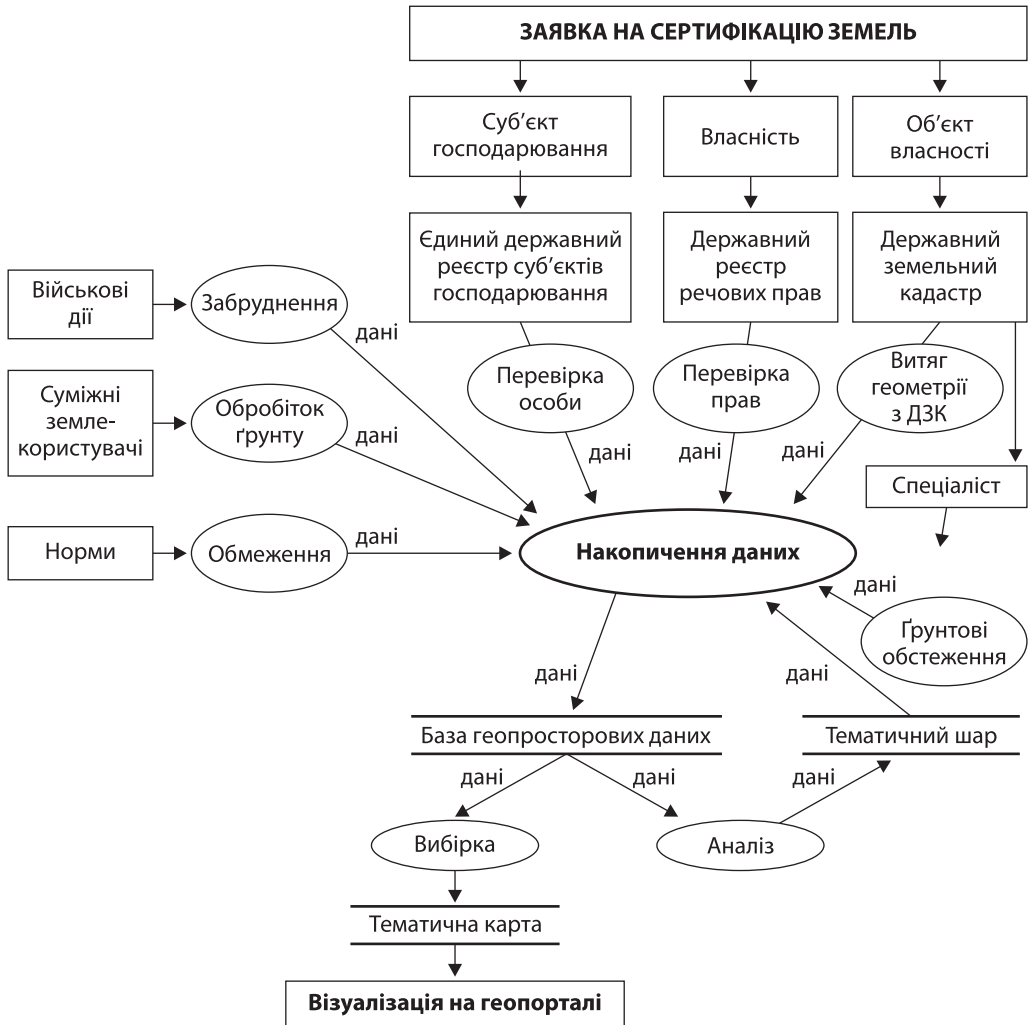


Рис. 1. Функціональна модель інформаційного забезпечення органічного землеробства (Накопичення даних)

в надмірному дублюванні аналізів, що, своєю чергою, знизить затрати ресурсів (часу, зусиль і коштів).

- Підвищити достовірність агроекологічної оцінки стану ґрунтів. Стандартизоване збирання та інтерпретація даних забезпечить мінімізацію людського чинника в аналізі результатів.
- Сприяти прийняттю науково обґрунтованих рішень на рівні господарства. Аграрії отримають можливість швидко

реагувати на виявлені зміни, наприклад, шляхом зміни сівозміни або корекції органічних добрив.

- Забезпечити моніторинг змін ґрунтового стану у довгостроковій перспективі. Це особливо важливо для органічної сертифікації, яка вимагає детальної документації дотримання екологічних стандартів.
- Інтегрувати різномірні джерела даних (польові спостереження, супутникові

знімки та ін.) в єдину цифрову платформу, що дасть змогу отримати комплексну картину стану агроландшафтів.

- Підвищити рівень екологічної відповідальності та сталого використання ґрунтових ресурсів. Завдяки аналізу землекористувачі можуть уникати виснаження родючості.

Функціональною моделлю інформаційного забезпечення органічного землеробства є модель накопичення даних та відображає логіку збору, перевірки, інтеграції та первинної обробки різнорідних даних, необхідних для ухвалення рішень щодо сертифікації земель для органічного виробництва.

Модель складається з трьох основних функціональних блоків, як-от вхідні дані та перевірка, накопичення й інтеграція та аналіз і візуалізація.

Блок 1. Сертифікаційний блок. Включає вхідні дані та перевірку, описує початковий етап надходження та верифікації інформації, що починається із подачі заявки.

Початок збору даних розпочинається із заявки на сертифікацію земель, що надходить від суб'єкта господарювання. Далі відбувається верифікація суб'єкта (перевірка особи), в рамках якої дані про суб'єкта господарювання (ID) перевіряються через Єдиний державний реєстр суб'єктів господарювання (ЄДР). Результат цієї перевірки надходить до вузла Накопичення даних.

Водночас відбувається верифікація земель (перевірка прав та геометрії), котра передбачає перевірку даних про власність через Державний реєстр речових прав (ДРРП). Просторові дані про об'єкт власності (геометрія, межі) отримуються з Державного земельного кадастру (ДЗК). Результати обох перевірок також надходять до вузла Накопичення даних.

Блок 2. Накопичення та інтеграція даних. Центральний вузол Накопичення даних інтегрує інформацію з усіх джерел для формування повноцінної бази.

Дані обмежень як джерел потенційного забруднення отримуються як наслідки військових дій, суміжних землекористувачів

та обробку ґрунту та формують вхідний потік Забруднення.

Існуючі затверджені норми (правові та агрохімічні) формують потік обмеження. А обидва потоки (Забруднення та Обмеження) надходять до вузла Накопичення даних як важливі критерії придатності.

Спеціаліст з держнагляду ініціює ґрунтові обстеження (польові заміри, відбір проб). Результати обстежень (ґрунтові характеристики, вміст речовин) також інтегруються у вузол Накопичення даних.

Інтегровані дані використовуються для аналітичних та прикладних завдань. Накопичені дані є основою для створення бази геопросторових даних.

Запроєктована база даних дає можливість швидкого пошуку даних за критеріями, забезпечує здійснення геопросторового аналізу для підтримки управлінських рішень та тематичного картографування для візуалізації (див. *рис. 1*).

Функціональна модель бази геопросторових даних демонструє, що процес сертифікації органічного землеробства є інтегрованою системою, яка вимагає автоматизованої перевірки юридичних прав, географічних даних, контролю забруднення та моніторингу відповідності нормам, і все це об'єднується в єдину геопросторову базу для подальшого аналізу та візуалізації.

Концептуальна модель бази геопросторових даних (*рис. 2*) організована навколо земельної ділянки та її характеристик, необхідних для оцінки придатності до органічного землеробства та моніторингу. Центральними сутностями, що мають просторову геометрію, є:

- поле (ділянка) — базовий географічний об'єкт, що має код Поля, назва Поля та геометрію. Одне поле може бути поділено на багато елементарних ділянок (зв'язок 1:N). Одне поле має одне цільове призначення (зв'язок 1:1);
- елементарна ділянка — найменша одиниця просторового аналізу, що має код Елементарної Ділянки та геометрію. Одна Елементарна Ділянка має один Ґрунт (за типом) та один Схил.

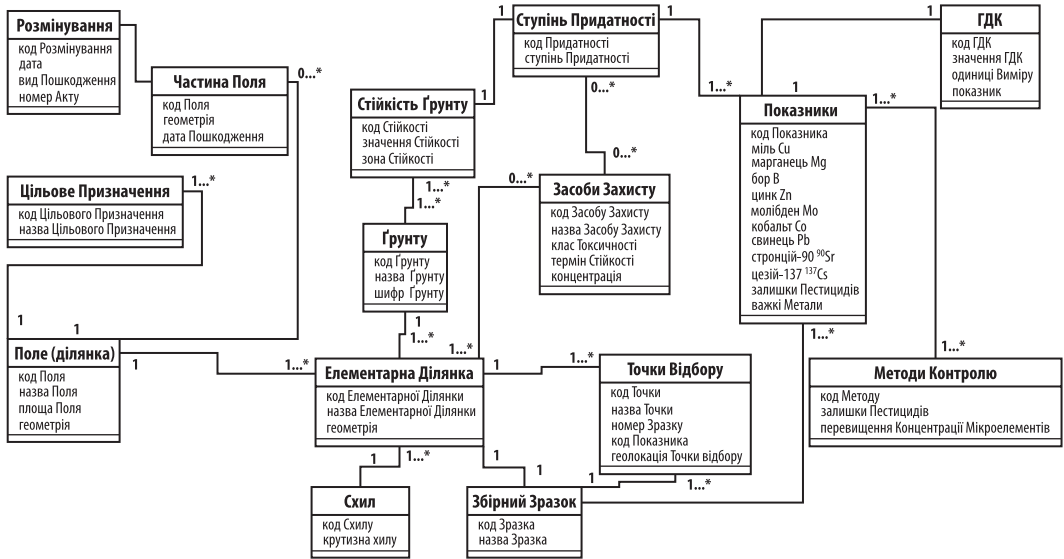


Рис. 2. Концептуальна модель бази геопросторових даних для інформаційного забезпечення органічного землеробства

Клас Ґрунт описує тип ґрунту (код Ґрунту, назва Ґрунту). Клас Схил – фізична характеристика, що впливає на ерозію (код Схилу, крутизна).

Клас Частина Поля використовується для фіксації воєнного впливу на частини полів, має зв'язок 1:N до класу Розмінування (що фіксує статус небезпечності).

Клас Стійкість Ґрунту оцінює стійкість ґрунту до різних чинників (код Стійкості, значення Стійкості). Має прямий зв'язок з класом Ґрунт та Класом Елементарна Ділянка.

Клас Точки Відбору містить дані про геопросторовий об'єкт (точка), що фіксує місце забору зразка (назва Точки, номер Зразку). Одна Елементарна Ділянка може містити багато Точок Відбору. Одна Точка Відбору пов'язана з багатьма Збірними Зразками.

Клас Показники – атрибутивна сутність, що містить результати лабораторних аналізів, критично важливих для органічного землеробства (наприклад, вміст важких металів – Pb, Cd, Hg, залишки ¹³⁷Cs, ⁹⁰S). Один Збірний Зразок пов'язаний із багатьма Показниками.

Клас Методики Контролю фіксує відповідність нормативній базі, що застосовувалась для аналізу (назва Методики, перелік Вимірюваних Елементів).

Клас Засоби Захисту описує дозволені (або не дозволені) засоби, що використовувались (назва Засобу Захисту, концентрація).

Клас ГДК (Гранично Допустимі Концентрації) – атрибутивна сутність, що містить референтні значення (значення ГДК, санкціоновані ГДК) для порівняння з фактичними Показниками.

Результатом аналізу інтегрованих даних є клас Ступінь Придатності. Це ключовий вихідний клас, що визначає, чи підходить ділянка для органічного виробництва (код Ступеня Придатності, назва Ступеня Придатності).

Одна Елементарна Ділянка може мати багато Ступенів Придатності (залежно від критеріїв чи року). Ступінь Придатності агрегує дані з класу Показники та Засоби Захисту (через зв'язки).

Концептуальна модель демонструє, що просторова ідентифікація починається з поля і деталізується до елементарної ділян-

ки. Оцінка придатності (ступінь придатності) є комплексним результатом, що залежить від фізичних властивостей (грунт, схил), результатів моніторингу (показники через точки відбору) та нормативних обмежень (ГДК, методики контролю).

Чіткі зв'язки між класом Точка Відбору та класом Показники забезпечують можливість просторової візуалізації результатів аналізу.

Ця концептуальна модель є міцною основою для розробки логічної моделі (таблиць) в обраній СУБД (наприклад, PostgreSQL/PostGIS).

Для зручної взаємодії з усіма учасниками процесу органічного землеробства з базою геопросторових даних можна формувати шари візуалізації у вигляді тематичних карт, чи інтерактивних геопорталів.

ВИСНОВКИ

Розроблено концептуальну модель (ER-схему) бази геопросторових даних, орієнтовану на інтеграцію ключових показників якості ґрунтів та вимог законодавства у сфері органічного землеробства. Модель охоплює параметри агрохімічного складу, фізичних властивостей та екологічної придатності земельних ділянок, включаючи рівень забруднення важкими металами, радіонуклідами та залишками пестицидів.

Обґрунтовано доцільність застосування структурованої моделі даних порівняно з традиційними методами агрохімічного моніторингу. Запропонована модель забезпечує систематизацію, просторову прив'язку та подальшу обробку різномірної інформації (даних ДЗК, ДРП, лабораторних аналізів та моніторингу суміжних землекористувачів).

Визначено ключові чинники просторових обмежень, що впливають на органічну сертифікацію в українських реаліях, включаючи вплив воєнних дій та сусідства з ділянками, де застосовуються синтетичні засоби захисту.

Рекомендована модель бази геопросторових даних забезпечує автоматизацію процесу сертифікації за рахунок інтеграції з державними реєстрами (ЄДР, ДЗК, ДРП), що дає змогу здійснювати автоматичну верифікацію суб'єктів господарювання та прав на землю, мінімізуючи людський чинник та прискорюючи розгляд заявок.

Модель є ефективним інструментом підтримки ухвалення рішень на рівні аграрних господарств та органів сертифікації. Вона дає можливість формувати аналітичні звіти у реальному часі, виконувати зонування земель за рівнем придатності та гарантувати моніторинг змін ґрунтового стану у довгостроковій перспективі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Прес-служба IFC. (2021, 21 квітня). *Сучасні сільськогосподарські практики допомагають фермерам запобігти зміні клімату*. Agroexpert. URL: <https://agroexpert.ua/19766-2/>.
2. Geospatial data from agricultural census — Experimental statistics. Eurostat — European Commission (22.11.2025). URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/experimental-statistics/geospatial-data-agricultural-census>.
3. Identification of organic farming practices. EU CAP Network — European Union (22.11.2025). URL: https://eu-cap-network.ec.europa.eu/identification-organic-farming-practices_en.
4. Про національну інфраструктуру геопросторових даних. Закон України № 37, ст. 277. (2020). (Україна). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/554-20#Text>.
5. Schuster, J., Hagn, L., Mittermayer, M., Maidl, F.-X., & Hülsbergen, K.-J. (2023). Using Remote and Proximal Sensing in Organic Agriculture to Assess Yield and Environmental Performance. *Agropony*, 13(7), 1868. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4395/13/7/1868>.
6. Sandström, E., Boere, E., Krisztin, T., & Verburg, P. H. (2025). *Enabling and constraining factors for organic agriculture in Europe: a spatial analysis*. URL: <https://research.vu.nl/en/publications/enabling-and-constraining-factors-for-organic-agriculture-in-euro/>.
7. Бердін, С. І. (2016). *Інформаційні технології в агрономії: курс лекцій*. Суми: Сумський національний аграрний університет.
8. Медведєв, В. В. (2015). Земельна реформа і родючість ґрунту. *Вісник аграрної науки*, 93(5), 73–79. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201505-17>.
9. Маренич, М. М., Кондратюк, М. І., Копішинська, О. П., & Уткін, Ю. В. (2017). *Інформаційні технології в агрономії: навч. посібн.* Харків: Фін-арт.
10. Трускавецький, С. Р., Биндич, Т. Ю., Вяткін, К. І., Шерстюк, О. І., & Коляда, Л. П. (2017). *Концепція створення інформаційної системи ґрунтоохоронного*

- моніторингу методами дистанційного зондування. Київ: Аграрна наука.
11. Булигін, С. Ю. (2015). Якість земель як основа контролю землекористування. *Агроекологічний журнал*, 1, 36–46. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2015.272152>.
 12. Зацерковний, В. І. (2015). Застосування геоінформаційних систем у задачах ефективного землекористування. *Наукові праці Чорноморського державного університету імені Петра Могили комплексу «Києво-Могилянська академія». Сер.: Техногенна безпека. Радіобіологія* (Т. 261, Вип. 249, с. 14–21). URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npchdub_2015_261_249_4.
 13. Про затвердження Порядку сертифікації органічного виробництва та/або обігу органічної продукції та внесення змін до постанови Кабінету Міністрів України від 23 жовтня 2019 р. № 970. Постанова Кабінету Міністрів України № 1032. (2020). (Україна). URL: <https://www.kmu.gov.ua/npras/pro-zatverdzhennya-poryadku-sertifikaciyi-organichnogo-virobnictva-ta-obo-bigu-organichnoyi-produkciyi-ta-vnesennya-zmin-do-postanovi-kabinetu-ministriv-ukrayini-vid-23-zhovtnya-2019-r-970-10>.
 14. Міністерство юстиції України. (2025). Єдиний державний реєстр юридичних осіб, фізичних осіб-підприємців та громадських формувань. URL: <https://usr.minjust.gov.ua/content/free-search>
 15. Державне підприємство «Національні інформаційні системи». (2025). Державний реєстр речових прав на нерухоме майно. URL: <https://nais.gov.ua/p/derjavnyi-reestr-rechovih-prav-na-neruhome-majno>
 16. Державна служба України з питань геодезії, картографії та кадастру. (2021). Публічна кадастрова карта. URL: <https://map.land.gov.ua/>.
 17. ДСТУ 4289:2004. Якість ґрунту. Методи визначення органічної речовини. (2005). [Чинний від 2005-07-01]. Київ: Державний стандарт України.
 18. ДСТУ 4362:2004. Якість ґрунту. Показники родючості ґрунтів. (2006). [Чинний від 2006-01-01]. Київ: Державний стандарт України.
 19. Городній, М. М. (Ред.). (2005). *Агрохімічний аналіз: підруч.* Київ: Арістей.
 20. Макаренко, Н. А. (Ред.) (2013). *Оцінка придатності ґрунтів для виробництва органічної продукції рослинництва: науково-методичні рекомендації.* Київ: НУБіП України.
 21. ДСТУ 4161-2003. Системи управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги. (2003). [Чинний від 2003-07-01]. Київ: Державний стандарт України.
 22. ДСТУ 4944:2008. Агрохімікати. Встановлення допустимих концентрацій шкідливих речовин. (2009). [Чинний від 2009-01-01]. Київ: Держспоживстандарт України.

Дата першого надходження рукопису до редакції: 26.10.2025
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 05.12.2025
Дата публікації: 27.02.2026