

В. І. Кравчук, О. М. Ганженко, В. М. Квак,  
М. В. Іванюта, М. Я. Гументик, Я. Д. Фучило,  
Л. А. Правдива, О. Б. Хіврич, О. М. Атаманюк,  
І. М. Гольдермахер, Ю. О. Гуменюк,  
А. К. Нурмухаммедов

# ФОРМУВАННЯ КАРТОГРАМ АГРОФІЗИЧНОГО СТАНУ ҐРУНТУ ДЛЯ СИСТЕМ АДАПТАЦІЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН У ТЕХНОЛОГІЯХ ВИРОЩУВАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ

НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ



Київ 2025



НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР І ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ

**В. І. Кравчук, О. М. Ганженко, В. М. Квак, М. В. Іванюта,  
М. Я. Гументик, Я. Д. Фучило, Л. А. Правдива, О. Б. Хіврич,  
О. М. Атаманюк, І. М. Гольдермахер, Ю. О. Гуменюк,  
А. К. Нурмухаммедов**

**ФОРМУВАННЯ КАРТОГРАМ АГРОФІЗИЧНОГО  
СТАНУ ҐРУНТУ ДЛЯ СИСТЕМ АДАПТАЦІЇ  
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН  
У ТЕХНОЛОГІЯХ ВИРОЩУВАННЯ  
ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ**

**Науково-методичні рекомендації**

**Київ • 2025**

*Рекомендовано до опублікування вченою радою  
Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН  
(протокол № 18 від 10 листопада 2025 р.)*

*Рецензенти:*

**В. В. Іваніна**, доктор с.-г. наук, професор;  
**В. Т. Саблук**, доктор с.-г. наук, професор  
(Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН)

**Кравчук В. І., Ганженко О. М., Квак В. М., Іванюта М. В., Гументик М. Я., Фучило Я. Д., Правдива Л. А., Хіврич О. Б., Атаманюк О. М., Гольдермахер І. М., Гуменюк Ю. О., Нурмухаммедов А. К.** Формування картограм агрофізичного стану ґрунту для систем адаптації сільськогосподарських машин у технологіях вирощування цукрових буряків : науково-методичні рекомендації / НААН України, Ін-т біоенергет. культ. і цукр. буряків. Електрон. вид. Київ : ІБКіЦБ НААН, 2025. 36 с.

ISBN 978-617-8706-31-9 (PDF)

Науково-методичні рекомендації є результатом досліджень з розроблення інтелектуальних засобів та систем потокового визначення агрофізичних показників ґрунту в технологіях вирощування цукрових буряків. Визначивши базові складові такої системи, автори встановлюють їх методологічні взаємозв'язки застосовуючи картографічні методи досліджень; принципи побудови електронних карт для моніторингу, реагування і контролю агрофізичних показників ґрунту, а також алгоритм і системо-аналогову модель застосування картограм для адаптації сільськогосподарських машин в сучасному землеробстві.

Призначено для фахівців агрономічного та галузевого інженерного-конструкторського напрямку, а також викладачів, аспірантів і студентів закладів вищої освіти.

УДК 631.3:631.43:633.63  
<https://doi.org/10.47414/978-617-8706-31-9>



Цей твір поширюється на умовах ліцензії CC BY-NC-SA 4.0  
(Creative Commons «Attribution-NonCommercial-ShareAlike» 4.0 International)

ISBN 978-617-8706-31-9 (PDF)

© Інститут біоенергетичних культур  
і цукрових буряків НААН, 2025  
© Колектив авторів, 2025

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ.....	5
1. КАРТОГРАФІЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЕЛЕКТРОННІ КАРТИ: ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ .....	7
2. БАЗОВІ ПРИНЦИПИ І ЕТАПИ ПОБУДОВИ ЕЛЕКТРОННИХ КАРТ ТА ЇХ КЛАСИФІКАЦІЇ .....	9
3. ДИВЕРСИФІКАЦІЯ ФУНКЦІЙ ЕЛЕКТРОННИХ КАРТ ДЛЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЗЕМЛЕРОБСТВА.....	13
4. МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ АВТОМАТИЧНОЇ ПОБУДОВИ ЕЛЕКТРОННИХ КАРТ АГРОФІЗИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ҐРУНТУ .....	21
5. АЛГОРИТМ ЗАСТОСУВАННЯ КАРТОГРАМИ АГРОФІЗИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ҐРУНТУ ДЛЯ СИСТЕМ АДАПТАЦІЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН У ТЕХНОЛОГІЯХ ВИРОЩУВАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ .....	31
ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	35

## ВСТУП

Сучасне землеробство вступило в епоху впровадження електронних інтелектуальних засобів для вирішення завдань автоматизації вирощування та зберігання урожаю, створення автоматизованих систем управління з метою підвищення оперативності виконання запланованих рішень та їх оптимізації щодо тих чи інших критеріїв технологій.

В умовах використання точного (керованого) землеробства з елементами картографування особлива роль належить завданням оперативного виявлення та застосування агротехнічних заходів з підвищення якості ґрунту проблемних ділянок, що дозволить підвищити ефективність вирощування сільськогосподарських культур.

Картографія, як прикладний напрям точних наук, використовує математичні та різноманітні можливості комп'ютерних програм для побудови картографічного зображення. А удосконалення методів картографічного моделювання спричинило формування комп'ютерних програм різного тематичного змісту карт.

В сучасних умовах існує велика кількість доступного програмного забезпечення (QGIS, GSIF, PlotKML, SAGA-GIS, ArcGis та ін.) з можливістю створювати найрізноманітніші картографічні зображення, що мають спільну координатну основу та візуалізацію на дискеті – електронній карті, що застосовуються в системі інтелектуальних засобів для адаптації сільськогосподарських машин в точному землеробстві та зокрема – вирощуванні цукрових буряків.

Важливість електронних цифрових карт зумовлена можливостями підвищення ефективності використання інформації про якість ґрунту в місцевизначених координатах для систем управління, навігації, та наукових досліджень.

Основною метою створення електронних цифрових карт є: графічна комунікація просторових відношень і розподілів показників якості ґрунту; покращення можливостей аналізу, обробки і відображення геоінформаційних даних; візуальне відображення цифрових моделей, явищ, процесів, не видимих для людського ока; автоматизація відображення і картографічного аналізу в системах управління та керування агротехнічними операціями; отримання експертних рішень в графічному виді в режимах реального і розподіленого часу тощо.

З впровадженням засобів цифрового картографування для сільськогосподарського виробництва виникає необхідність розроблення та впровадження високошвидкісних засобів потокового визначення показників якості ґрунту, нових математичних методів обробки, аналізу та інтерпретації.

Слід зазначити, що поряд із позитивними перспективами електронного цифрового картографування якісних показників ґрунту є й негативні. Основними факторами, що викликають нарікання є недотримання стандартів просторової точності при побудові цифрованих карт. У випадку комерційного використання картографічних матеріалів відбувається накопичення просторових похибок (і відповідно, похибок вимірювання відстаней і площ), що призводить до зниження точності відображення результатів картографування.

Ось чому, у високоінтелектуальних технологіях, наприклад, вирощування цукрових буряків, залишаються актуальними науково-практичні аспекти дослідження системної взаємодії: інтелектуальних засобів картографування та адаптації сільськогосподарських машин на виконання оперативно-визначених, у режимі реал-тайм, оптимізованих показників технологічних операцій.

## ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ

**Варіограма** – статистичний інструмент, який використовується з методами крігінгу для прогнозування значень у місцях без вибірки на основі відстані від відомої точки. Він показує, наскільки два зразки можуть відрізнитися залежно від відстані між ними.

**Геозображення** (geoimage, georepresentation) – будь-яка просторово-часова масштабна генералізована модель земних (планетних) об'єктів або процесів, яка представлена у графічно-образній формі. Геозображення класифікують на двовимірні, тривимірні та динамічні.

**Геопросторовий аналіз** (ГІС аналіз) – це процес пошуку просторових закономірностей у розподілі географічних даних і взаємозв'язків між об'єктами методами геоінформаційних систем.

**Двовимірні геозображення** (2D geoimages, flat geoimages) – плоскі двовимірні карти, плани, електронні карти, аеро- і космічні знімки.

**Динамічні геозображення** (dynamic geoimages) – анімації, картографічні фільми, мультимедійні карти та атласи.

**Екстраполяція** – процес прогнозування значень поза відомим рядом даних, базуючись на встановлених тенденціях або моделях.

**Електронна карта** (electronic map) – картографічне зображення, що візуалізоване на дисплеї (відеоекрані) комп'ютера на основі даних цифрових карт або баз даних ГІС з використанням програмних і технічних засобів у прийнятій для карт проекції і системі умовних знаків.

**Інтерактивна карта** – онлайн-ресурс, що дозволяє користувачам переглядати, аналізувати та редагувати просторові дані через веббраузер без спеціального програмного забезпечення.

**Інтерполяція** – процес знаходження проміжних значень величини на основі відомих даних. Використовується для обчислення значень у точках, які не входять до початкового набору даних.

**IDW Інтерполяція** (Inverse Distance Weighted) – метод просторової інтерполяції, на основі відомих значень у сусідніх точках. Метод заснований на припущенні, що значення у невідомій точці ближче до значень у сусідніх точках з меншою відстанню, ніж до точок з більшою відстанню.

**TIN інтерполяція** (Triangular Irregular Network) – метод інтерполяції, що використовується в географічних інформаційних системах (GIS) для створення поверхонь на основі нерегулярних наборів точкових даних.

**Картографічна база даних** (cartographic database) – сукупність взаємозалежних картографічних даних з будь-якої предметної (тематичної) області, що представлена у цифровій формі (у тому числі у формі інших картографічних баз даних) при дотриманні загальних правил опису, збереження і маніпулювання даними. Картографічна база даних доступна багатьом користувачам, не залежить від характеру прикладних програм і підпорядковується системам управління базами даних (СУБД).

**Картографічний банк даних**, КБД (cartographic databank) – комплекс технічних, програмних, інформаційних і організаційних засобів збереження, обробки і використання цифрових картографічних даних. До складу КБД входять картографічні бази даних з окремих предметних (тематичних) комірок, СУБД, а також бібліотеки запитів і прикладних програм.

**Картографічний метод досліджень** – метод застосування карт для пізнання зображених на них явищ.

**Коваріати** – змінні чи фактори, які пов'язані з іншими змінними в статистичній моделі чи аналізі та змінюються разом із ними.

**Кореляція** – статистичний зв'язок або співвідношення між двома чи більше змінними, що показує, наскільки їхні значення змінюються разом.

**Просторова автокореляція** – означає, що об’єкти розташовані близько один одного мають властивості бути більш схожими, залежно від їх розташування.

**Просторова інтерполяція** – процес використання відомих значень тої чи іншої величини в визначених точках для оцінювання невідомих значень в невідомих точках.

**Просторовий аналіз** – процес математичних операцій над геоданими з метою виділення додаткової інформації.

**Статистична поверхня** – результат просторової інтерполяції.

**Тривимірні геоображення** (3D geoimages, volumetric geoimages) – об’ємні стереомоделі, анагліфи, блок-діаграми, картографічні голограми.

**Цифрова карта** – цифрова модель земної поверхні, сформована з урахуванням законів картографічної генералізації в прийнятих для карт проекціях, розграфці, системі координат і висот (ГОСТ 28441-90, с. 1 «Картография цифровая»).

# 1. КАРТОГРАФІЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЕЛЕКТРОННІ КАРТИ: ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Сучасна агротехнологічна картографія – наука, яка за допомогою карт досліджує просторове розміщення агротехнологічних показників ґрунту, їх зв'язки та динаміку врожайності; наука що надає можливість вивчення механізмів функціонування природніх процесів у часі та просторі, прогнозувати ріст і розвиток сільськогосподарських культур та показники родючості ґрунту [1].

Останнім часом, стрімкий прогрес картографії та суміжних з нею наукових напрямів призвели до появи нових технологій картографування. На сьогоднішній день, картографію важко уявити без взаємодії із аерокосмічним зондуванням, геоінформатикою та телекомунікаційними технологіями.

Електронні карти, атласи, анімації, трьохвимірні картографічні моделі та геозображення стають основними інструментами наукових та управлінських досліджень для агротехнологічної оцінки ефективності планування та прогнозування виробництва продукції рослинництва.

Картографічні методи досліджень привертали увагу вчених і практиків ще з початку ХХ століття. У роботі [2], проаналізовано підхід до досліджень американської когнітивної картографії за використання «наукового підходу», викладеного Робінсоном у книзі «The Look of Maps» [3]. Він стверджував, що хоча метою когнітивної картографії у другій половині 20-го століття було нібито покращення карт, в цілому напрям все ще має багато проблем, що необхідно вирішити.

На сьогодні, картографічний метод дослідження всебічно розробляється використовуючи сучасні здобутки картографії, математики, та комп'ютерних технологій. Кількість різних прийомів аналізу карт та їх модифікацій, які були запропоновані у різні часи різними авторами для вирішення багаточисельних наукових завдань є надзвичайно різноманітними та важко піддаються аналізу. Фахівець, який застосовує картографічний метод дослідження, перш за все картограф, повинен досконало та вільно «читати карту», знати принципи її укладання, способи відображення та технології видання, а також вміти орієнтуватися в прийомах аналізу карти, знати їх можливості, володіти основними технічними навичками, мати уявлення про точність дослідження, що проводяться за картами різного масштабу. «Читаючи карту – ми дізнаємося нової мови, інтерпретуючи карту, ми починаємо говорити за допомогою цієї мови» (англійський географ Ж. Дьорі) [4].

Розробка методик прикладного використання різних видів електронних агротехнічних карт відноситься в нашому випадку до агрономічних досліджень. Однак, розробку загальних питань картографічних методів дослідження доцільно відносити до напрямів картографічних наук. Оскільки, географічні карти агротехнічного призначення є, також, одним з основних способів географічних досліджень, географи та агрономи повинні знати можливості та способи картографічного методу і в межах дуальних інтересів працювати над його удосконаленням [5].

Наприклад, традиційні ґрунтові карти створювалися з використанням знань, інтуїції та розуміння наявної інформації про ґрунти землевпорядника. Для підвищення ефективності землеробства, електронні карти створюються, роблячи прогнози в місцях без вибірки на основі спостережень відхилень ландшафту. Відбір проб ґрунту розширює розуміння стану та складу ґрунту для визначеної точки. Такі знання корисні для визначення властивостей і зв'язків між характеристиками ґрунту. Для створення, підтримки та вдосконалення електронних карт в сучасних умовах широко використовують технології штучного інтелекту та інтерактивних систем [6].

У методах створення карт родючості ґрунту застосовуються всі ті ж основні принципи, що й для картографування, за наявністю просторового розподілу цільової змінної по всій області карти. Оскільки, динамічні властивості ґрунту швидко змінюються залежно від змін кліматичних умов, картографування родючості ґрунту, як правило, спирається на географічне розташування та принципи просторової автокореляції, що означає розташування об'єктів близько один до одного [7, 8].

Зазначене актуальне у новітніх технологіях вирощування буряків цукрових, що особливо чутливі до агрофізичного стану ґрунтів, які останнім часом значно деградують під впливом хімічного навантаження, інтенсивного ущільнення сільськогосподарською технікою та зміною клімату.

Тобто, необхідні техніко-технологічні рішення, що дозволяють удосконалити технології вирощування рослин, підсиливши дію позитивних чинників і мінімізувавши вплив негативних у відповідний інтервал поля і часу.

Отже, стає актуальним питання, розроблення інтелектуальних засобів потокового визначення агрофізичного стану ґрунту та миттєвого реагування робочих органів сільськогосподарських машин для забезпечення щільності та структури ґрунту відповідно до агротехнічних вимог.

Потокове визначення агрофізичних показників ґрунту (АФПГ) – високоефективний метод організації дослідження стану ґрунту в процесі його обробітку. В пілотних дослідженнях процес здійснюється на основі взаємодії електромагнітного поля з ґрунтом і використанні безконтактних електронних засобів вимірювання, обробки та накопичення інформації.

Інтелектуальна система потокового методу визначення АФПГ забезпечить формування електронної карти з послідуною адаптацією робочих органів сільськогосподарських машин відповідно до агротехнічних вимог в технологіях вирощування цукрових буряків. Використання розробленої системи інтелектуальних засобів дозволить підвищити якість обробітку ґрунту (щільність, структура, волого та газообмін), зменшити технологічні затрати та підвищити врожайність цукрових буряків.

## 2. БАЗОВІ ПРИНЦИПИ І ЕТАПИ ПОБУДОВИ ЕЛЕКТРОННИХ КАРТ ТА ЇХ КЛАСИФІКАЦІЇ

У концептуальному, більш ширшому розумінні, електронна карта (ЕК) – це графічне зображення сформоване на машинному носії з використанням технічних та програмних засобів у визначеній графічній проекції, системі координат та висот, умовних знаків, що передають необхідний зміст та призначені для відображення, спільно зі спеціальною (статистичною) інформацією, аналізу та моделювання, а також вирішення аналітичних задач [9].

Найпростіший метод створення карти полягає в тому, щоб взяти вибіркові точки використання просторової автокореляції, а потім намалювати багатокутники, що ідентифікують область, найближчу до відповідних точок. Це визначає області, які, ймовірно, будуть схожі на кожен з цих вимірюваних точок. Потім, присвоюють значення кожній точці її відповідній навколишній області. На основі значень кожної з точок виконують прогноз значень в області найближчого вимірюваного місця. Загальною практикою картографування родючості ґрунту є взяття зразків ґрунту на регулярній сітці, а потім розподілення результатів зразків на квадрати однакового розміру навколо кожної з точок відбору. Мінливість значень, ймовірно, існує в межах цих квадратів.

В умовах точного землеробства неоднорідність внесення змін щодо мінливості ґрунту можуть бути більш цілеспрямованими. Це означає, що сітка розміром 2,5 акра (квадрати  $100 \times 100$  м) або навіть сітка 1 акр (квадрати  $60 \times 60$  м) може мати занадто грубу роздільну здатність, щоб надати інформацію, необхідну для повного використання можливостей точного землеробства.

За допомогою базового підходу просторової автокореляції, описаного вище, створення карти з більш високою роздільною здатністю потребує взяття більшої кількості зразків ґрунту. Замість зразка з кожного гектара, можливо, зони управління площею 0,5 акра (0,2 га) можуть мати унікальні рецепти добрив. У цьому випадку зразок на кожні 0,5 акра (0,2 га) подвоїть необхідну кількість зразків. Однак, просторова автокореляція може бути більш корисною, ніж блоки з одним значенням.

Просторова інтерполяція використовує концепцію просторової автокореляції для прогнозування градієнта значень між спостережуваними місцями. У межах географічного комп'ютерного програмного забезпечення такі алгоритми, як зворотне зважування відстані (IDW) або крігінг, можуть створювати поверхні прогнозування з будь-якою роздільною здатністю, яку визначає користувач на основі варіограм [10].

Варіограма — це статистичний інструмент, який використовується з методами крігінгу для прогнозування значень у місцях без вибірки на основі відстані від відомої точки. Він показує, наскільки два зразки можуть відрізнитися залежно від відстані між ними.

Цифрова модель карти (або електронної карти) – це організована модель картографічного зображення об'єкта або явища в цифровій формі для зберігання та подальшої обробки в табличній, матричній або аналітичній формі. Слід зазначити, що ця назва не зовсім відповідає традиційно встановленому визначенню концепції «карти», оскільки на цифровій карті картографічне зображення не представлено у формі знаку, а у встановленій структурі цифрового опису та кодування на одному з фізичних носіїв пам'яті [11].

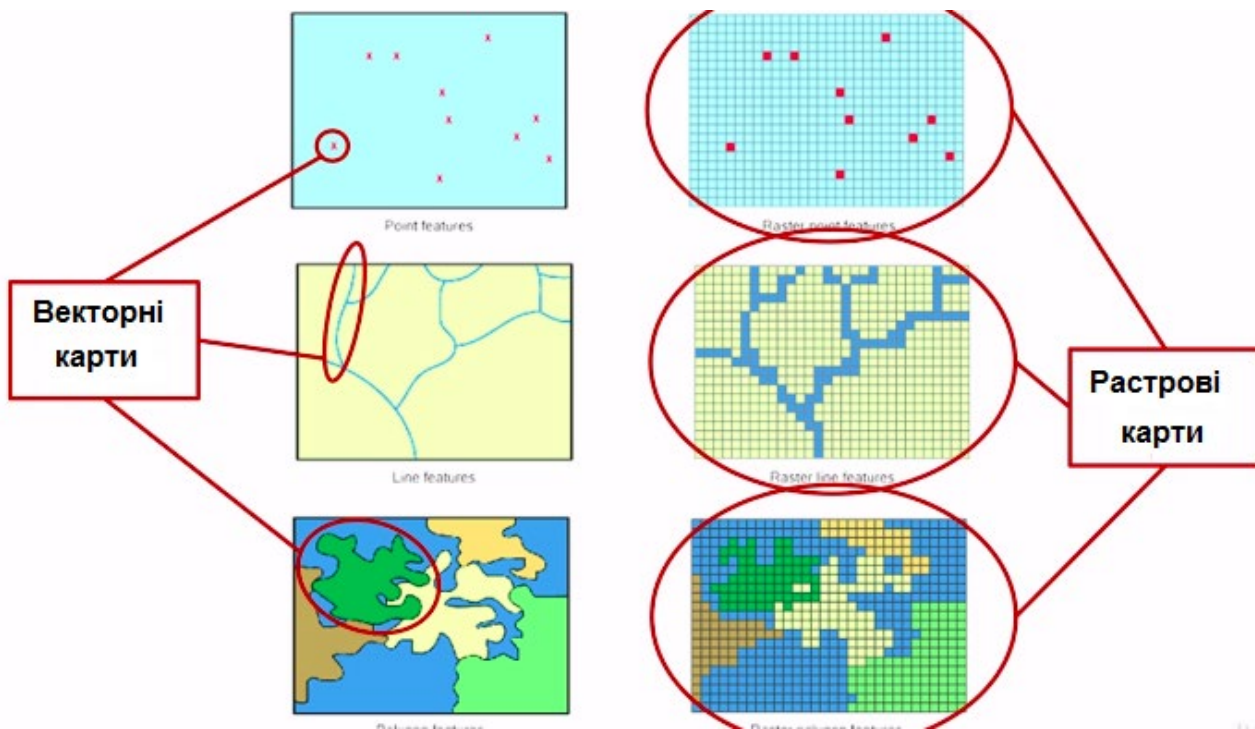
Наразі в електронних картах зберігання, передача та відображення даних відокремлені один від одного. Електронна карта охоплює, як термін, три поняття: опис даних; програмне забезпечення для їх обробки; електронна система відображення даних.

Переважна більшість електронних карт відображає інформацію одним з двох методів: растровим або векторним (рис. 2.1).

Растровий метод визначається використанням квантування, або розподілу простору на множину елементів, кожен з яких містить опис визначеної частини земної поверхні. Растровий метод може використовувати елементи будь-якої підходящої геометричної форми при умові, що вони можуть бути з'єднані для утворення суцільної поверхні що представляє простір визначеної частини. Можливі різні форми елементів растра, наприклад трикутна або шес-

тикутна. В більшості випадків використовують прямокутники або квадрати що називають комітками.

Векторний метод визначається використанням точок як просторових координат без розподілу на дискретні частини. Використання методу можливе за привласнення точкам координат X, Y координатної площини, лініям – пов’язаної послідовності пар координат їх вершин, областям – замкнутої послідовності з’єднаних ліній початкова та кінцева точки яких співпадають.



**Рис. 2.1. Схематичне зображення електронних карт, побудованих векторними та растровими методами [10]**

*Принципи побудови електронних карт складаються з наступних етапів:*

1. Автоматизоване перетворення початкової картографічної інформації в цифрову форму.
2. Символізація цифрової картографічної інформації та автоматизоване складання електронних карт.
3. Розробка системи управління базами даних (СУБД), призначеної для роботи з електронними картами.

На першому етапі вирішується задача отримання векторної цифрової моделі на основі існуючих початкових картографічних матеріалів (аерокосмічних знімків, паперових оригіналів карт тощо) як основи електронної карти.

На другому етапі виконується символізація векторної моделі: складення цифрової карти за рівнями навантаження; контроль та редагування символізованих цифрових карт; отримання архівної графічної символізованої копії електронної карти. Символізація полягає в присвоєнні кожному об'єкту коду (К) відповідного умовного позначення з бібліотеки за класифікаційними кодами, характеристикам об'єктів та їх значень. Кожне умовне позначення має цифровий опис – векторний та (або) растровий.

На третьому етапі виконується розробка СУБД. Інформаційне забезпечення технології побудови електронних карт включає:

- систему класифікації та кодування картографічної інформації;
- правила цифрового опису картографічної інформації;
- систему (бібліотеки) умовних позначень електронних карт;
- формат електронних карт.

*З основних методів, що використовуються в СУБД при створенні електронних карт, можна виділити:*

- методи автоматичного розпізнавання образів (растрових зображень);
- методи картографічної генералізації з використанням теорії графів та логіко-процедурного підходу;
- методи мультимедійного програмного забезпечення;
- методи експертних систем;
- методи встановлення просторово-логічних зв'язків.

*В основу класифікації електронних карт загальновідомо наступні критерії:*

За видами автоматизованих систем, що їх використовують:

- в автоматизованих системах управління (АСУ);
- в автоматизованих системах навігації (АСН);
- в автоматизованих системах народного призначення в тому числі в геоінформаційних системах (ГІС).

За призначенням:

- для вирішення розрахункових задач відображення та моделювання оперативної інформації на місцевості;
- для задач відображення обстановки та місцевості на екранах індивідуального та колективного користування.

За видами і масштабом:

- електронні плани міст 1:10000; 1:25000;
- електронні топографічні карти масштабів 1:25 000–1:1 000 000;
- електронні авіаційні карти масштабів 1:50 000–1:4 000 000;
- електронні тематичні карти.

За способами відображення інформації:

- двомірні моделі (X, Y);
- тримірні моделі (X, Y, H);
- чотиримірні або моделі простору і часу (X, Y, H, t).

*В народногосподарських системах електронні карти повинні забезпечити:*

- оперативне управління народногосподарським комплексом в цілому по областях;
- планування використання матеріальних та природних ресурсів, аналіз виробничих процесів;
- моделювання управління ресурсами та прийняття рішень в екстремальних ситуаціях;
- моніторинг агроекологічної обстановки;
- створення та ведення кадастрів.

Відомо, що основна мета електронного картографування стану полів є отримання відомостей для прийняття обґрунтованих проектних рішень з питань розміщення різних сільськогосподарських культур, а також організація технологій їх вирощування з урахуванням ландшафтних зв'язків. Така інформація базується на структурованих відомостях про площі полів, і дозволяє виконувати технологічні розрахунки в результаті яких можна: розпланувати обсяги зібраного врожаю; розрахувати оптимальну норму внесення добрив; виконати підрахунок необхідної кількості насіння; проаналізувати умови, що впливають на ріст рослин на певній ділянці / полі; вести моніторинг техніки; розраховувати витрату палива і використання робочого часу; здійснювати прогнозування врожайності культур.

Найпростіший геопросторовий аналіз електронної карти – порівняти її з іншими картами (наприклад, врожайності, ґрунту, рельєфу тощо) встановленого місця з подібними зразками або роздільною здатністю. Цей крок може дати корисне уявлення про зв'язок між електронними картами, факторами, що впливають на родючість, фізичними властивостями ґрунтів і, за необхідності встановлення потенціалу врожайності для поля.

Також метою створення електронних ґрунтових карт є пошук закономірностей на полях для обґрунтування причинно-наслідкових зв'язків урожайності. Відомо, що якісна електронна карта ґрунту для поля буде точною з часом, якщо властивості ґрунту не зміняться суттєво через установку дренажу, вирівнювання або інтенсивні операції з обробки ґрунту.

Геостатистичні методи можуть бути використані для виявлення подібності між різними шарами та для отримання зв'язків між врожайністю та певними характеристиками ґрунту. Якщо є подібність між варіацією врожайності на карті це може бути ознакою того, що фізичні властивості ґрунту є основною причиною варіації врожайності, що пов'язані, наприклад, з водоутримуючою здатністю і текстурою [12, 13].

### 3. ДИВЕРСИФІКАЦІЯ ФУНКЦІЙ ЕЛЕКТРОННИХ КАРТ ДЛЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЗЕМЛЕРОБСТВА

Електронні карти полів у рамках комп'ютерної системи керування сільськогосподарським виробництвом підприємства, застосовують для обліку сівозмін, моніторингу рухливих об'єктів, організації перевезень, складання карт врожайності, дослідження ґрунтів, статистичного аналізу, планування виробничого процесу та інше.

Такий спектр використання електронних карт вимагає постійного вдосконалення функцій та методів побудови. Окремі з них слід розкрити для повноти врахування у досліджуваному питанні.

**PLM® (New Holland)** – пакет програм [14] для ведення обліку полів, картографування та аналізу родючості ґрунту (рис. 3.1). Можна створювати карти диференційованого внесення, використовуючи формули, виведені для різних типів ґрунту, разом з картами урожайності та інших показників. Також можна створювати і редагувати маршрути руху, роздруковувати звіти за сортами культур і типами внесених пестицидів, використання добрив, технічне обслуговування обладнання і т. п.



Рис. 3.1. Зображення прикладу електронних карт в PLM Mapping [14]

Програмний продукт дозволяє накласти карти врожайності для визначення раціонального використання ресурсів поля та створення даних, що можна надіслати безпосередньо на машину для коригування внесення.

**FarmQA (FRENDT LLC)**. Програмний комплекс [15] з можливостями відстеження виробничих процесів (рис. 3.2). На карті поля відображено звіти із спостережень, лабораторні звіти з ґрунту, метеостанції, сенсори вологості AquaSpray та ущільнення. Інтегрований погодний сервіс від FarmQA поєднує аналітику з метеостанцій та супутникових прогнозів погоди. Метою є точне відображення прогнозу, історії та чинної погоди за кожним полем.

*Основні напрями картографування:*

- агрономічний консалтинг: OneSoil (датчик вологості, температури);
- агрохімічний аналіз ґрунту;
- моніторинг ущільнення (topsoil (датчик) (farm qa (автоматичний твердомір).

ГІС-супровід: електронні контури полів; створення ліній навігації; розшифровка та аналіз фактичних даних з польових терміналів; метеомоніторинг; створення тематичних карт (картограм); карти-завдання VRA; карти виконаних робіт; картування врожайності;

Технічний консалтинг: датчики моніторингу глибини обробітку; аудит техніки; автоматичне відключення секцій обприскувача; автоматичне відключення секцій сівалки; моніторинг якості виконання технологічних операцій FlyAgData; модернізація тракторів під автоматичне керування; датчики урожайності; підсвічування штанги оприскувача.

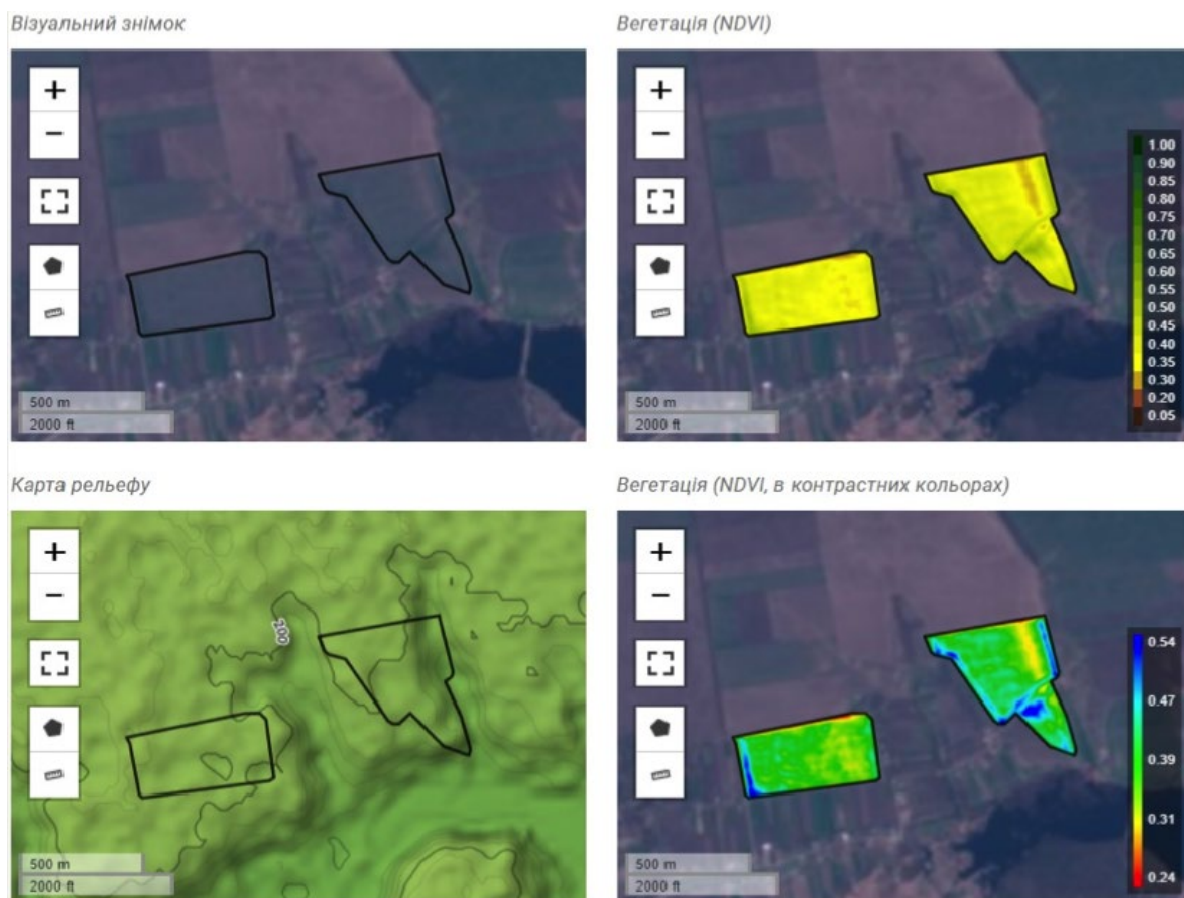
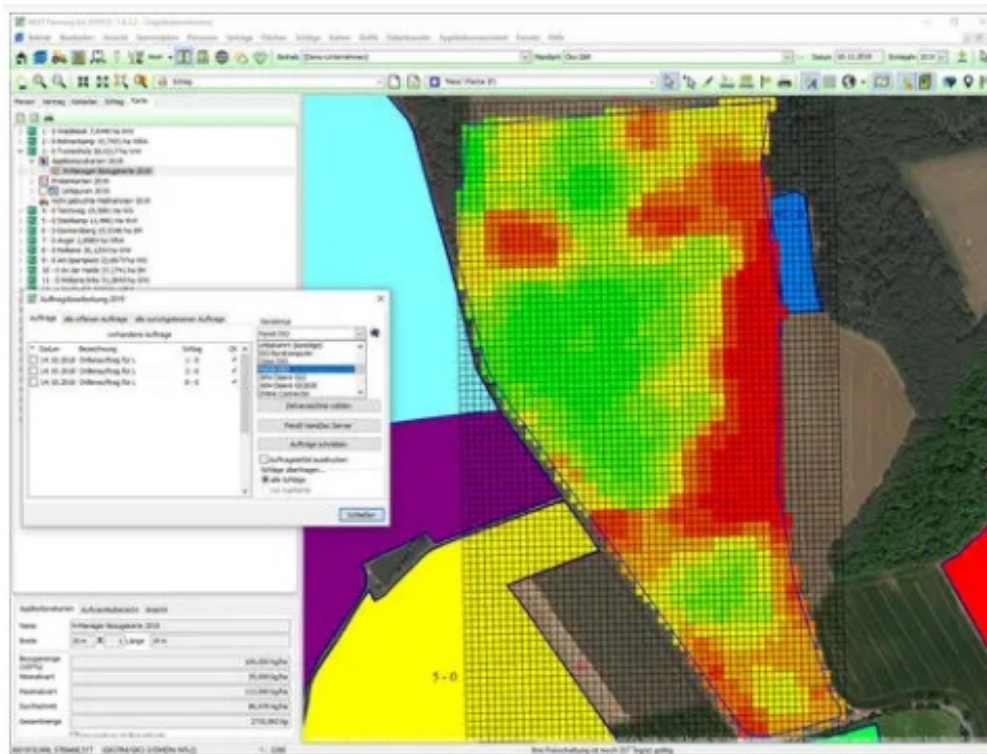


Рис. 3.2. Приклад карти з використанням FarmQA [15]

**NEXT Farming.** Система управління NEXT Farming AG Office (рис. 3.3) має багато функціональних можливостей [16]. Програмне забезпечення пропонує індивідуальні рішення для всіх типів ферм і процесів, включаючи документацію, розрахунки потреби в поживних речовинах, порівняння поживних речовин, керування польовими ділянками та підключення до всіх основних терміналів.

Основні переваги:

- всебічний інструмент для планування та документації;
- сумісність з багатьма різними виробниками;
- високий рівень захисту даних і даних стандартів безпеки;
- можливість роботи з кількома фермами та кількома клієнтами – ГІС із фоновими картами Bing Maps та імпортом ALKIS;
- підключення до бортових комп'ютерів (ISOXML, John Deere, CNH, Trimble тощо);
- специфічні особливості сільськогосподарського виробництва (технологічні карти).



**Рис. 3.3. Приклад карти з використанням FarmLab та процес взяття проб [16]**

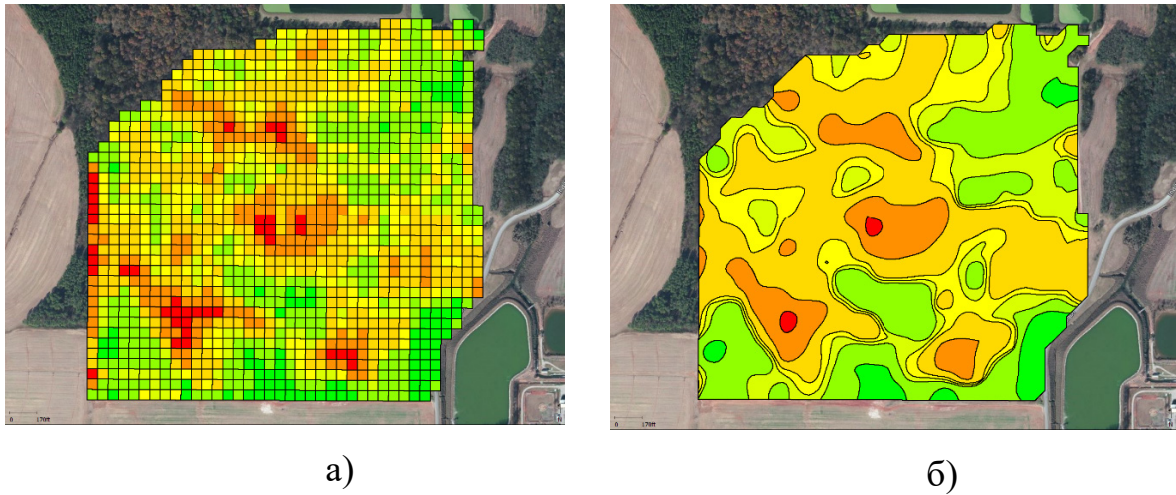
*Veris soilviewer* – платформа [17] створена для аналізу електропровідності ґрунту на основі методів визначення встановленими пристроями і побудові електронних карт (рис. 3.4). Визначення електропровідності застосовано для вимірювання солоності ґрунту та оцінки варіацій його фізичних властивостей, включаючи структуру, вологість, глибину кореневмісного шару та інші.

У продажу Veris є два типи датчиків для вимірювання електропровідності ґрунту в польових умовах: контактний і безконтактний.

Практичне застосування Precision Ag можливе за використання електропровідності ґрунту як проміжної величини визначення властивостей ґрунту. Інформація, що може бути визначена на основі електропровідності ґрунту застосована для вирішення різноманітних задач.

Призначення Veris soilviewer:

- спрямований або розумний відбір проб ґрунту для визначення структури ґрунту, органічної речовини, дренажних умов;
- змінна норма висіву на основі глибини орного шару, продуктивності ґрунту, органічної речовини;
- змінна норма внесення поживних речовин залежно від продуктивності ґрунту глибини обробітку ґрунту, материнського матеріалу, текстури та умов дренажу;
- точкове або спрямоване застосування гербіциду на основі текстури ґрунту та органічних речовин;
- інтерпретація карт врожайності та сівби на основі ґрунтових факторів, що найбільше впливають на врожайність, зокрема доступна для рослин волога;
- точне налаштування карт ґрунтів, шляхом уточнення меж типів ґрунтів та виявлення некартованих включень;
- керівництво щодо розміщення та інтерпретації тестів на фермі;
- діагностика засолення ґрунту на основі визначення електrolітів в ґрунтовому розчині;
- планування відновлення водовідведення на основі визначення водоутримуючої здатності та вологості.

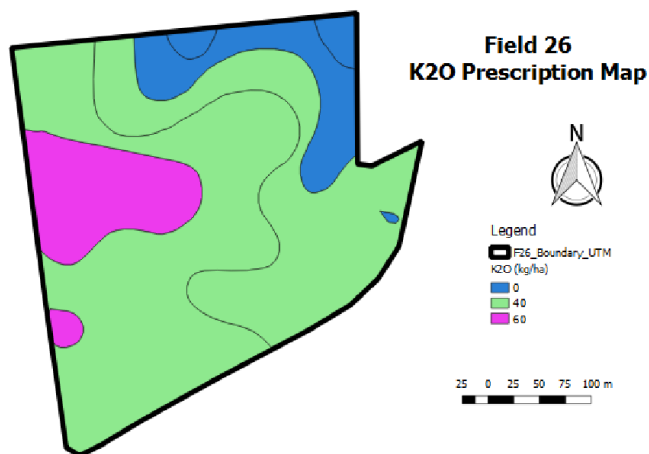


**Рис. 3.4. Приклад інтерпольованої карти електропровідності, представлена у вигляді сіткової карти (а) та контурної карти (б)**

Червоний колір означає низькі значення (менше 10 мкСм/см) до зелених областей, що представляють високі значення електропровідності ґрунту (більше 20 мкСм/см) [17]

Для побудови електронних карт застосовують геостатистичні методи шляхом виявлення подібності між різними шарами та для отримання зв'язків між електропровідністю та врожайністю або з певними характеристиками ґрунту. Якщо є подібність між варіацією врожайності на карті врожайності та варіацією електропровідності на карті, це може бути ознакою того, що фізичні властивості ґрунту є основною причиною варіації врожайності; зокрема водоутримуюча здатність і текстура.

**QGIS для точного землеробства** [18]. Впровадження точного землеробства передбачає використання геопросторової інформації для покращення розуміння просторової неоднорідності властивостей ґрунту та продуктивності врожаю. Облік місцевих потреб дозволяє оптимізувати використання сільськогосподарських ресурсів для максимізації рентабельності та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. Географічні інформаційні системи (ГІС) використовувалися для управління, обробки та інтерпретації кількох шарів геопросторових даних. Програмне забезпечення спеціально не налаштоване для керування сільськогосподарськими даними, його потужні функціональні можливості пропонують практичні набори інструментів для задоволення основних вимог побудови карт хімічного складу ґрунту (рис. 3.5).



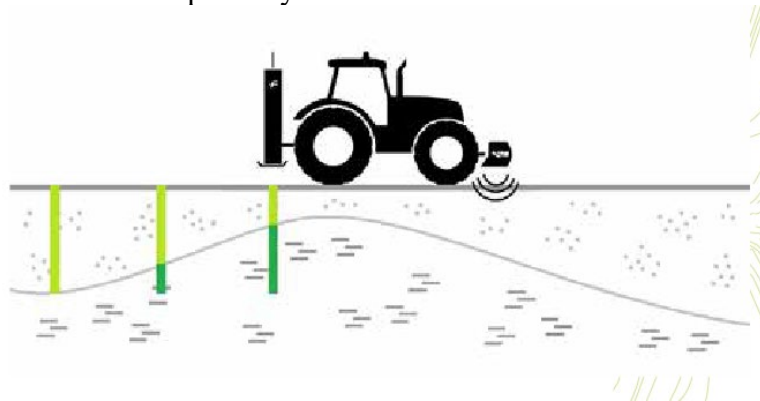
**Рис. 3.5. Приклад карти розподілу  $K_2O$  з використанням QGIS [18]**

**TSM Mapping** [19]. є варіантом для оцінки стану ґрунту способом вимірювання його текстури, типу, вологості та солоності, який дозволяє виробникам керувати певними діями на ділянках своїх загонів.

Для побудови електронних карт застосовується пристрій неруйнівного (дистанційного) визначення Topsoil (рис. 3.6). Ця інформація важлива для застосування меліорантів (вапно / гіпс, млиновий шлам / зола), добрив, зрошення та інших ресурсів. Карта надає виробникам точне уявлення про те, що відбувається в профілі ґрунту, а не просто на його поверхні.

Програмне рішення TSM дозволяє автоматично створювати наступні карти:

- електропровідність;
- ґрунтові зони;
- відносний вміст води;
- глибина вертикального горизонту.



**Рис. 3.6.** Схема процесу визначення показників картографування [19]

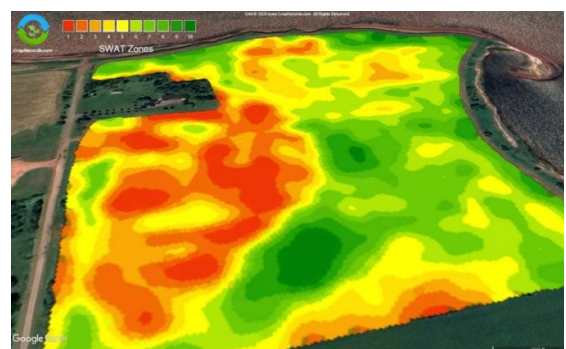
Сенсорний (вибірковий) відбір проб ґрунту за допомогою механізованих засобів дає значну економію порівняно зі звичайним відбором сітки залежно від кількості взятих проб. Зменшення кількості проб і одночасне вдосконалення бази даних дає постачальнику послуг і фермеру конкурентні переваги та економічні вигоди.

**SWAT Maps** [20] – це цифрове рішення побудови електронних карт з високою роздільною здатністю, які використовуються для виконання змінної норми внесення добрив, насіння, зміни ґрунту та пестицидів. Програмний комплекс дозволяє проводити відбір проб та створювати наступні карти (рис. 3.7):

- якість ґрунту (текстура ґрунту, органічна речовина, глибина верхнього шару ґрунту та засолення);
- забезпечення вологою (класифікація ділянок у полі на десять різних зон);
- топографія (опис рельєфу та ландшафту в полі).



а)



б)

**Рис. 3.7.** Пристрій для неруйнівного визначення якості ґрунту (а) та приклад електронної карти (б) вологості ґрунту [20]

**GeoPard Agriculture** дозволяє автоматично використовувати створену багаторічну аналітику, що описує історичні та сезонні моделі розвитку сільськогосподарських культур на полі і допомагає краще дізнатися про своє поле та прийняти рішення у потрібних зонах і потрібний час (рис. 3.8).

GeoPard Agriculture [21] дозволяє провести сезонний моніторинг фізико-хімічних та біологічних властивостей ґрунту на рівні регіону. Вся аналітика доступна і для віджет-інтеграції. Спектр побудови карт на основі хімічного аналізу проб ґрунту досить широкий. Основні можливості:

*Моніторинг культури:*

- імпорт, малювання, редагування та експорт полів;
- алгоритм розпізнавання хмар;
- каталог знімків віком до 30 років;
- натуральні та інфрачервоні кольори;
- індекси вегетації.

*Аналіз ґрунтових даних:*

- завантаження даних пробовідбору ґрунтів;
- аналіз кожного атрибуту вихідного набору даних;
- візуалізація теплової карти кожного атрибуту ґрунту у кожній точці;
- створення зон керування.

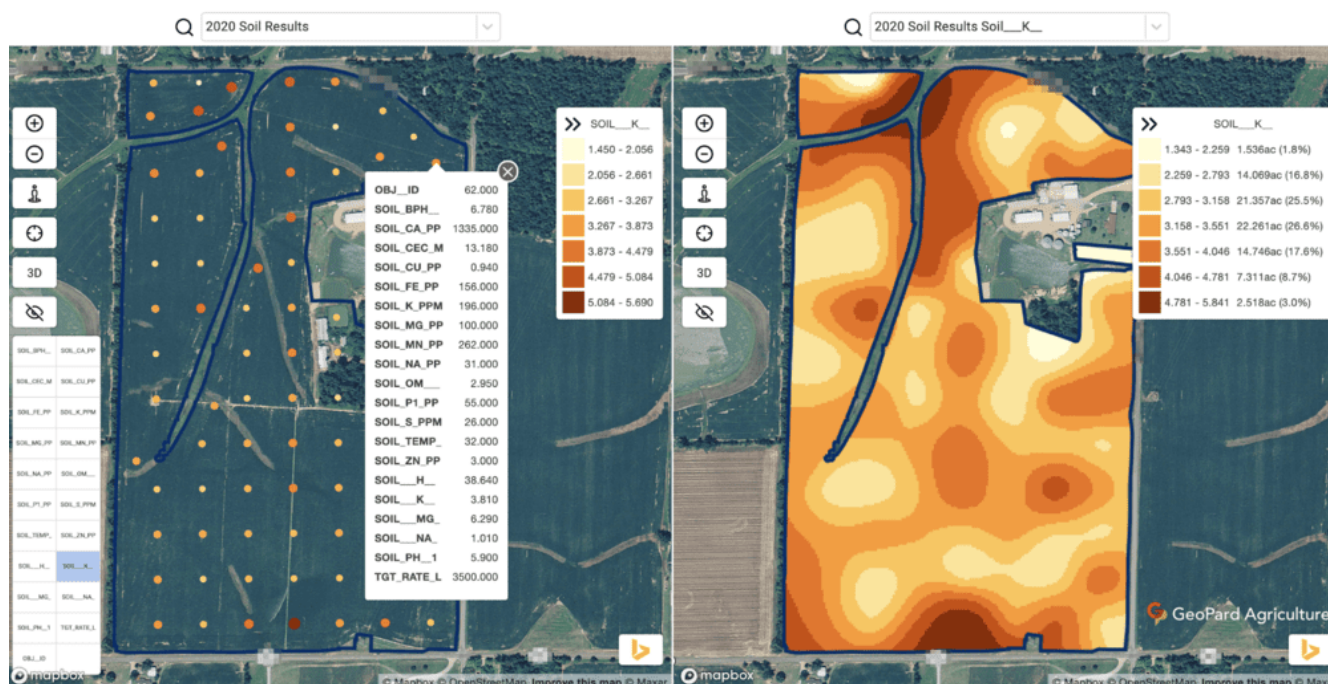


Рис. 3.8. Приклад карт взяття проб та інтерполяції для калію в GeoPard [21]

**SMS (AG Leader)** – це найбільш універсальна платформа що дає можливість картографувати, звітувати та аналізувати всю стосовно стану ґрунту та виконувати прогнозування його обробітку (рис. 3.9). Програмне забезпечення містить базу даних і дає можливість створювати рецепти обробітку ґрунту та внесення добрив на основі лабораторних даних аналізу зразків занесених у власну базу даних.

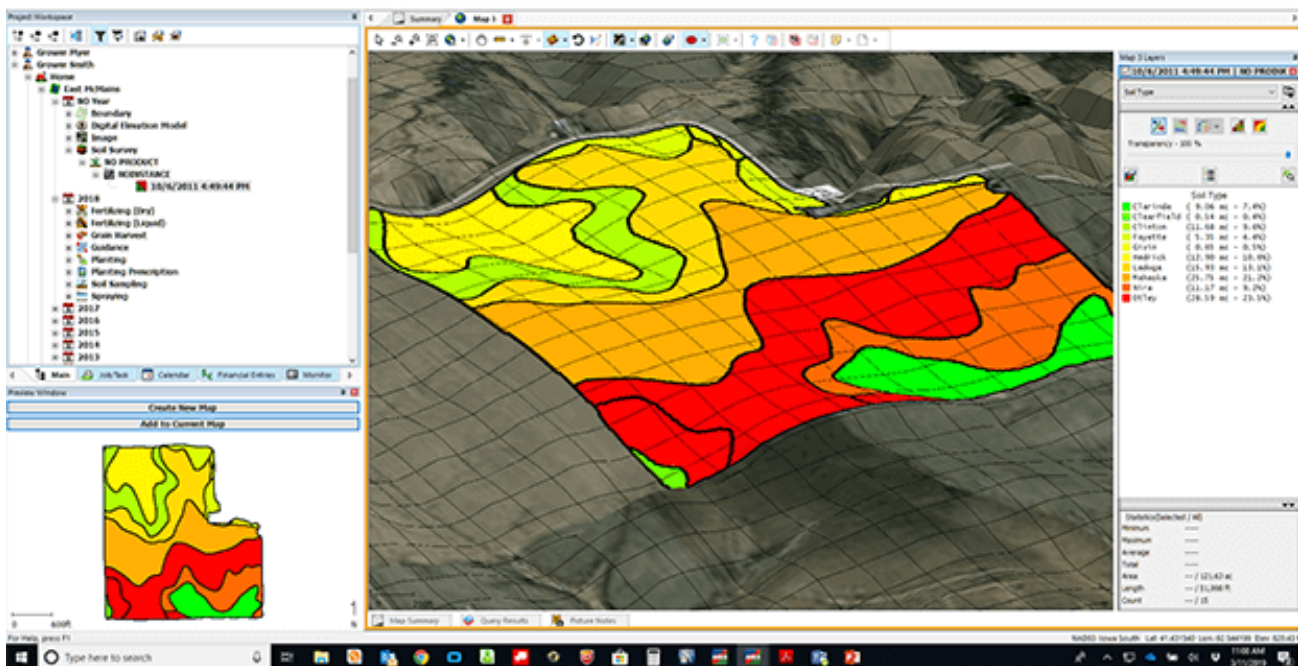


Рис. 3.9. Приклад карт та інтерполяції для прогнозу внесення добрив у ґрунт SMS (AG Leader) [22]

**SoLIMS** – це технологія для картографування ґрунтів, заснована на останніх розробках у галузі географічної інформації (ГІС), штучного інтелекту (ШІ) і теорії подання інформації. SoLIM призначений для подолання обмежень існуючих методів обстеження ґрунтів і підвищення ефективності та точності процесу на основі динамічних методів дистанційного зондування

Програмне забезпечення SoLIM Suite [23] містить набір інструментів для цифрового картографування ґрунтів, інтелектуального аналізу просторових даних та виявлення знань на ґрунтово-ландшафтних взаємозв'язках, закладених у звичайні ґрунтові карти на основі імпорту інформації про показники якості.

**GK Mapping** – програмне забезпечення для точного землеробства, картографічних послуг і дренажних рішень (рис. 3.10).

Містить [23]: комплекс інструментів для управління ділянками поля та відображення «непостійних» і «стабільних» ділянок поля, допомагає виробникам вирішити, як обробляти кожну ділянку, карти потенціалу врожайності, видає дані на певній ділянці поля, які не досягають заданого рівня виробництва для цієї ділянки поля. Ця карта може бути використана для «Зон управління», але зазвичай використовується для «Цілей прибутку», карти середнього виробництва; усі шари нормалізовані в одну карту. Ця карта зазвичай використовується для зон управління.

Програмне рішення також має можливість для моніторингу та спостереження якісних показників ґрунту на основі вихідних даних з різних джерел супутникових або аерофотознімків, зшитих даних БПЛА, карт врожайності, точкових зразків ґрунту, визначених виробником територій і карт ґрунтів.

Отже, для розширення функціональних можливостей картографування – аналізу в сільськогосподарському виробництві необхідні сучасні технології та засоби GPS моніторингу, роботизовані засоби визначення показників якості ґрунту, дрони та супутники.

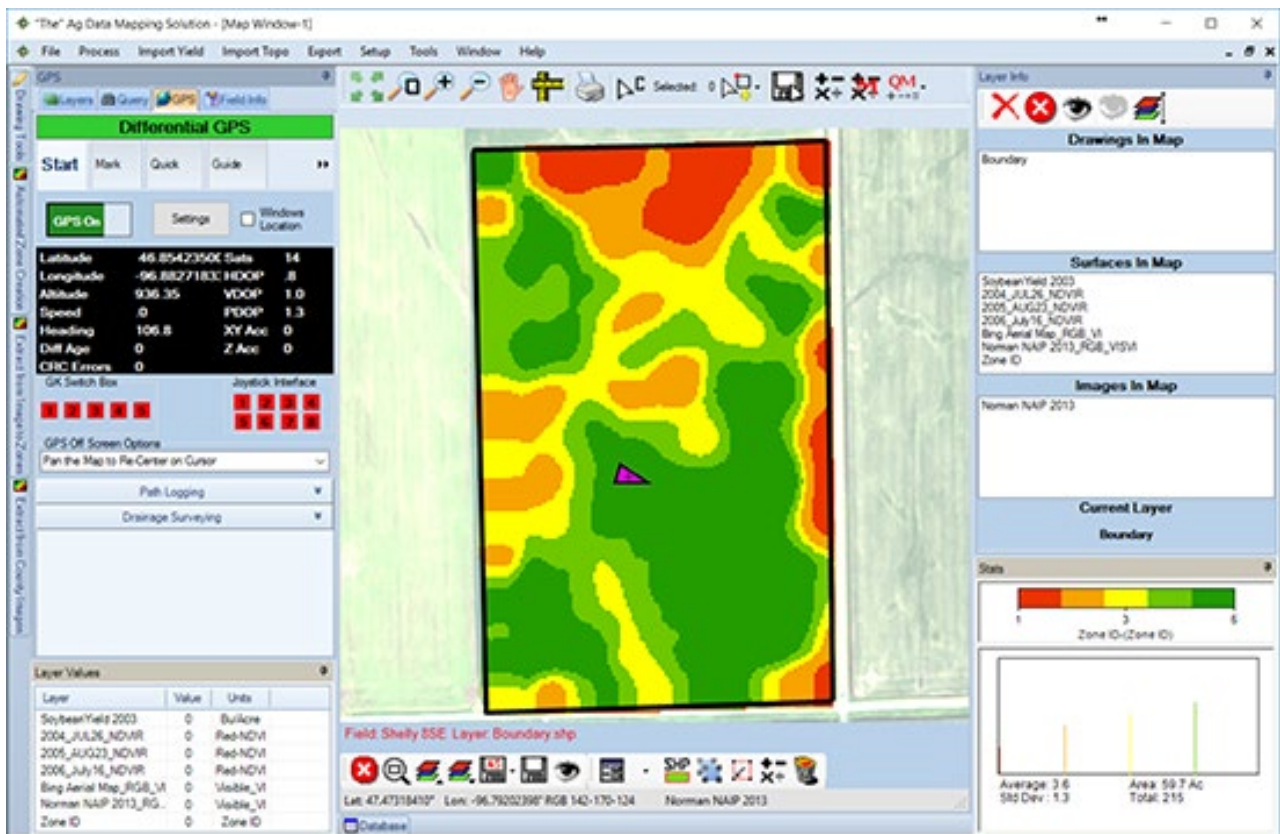


Рис. 3.10. Приклад карт та інтерполяції внесення добрив в ґрунт GK Mapping [23]

Картографування польових даних надає можливість ефективно визначити стан розвитку рослин, оперативно визначати та усувати проблеми їх росту і розвитку шляхом використання повного потенціалу сільськогосподарських угідь, підвищити урожайність та знизити шкідливі фактори навколишнього середовища в поєднанні з засобами точного (керованого) землеробства.

## 4. МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ АВТОМАТИЧНОЇ ПОБУДОВИ ЕЛЕКТРОННИХ КАРТ АГРОФІЗИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ҐРУНТУ

**Мета** – візуалізація інформації на електронній карті шляхом інтерполяції експериментально отриманих місцевизначених значення щільності. Оформлення легенди та компоновки електронної карти.

**Вихідні дані:** база географічних даних на території Білоцерківської селекційно-дослідної станції ІБКіЦБ НААН, Результати експериментально отриманих місцевизначених значень щільності (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Результати дослідження щільності ґрунту

	Широта	Довгота	Щільність, г/см <sup>3</sup>
1	49.72703375255276	30.104614193789686	1,31
2	49.728649790528834	30.10539990332432	1,40
3	49.730635134963244	30.10611418471945	1,27
4	49.732620398194186	30.1070427505331	1,25
5	49.734744078264065	30.10804274448628	1,34
6	49.73409775068884	30.111471295182866	1,20
7	49.73178936765331	30.110328444950664	1,32
8	49.72994258217397	30.10954273541603	1,33
9	49.72795720941254	30.108542741462863	1,29
10	49.72620262635886	30.107828460067733	1,33

*Перелік операцій прогностного плану:*


- вибір базової карти;
- додавання на карту векторного шару місцевизначених точок відбору проб та їх властивостей (щільності);
- створення растрових шарів інтерпольованих значень місцевизначених властивостей;
- оформлення растрового шару поля або визначеної ділянки;
- налаштування легенди;
- збереження карти.


*Методичні рекомендації прогностного плану:*

1. Завантаження QGIS встановленої на комп'ютері (рис. 4.1).



Рис. 4.1. Вікно запуску QGIS

2. В новому вікні QGIS натисніть кнопку *New project* , для створення нового проєкту.

3. Збережіть проєкт QGIS в окрему папку IBCSB\_BC, з матеріалами результатів. Для цього натисніть кнопку збереження *Save Project* , у вікні провідника відкрийте папку IDCSB та введіть назву проєкта QGIS (рис. 4.2, 4.3).

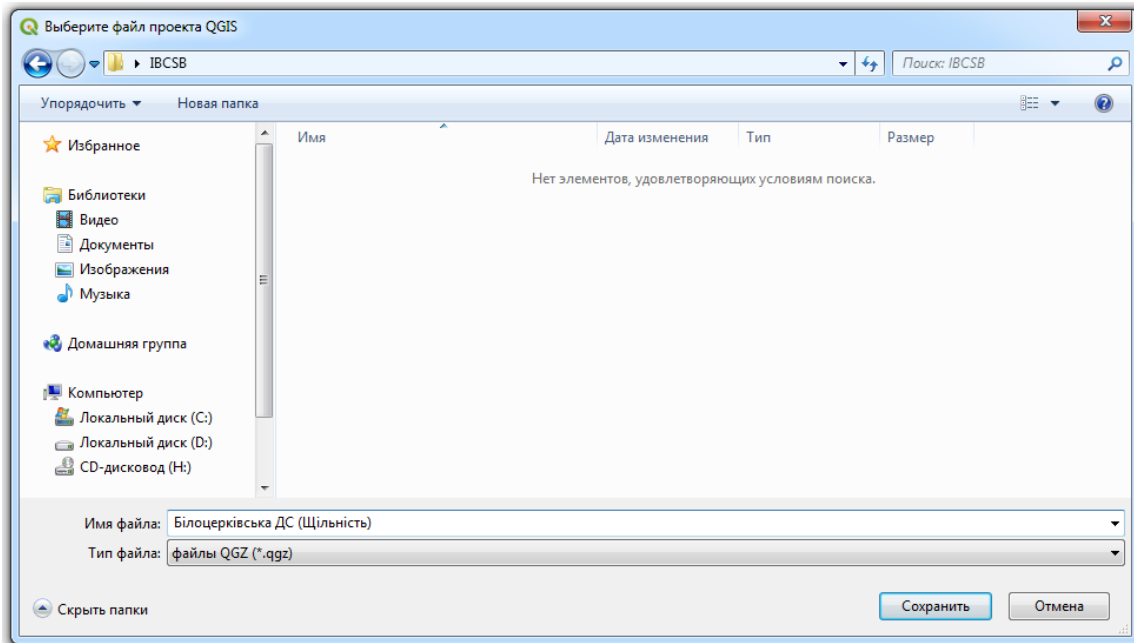


Рис. 4.2. Вікно провідника з цільовою папкою та назвою проєкта

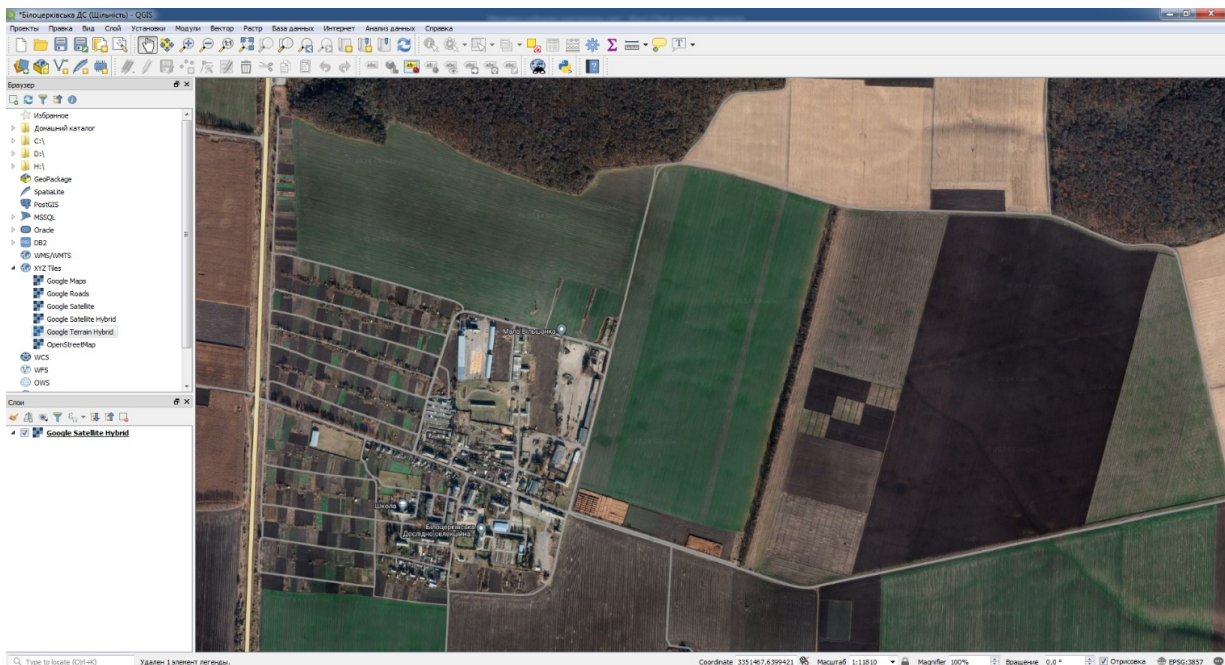
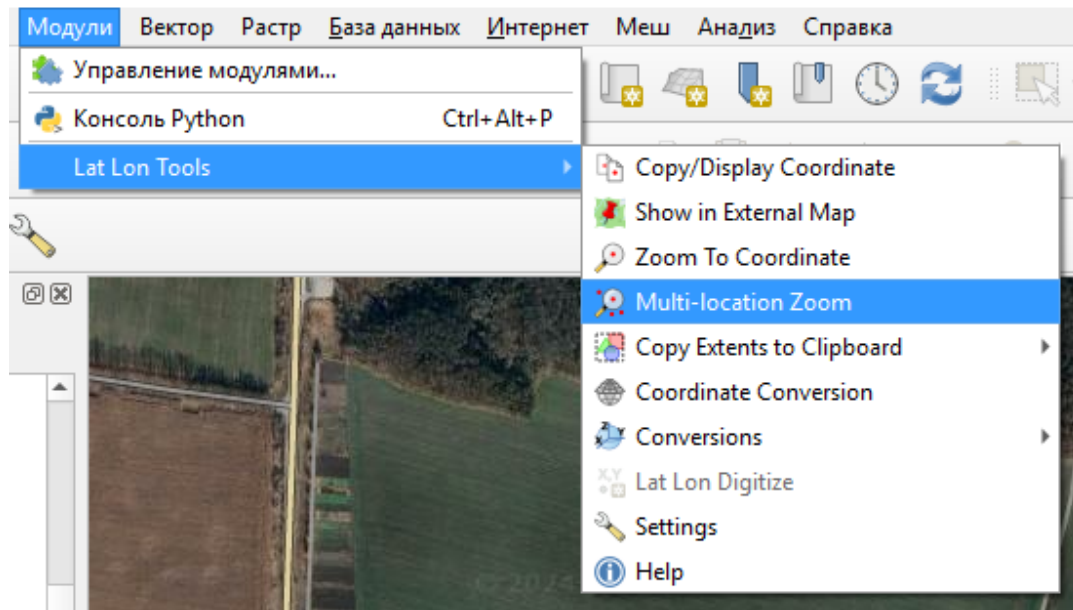



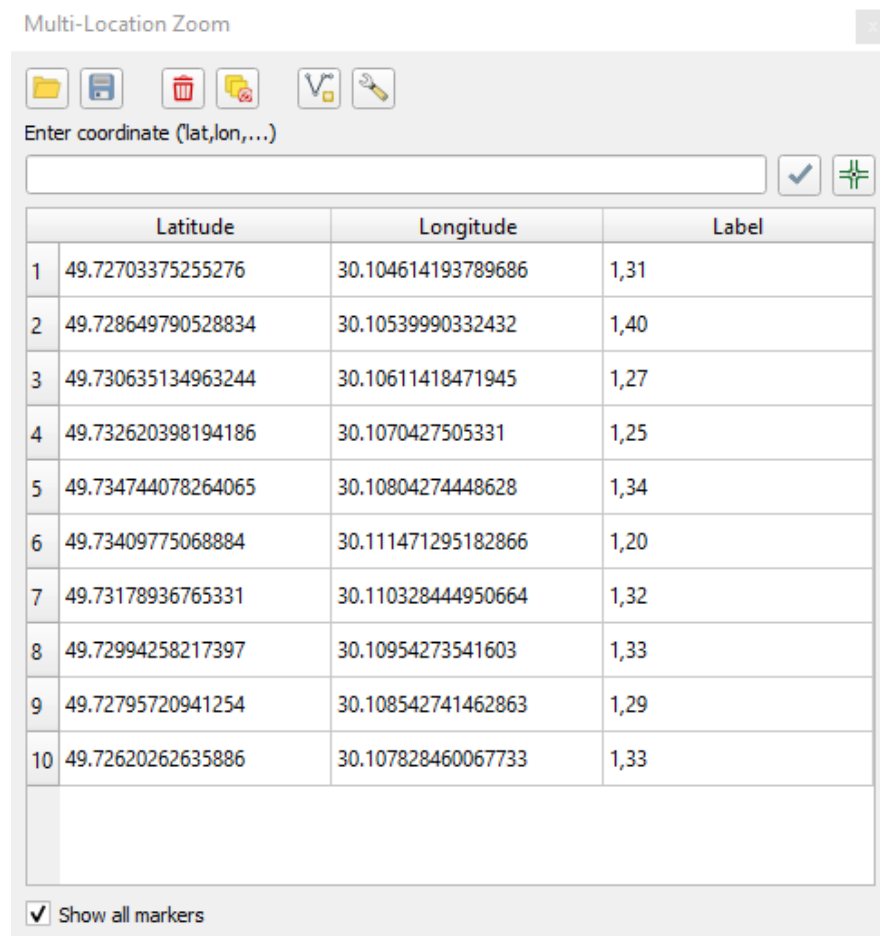
Рис. 4.3. QGIS після створення нового проєкта (Google satellite hybrid)

4. Для створення векторного шару і введення значень щільності в місцевизначених точках та їх координат виконайте команду додаткового модуля *Lat lon tools* «Модулі – Lat lon tools – Multi location Zoom» (рис. 4.4).



**Рис. 4.4. Вибір діалогового вікна Multi location Zoom**

5. У діалоговому Multi location Zoom вікні введіть послідовно координати точки відбору проб та значення щільності. Для створення шару натисніть кнопку *Create vector layer from location list*  (рис. 4.5, 4.6).

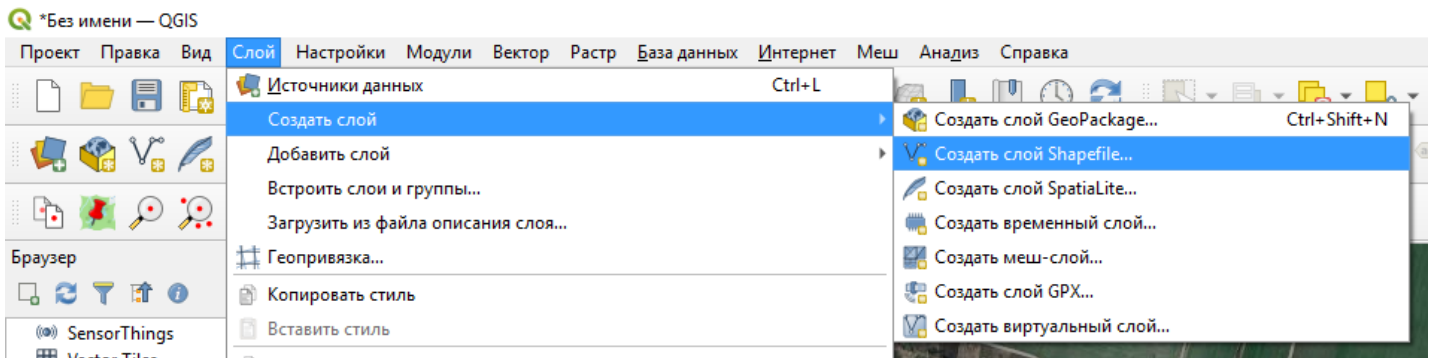


**Рис. 4.5. Діалогове вікно Multi location Zoom**



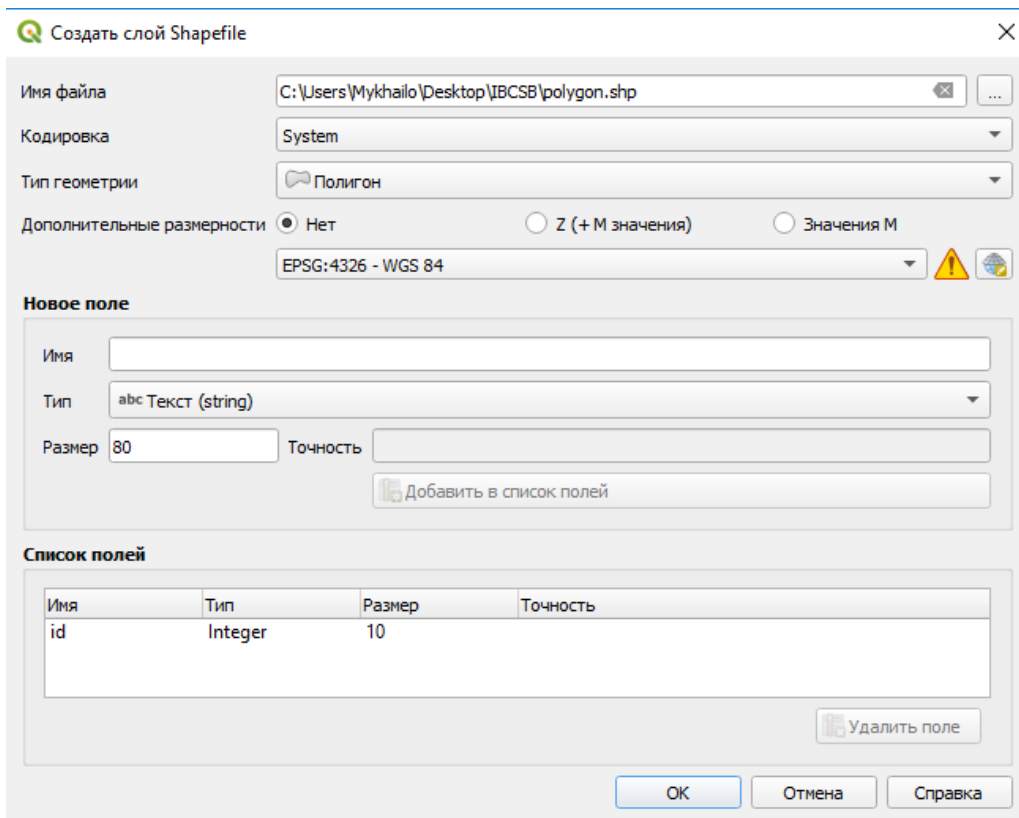
**Рис. 4.6. Результат створення векторного шару за пробами ґрунту**

6. Додайте новий шар за зовнішнім контуром дослідного поля, для цього виконайте команду «Слой – создать слой – создать слой Shapefile...» (рис. 4.7, 4.8).





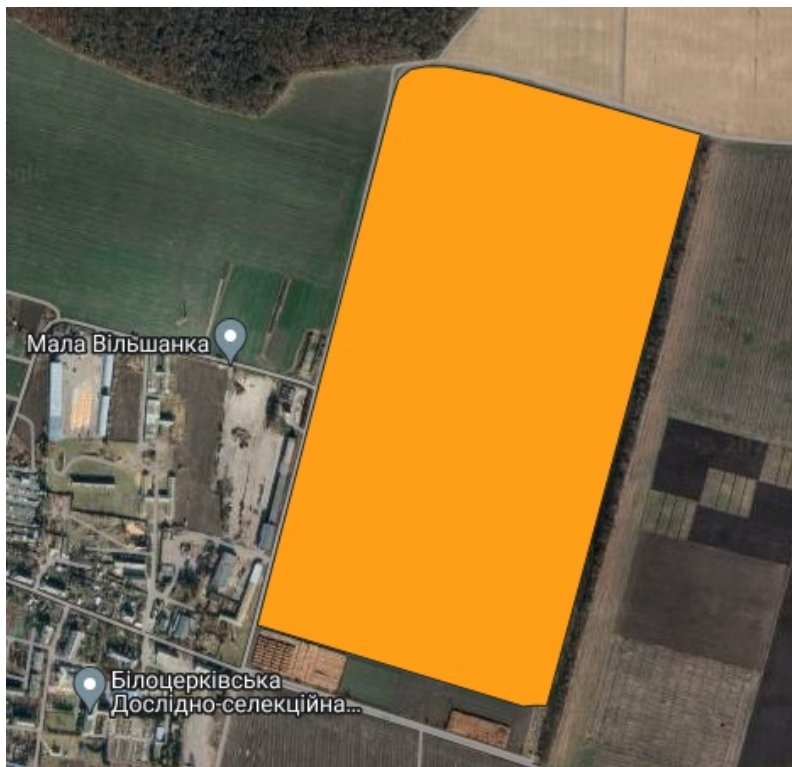
**Рис. 4.7. Створення нового шару**

7. Збережіть шар з точками даних в папку IBCSB під назвою polygon.shp та оберіть «Тип геометрії – Полігон – Ок».



**Рис. 4.8. Діалогове вікно «Создать слой Shapefile»**

Після створення шару ввімкніть режим редагування кнопкою на панелі інструментів , натисніть «Добавить полигональный объект»  окресліть контури дослідного поля (Рис. 4.9), замкніть контур та завершіть операцію правою клавішею миш. В діалоговому вікні натисніть ОК.



**Рис. 4.9. Результат окреслення контурів дослідного поля**

8. Для підготовки інтерполяції необхідно виконати реорганізацію табличних значень з текстового формату в числовий. Виконайте на панелі «Инструменты анализа» команду «Вектор – Таблица атрибутов». Змініть ім'я рядку з підписом *Label* на *Density* та змініть в полі *Тип* ідентифікатор з текстового на десятичне число як показано на рисунку 4.10. В кінці редагування натисніть «Выполнить».

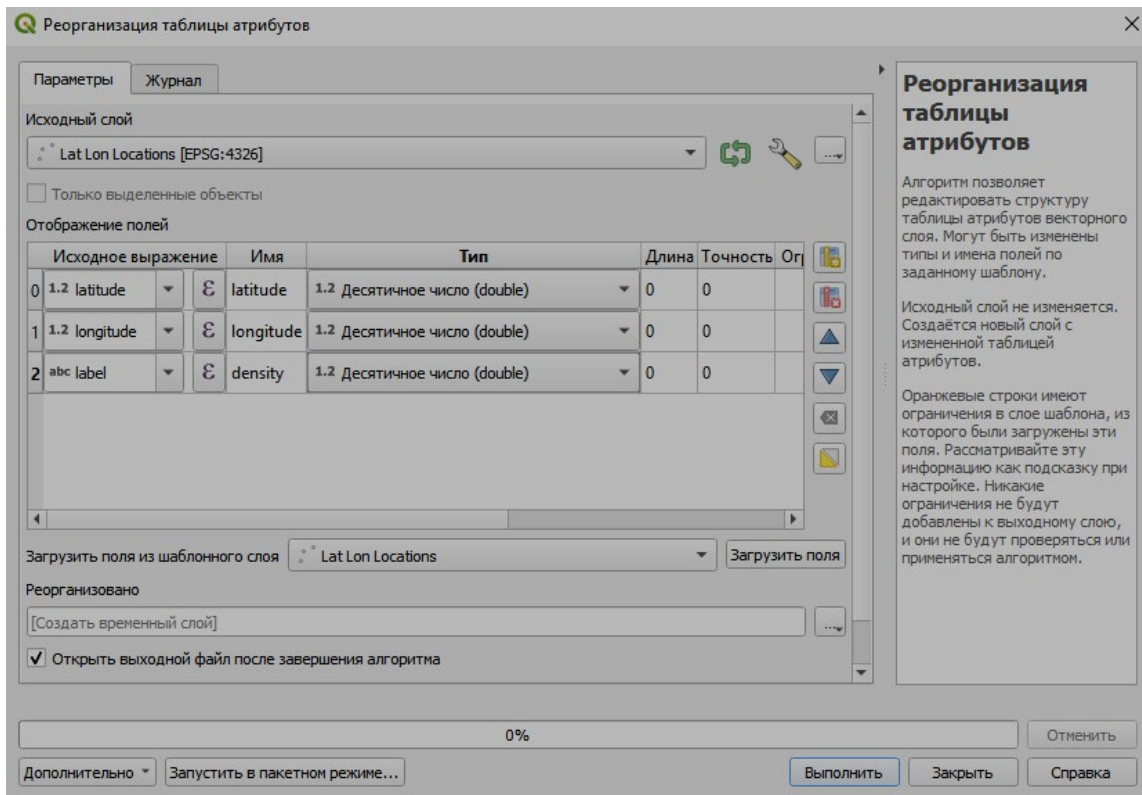



Рис. 4.10. Діалогове вікно «Реорганизация таблицы атрибутов»

9. Для виконання інтерполяції натисніть на панелі «Инструменты анализа» команду «Интерполяция – Интерполяция ОВР» (рис. 4.11). Оберіть векторний шар «Реорганизовано», атрибут інтерполяції «density» та натисніть Исходные слои . В нижньому полі повинні з'явитись вихідні дані векторного шару.

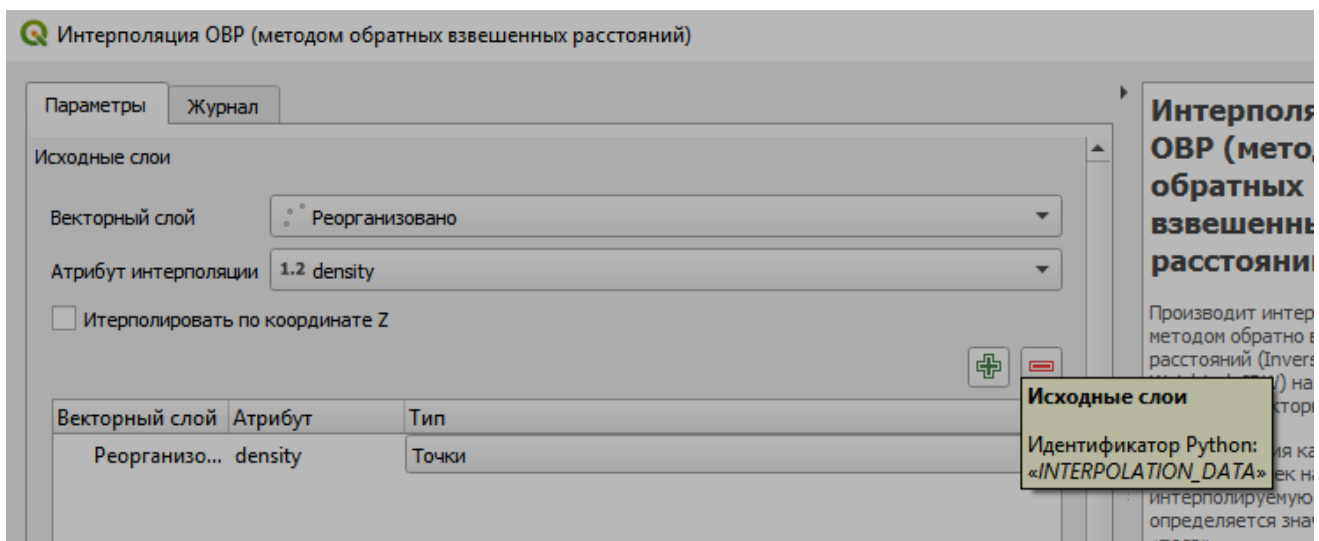
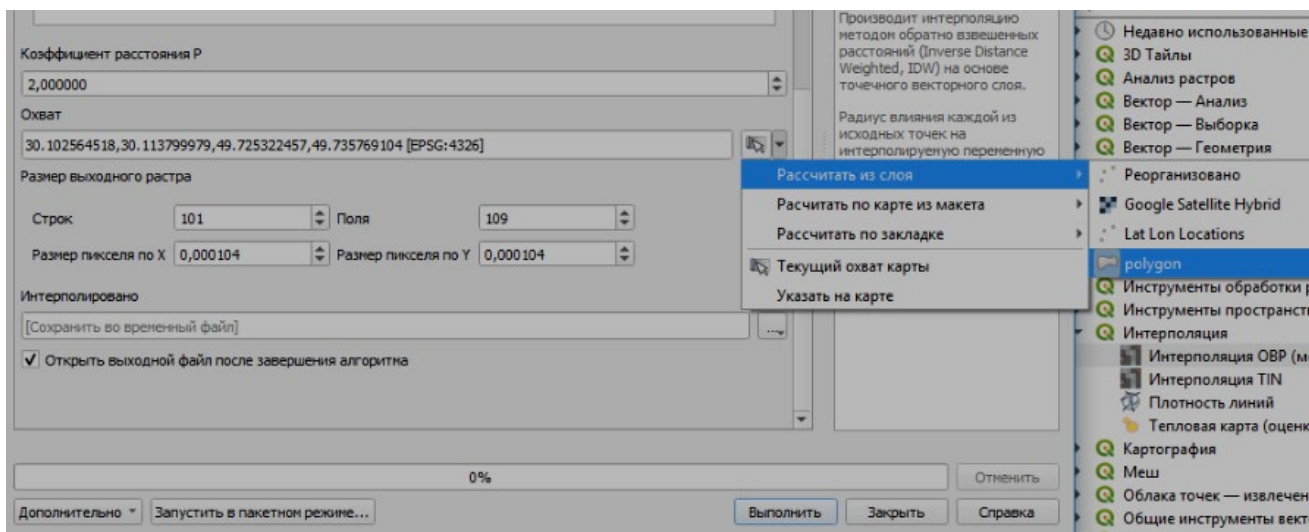


Рис. 4.11. Вікно Інтерполяції

10. У полі «Охват», оберіть полігон з зовнішніми контурами дослідного поля, оберіть векторний шар з контурами поля *Polygon*, встановіть розмір вихідного растра  $101 \times 109$  пікселів та натисніть «Выполнить» (рис. 4.12).



**Рис. 4.12.** Додавання векторного шару з контурами поля *Polygon*

В результаті виконання інтерполяції на карту додається растровий шар розподілу значень щільності чорно-білого формату у вигляді цифрової карти (рис. 4.13).



**Рис. 4.13.** Результат інтерполяції значень щільності дослідного поля за чорно-білого формату

11. Для відображення цифрової карти в кольоровому форматі в діалоговому вікні «Слои» відкрийте властивості інтерпольованого зображення (рис. 4.14).

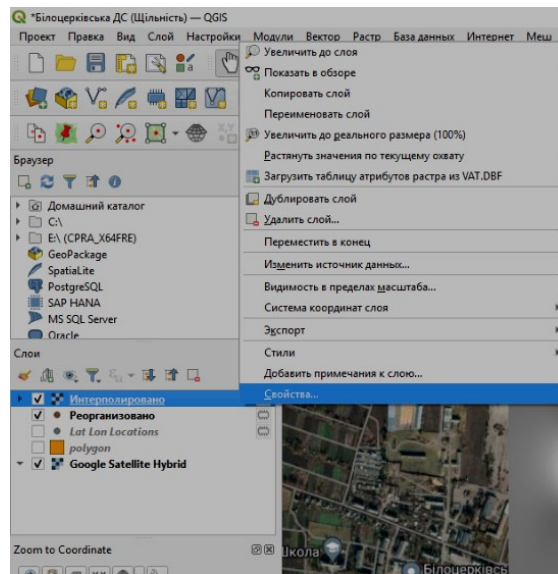


Рис. 4.14. Діалогове вікно «Слои»

12. В діалоговому вікні властивостей в полі «Изображение» встановить *Одноканальное псевдоцветное*, «Интерполяция» – *линейная*, в полі «Цветовой ряд» встановить *Spectral*, одиниці вимірювань  $г/см^3$ , точність підпису залиште 2 знаки після коми та натисніть кнопку

Классифицировать

(Рис. 4.15).

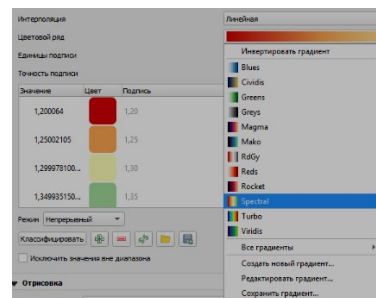
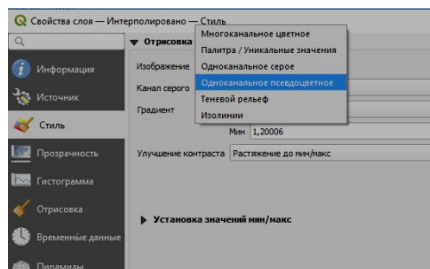


Рис. 4.15. Встановлення кольору

У результаті виконання операцій в діалоговому вікні повинна з'явитися кольорова легенда з підписами значень. Для завершення натисніть ОК (рис. 4.16, 4.17).

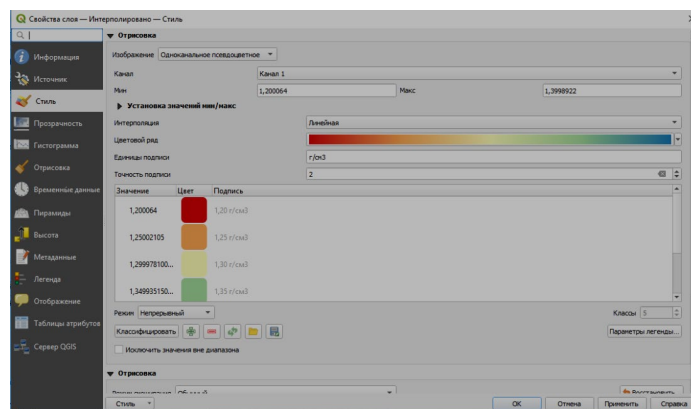
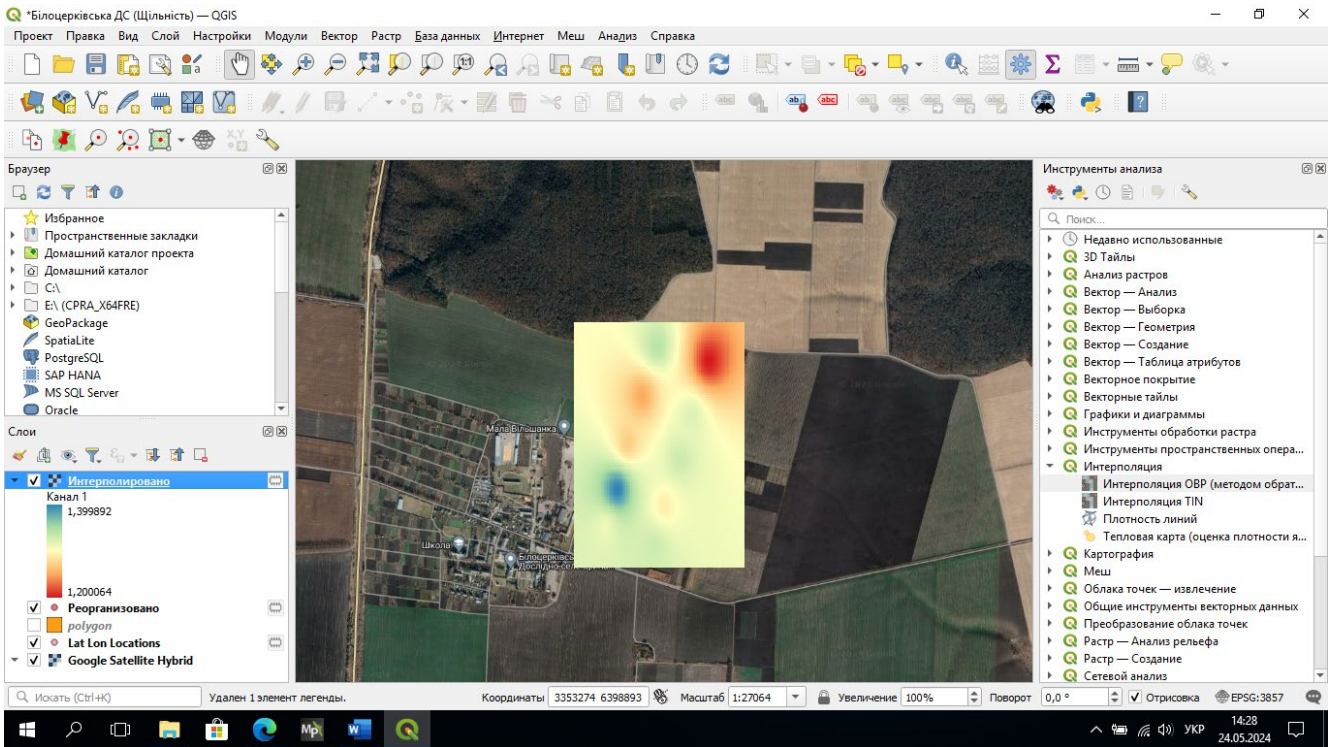
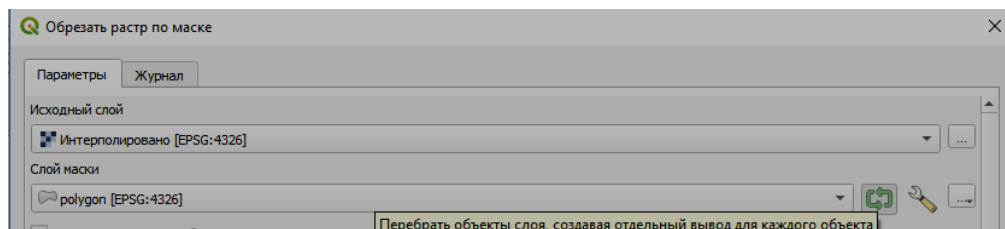


Рис. 4.16. Результат налаштувань діалогового вікна властивостей інтерпольованого шару щільності ґрунту



**Рис. 4.17. Результат інтерпольованого шару щільності ґрунту в кольоровому форматі методом зворотних зважених відстаней (ОВР)**

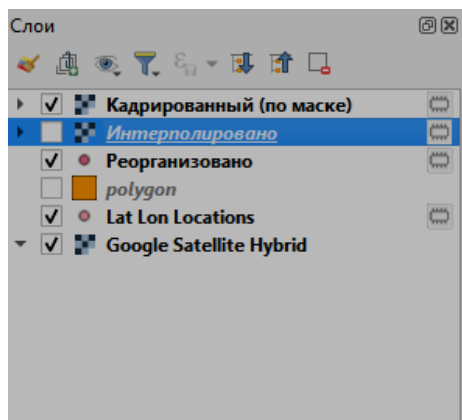
13. Виконайте команди «Растр – Извлечение – Обрезать растр по маске...» (рис. 4.18).



**Рис. 4.18. Обрізка растра**

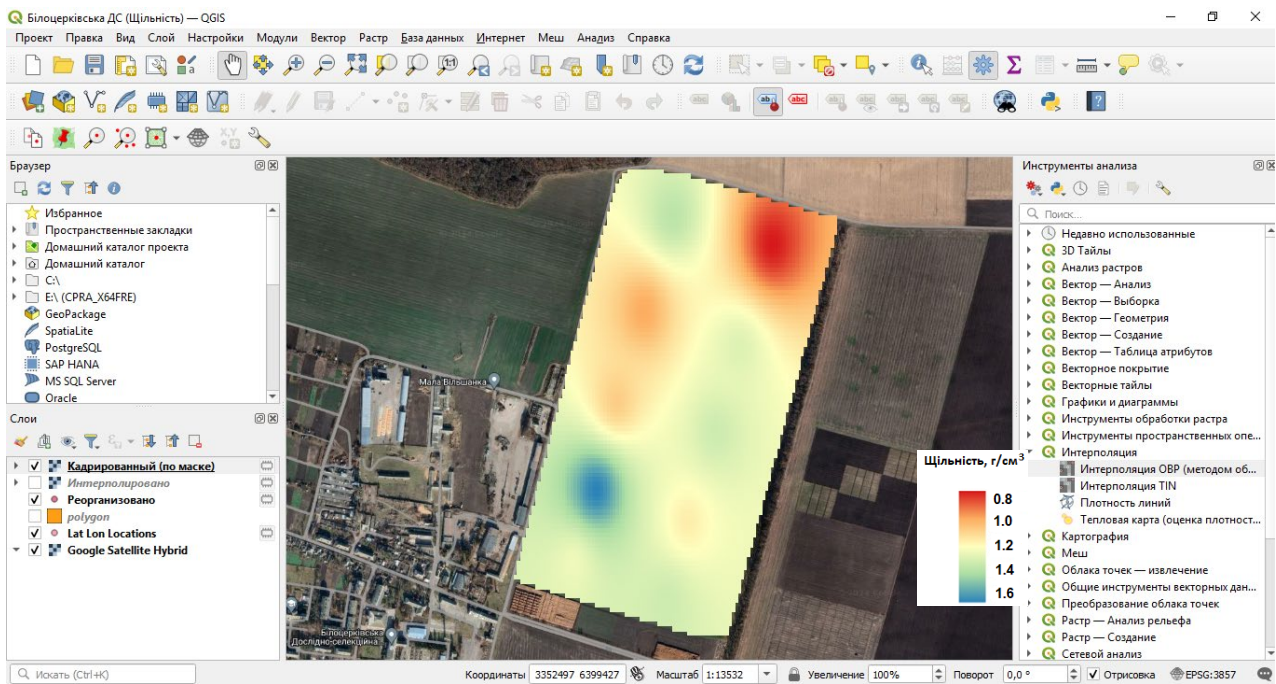
14. У полі «Слой маски» оберіть Polygon, та виконайте створення інтерполяції за контурами поля натиснувши кнопку **Выполнить**. Закрийте діалогове вікно.

15. У діалоговому вікні «Слои» Вимкніть відображення шарів *Интерполировано* та *Polygon* прибравши позначення видимості зліва від назви (рис. 4.19).



**Рис. 4.19. Вимкнення відображення шарів**

16. Для відображення растрової карти отриманого кадрованого растрового шару повторіть операції п. 10 і 11 (рис. 4.20).



**Рис. 4.20. Результат інтерпольованого шару щільності ґрунту для дослідного поля № 3 Білоцерківської селекційно-дослідної станції**

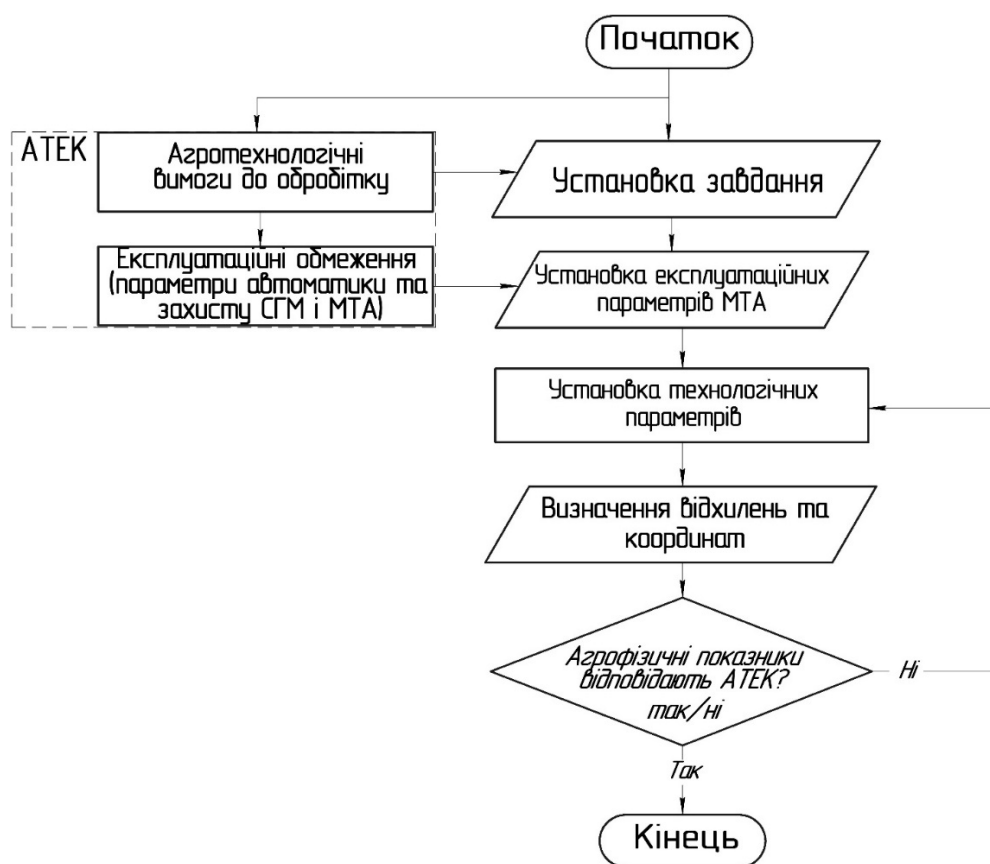
Отже, у приведеній послідовності експериментально апробовано методичний аспект автоматичної побудови електронних карт щільності ґрунту в ГІС-середовищі (QGIS). Виконано інтерполяцію місцевизначених значень щільності ґрунту, що дозволило візуалізувати просторовий розподіл цього агрофізичного показника на дослідному полі цукрових буряків Білоцерківської селекційно-дослідної станції.

## 5. АЛГОРИТМ ЗАСТОСУВАННЯ КАРТОГРАМИ АГРОФІЗИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ҐРУНТУ ДЛЯ СИСТЕМ АДАПТАЦІЇ СІЛЬСЬКО-ГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН В ТЕХНОЛОГІЯХ ВИРОЩУВАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ

Існують гіпотези [24, 25, 26], що основні вимоги до розробки сучасних ґрунтообробних машин, незалежно від умов апіорної невизначеності та умов функціонування, повинні забезпечувати якісні показники обробітку ґрунту. Під умовами апіорної невизначеності розуміють зміну гранулометричного складу ґрунту, щільності та структури, як вхідних параметрів, залежно від агрокліматичного розташування оброблювальної ділянки [27, 28, 29].

Відомо також [30, 31, 32, 33], що підвищення якості обробітку ґрунту може бути вдосконалено системою потокової адаптації з використанням агротехнологічних електронних карт (АТЕК).

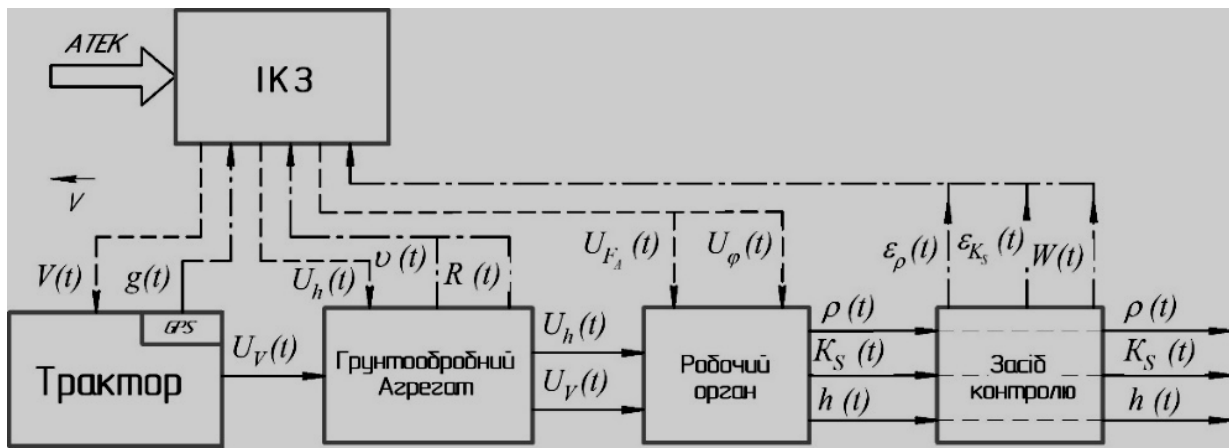
Алгоритм потокового визначення агрофізичних показників ґрунту з використанням АТЕК та інтелектуальних засобів приведено на рисунку 5.1.



**Рис. 5.1. Алгоритм потокового управління технологічним процесом обробітку ґрунту**

Зазначений алгоритм може бути формалізований під впливом сукупності керуючих дій машино-тракторного агрегату (МТА) до виконавчих органів, враховуючи сигнали зовнішніх датчиків та команд, що поступають від вимірювальних пристроїв. Тому, складовою досліджень адаптивної багатofакторної системи визначено системо-аналогову модель МТА з елементами потокової адаптації робочих органів ґрунтообробних машин (рис. 5.2).

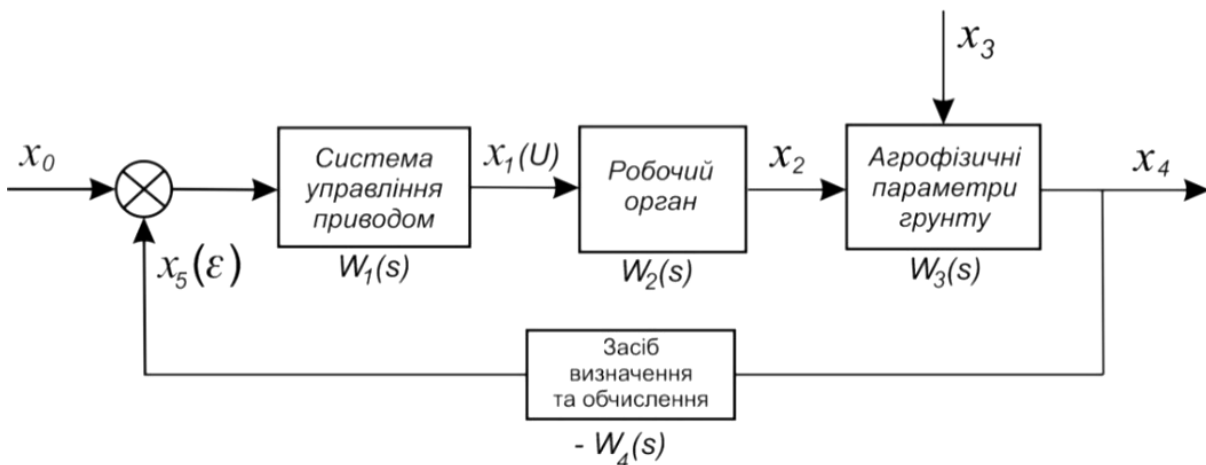
Дана модель може бути типовою для сільськогосподарських агрегатів у схемі «АТЕК – Інформаційно-керуючий засіб (ІКЗ) – Трактор і ґрунтообробний агрегат (МТА) – робочий орган (Ро) – пристрій визначення і контролю (ПВ) – інформаційно-керуючий засіб (ІКЗ)» з урахуванням керуючих дій  $U$  та значень відхилення  $\varepsilon$  агрофізичних параметрів [33, 34].



**Рис. 5.2. Системоаналогова модель потокового визначення АФПГ:**

$U$  – значення параметрів управління;  $\epsilon$  – значення відхилень агрофізичних параметрів;  
 $V$  – задана швидкість;  $h$  – глибина обробітку;  $F_A$  – активна площа;  $R$  – тяговий опір;  
 $W$  – вологість ґрунту;  $\rho$  – щільність ґрунту;  $K_S$  коефіцієнт структурності ґрунту;  
 $g$  – GPS координата;  $v$  – фактична швидкість обробітку

Функціонування потокової адаптивної системи управління робочими органами агрегату (ІКЗ) визначається розгорнутою структурною схемою ІКЗ (рис. 5.3), що моделює управління процесом регулювання АФПГ [35, 36, 37].

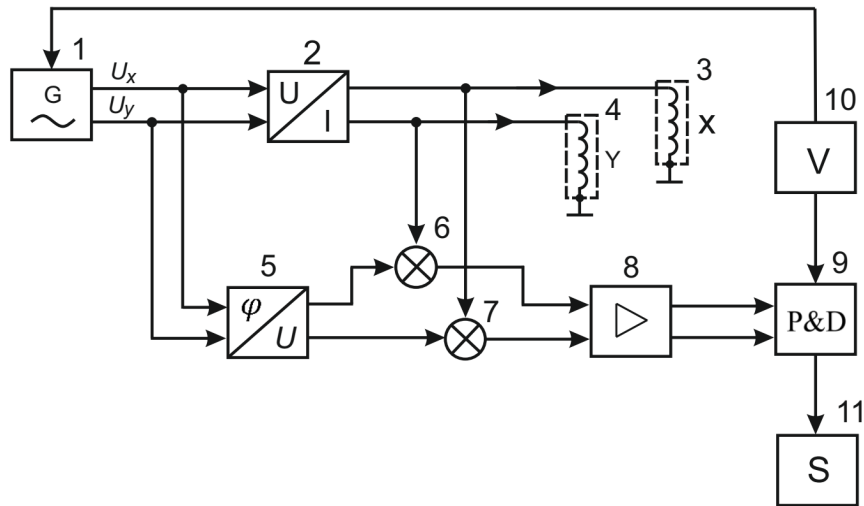


Передавальні функції:  $W_1$  – системи управління приводом;  $W_2$  – робочого органа;  
 $W_3$  – агрофізичних параметрів;  $W_4$  – потокового засобу визначення;  
 $s$  – комплексна змінна Лапласа.

**Рис. 5.3. Структурна схема управління процесом адаптивного регулювання АФПГ [35]**

Перед початком роботи система встановлює задані в АТЕК технологічні параметри обробітку ґрунту  $X_0$  ( $\rho_0, K_{S,0}, V, h_0$ ) та GPS координати, необхідні для місцевизначення агрегату. Під час роботи МТА система аналізує та визначає параметри  $X_4$  (щільність  $\rho$ , коефіцієнт структурності  $K_S$ , фактичну швидкість  $V$ , глибину  $h$  та вологість  $\omega$ ), і виконує розрахунок відхилення  $\epsilon$ . У разі неоднорідності визначає та встановлює значення параметрів управління  $U$ , що утворюють вихідні агрофізичні параметри ґрунту  $X_4$ . Зовнішніми збуреннями  $X_3$  є фізичний склад, вологість та фактична швидкість агрегату.

Пристрій адаптивного потокового неруйнівного вимірювання (АПНВ) є складовою цілісної системи інтелектуальних засобів потокового визначення АФПГ. Принципова схема пристрою (рис. 5.4). включає комплектуючі, параметри яких визначені експериментально та розрахунковим методами.

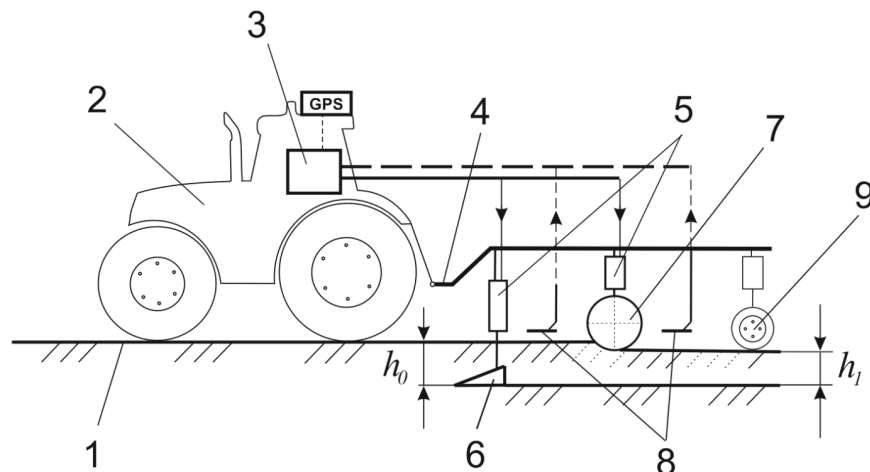


1 – генератор модульованих електричних сигналів; 2 – узгоджувальний блок; 3 – індуктивна градієнтна котушка-датчик осі X; 4 – індуктивна градієнтна котушка-датчик осі Y, 5 – блок визначення амплітуди та фази; 6 (7) арифметичний пристрій; 8 – підсилювач; 9 – блок обробки та відображення; 10 – блок визначення швидкості переміщення пристрою над поверхнею ґрунту; 11 – сигнальний перетворювач приводу робочого органу.

**Рис. 5.4. Принципова схема пристрою для адаптивного потокового вимірювання агрофізичних показників ґрунту**

За взаємодії градієнтного сигналу з ґрунтом для кожного імпульсу з амплітудою  $U_1-U_n$ , градієнтні котушки-датчики утворюють магнітну проникність  $\mu_1 \div M_n$ . В результаті чого, у ґрунті виникає Ларморова прецесія – обертання магнітного моменту електронів атомних ядер та атомів навколо вектора зовнішнього магнітного поля. Питома кількість енергії затрачена на зміну обертання магнітного моменту в одиниці об'єму пропорційна щільності ґрунту, що може бути визначена шляхом встановлення амплітудно-часових характеристик змінного індукційного поля на основі показників магнітної проникності.

Варіант використання пристрою в системі інтелектуальних засобів точного (керованого) землеробства, за безпосереднього виконання технологічних операцій, наприклад, передпосівного обробітку ґрунту наведено на рисунку 5.5.



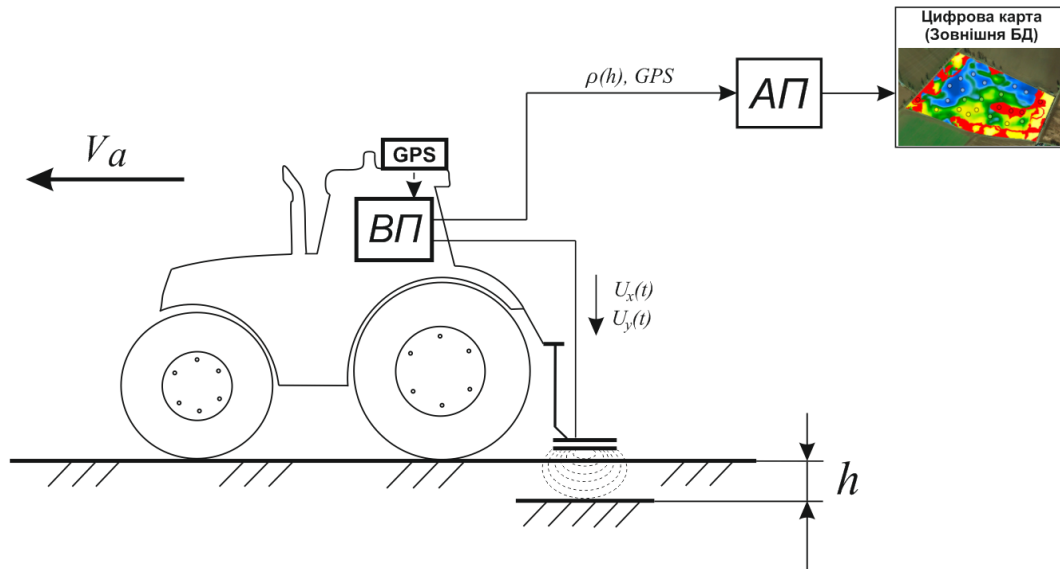
1 – ґрунт; 2 – трактор; 3 - інформаційно-керуючий засіб; 4 – ґрунтообробний агрегат; 5 – сервоприводи; 6 – розпушувачі ґрунту, 7 – котки; 8 – пристрій вимірювання АФПГ; 9 – опорне колесо;  $h_0$  – глибина рихлення ґрунту;  $h_1$  – глибина за визначеною щільністю ґрунту

**Рис. 5.5. Технологічна схема інтелектуальної системи потокового визначення АФПГ в процесі безпосереднього виконання технологічної операції**

За наведеною схемою технологічної послідовності проводиться рихлення робочим органом 4 на глибину  $h_0$ , вимірювання щільності ґрунту пристроєм 8, опрацювання даних керуючим засобом 3, передача сигналу на коток 7 для встановленої заданої в АТК глибини  $h_1$  за визначеною щільністю ґрунту. Другий прибор 8 (за котком) виконує вимірювальну функцію.

Таким чином, досягається можливість максимального вирівнювання щільності у відповідних координатах та по всьому масиву поля, що сприяє підвищенню врожайності цукрових буряків.

Інший варіант (рис. 5.6): інтелектуальної системи потокового визначення агрофізичних показників ґрунту містить вимірювальний пристрій (ВП), що на основі значень функції магнітної проникності ґрунту і калібрувальних характеристик визначає показники щільності ґрунту в межах дії індукційного поля градієнтних котушок та GPS координати в просторі.



**Рис. 5.6. Технологічна схема інтелектуальної системи потокового неруйнівного визначення агрофізичних показників для побудови електронних цифрових карт**

Арифметичний пристрій (АП) виконує обробку визначених значень і надає результати визначення в зовнішню базу даних з можливістю побудови електронної агротехнологічної цифрової карти.

Розроблений алгоритм та системоаналогова модель потокового управління технологічним процесом обробітку ґрунту з використанням інтелектуальних засобів, що враховує умови апріорної невизначеності (зміну гранулометричного складу, щільності та структури ґрунту). Модель забезпечує адаптацію робочих органів мобільного технологічного агрегату (МТА) на основі керуючих дій  $U$  та відхилень  $e$  агрофізичних параметрів, використовуючи інформацію з агротехнологічних електронних карт (АТЕК).

Використання вимірювального пристрою для побудови електронних цифрових карт є ключовим елементом точного (керованого) землеробства. Пристрій, на основі значень функції магнітної проникності та GPS-координат, визначає показники щільності ґрунту та передає їх до зовнішньої бази даних. Це надає можливість картографування АФПГ для подальшого аналізу та адаптивного управління технологічними процесами.

## ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Habran S., Philippart C., Jacquemin P., Remy S. Mapping agricultural use of pesticides to enable research and environmental health actions in Belgium. *Environmental Pollution*. 2022. Vol. 301. Article 119018. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119018>
2. Montello D. Cognitive Map-Design Research in the Twentieth Century: Theoretical and Empirical Approaches. *Cartography and Geographic Information Science*. 2002. Vol. 29, Iss. 3. P. 283–304. <https://doi.org/10.1559/152304002782008503>
3. Robinson A. H. *The Look of Maps*. Madison, WI : University of Wisconsin Press, 1952. 105 p.
4. Дудун Т. В., Тітова С. В. Географічні карти та картографічний метод дослідження. Київ, 2017. 150 с.
5. Huo D., Malik A. W., Ravana S. D. et al. Mapping smart farming: Addressing agricultural challenges in data-driven era. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2024. Vol. 189, Part A. Article 113858. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113858>
6. Espinel R., Herrera-Franco G., Rivadeneira García J. L., Escandón-Panchana P. Artificial Intelligence in Agricultural Mapping: A Review. *Agriculture*. 2024. Vol. 14, Iss. 7. Article 1071. <https://doi.org/10.3390/agriculture14071071>
7. Кохан С. С., Москаленко А. А., Шило Л. Г. Geoinformation service of soil quality evaluation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2013. Vol. 6, No. 3. P. 18–25. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2013.19174>
8. De Caires S. A., Martin C. S., Atwell M. A. et al. Advancing soil mapping and management using geostatistics and integrated machine learning and remote sensing techniques: a synoptic review. *Discovery Soil*. 2025. Vol. 2. Article 53. <https://doi.org/10.1007/s44378-025-00082-z>
9. Афанасьев О. В., Нестеренко С. Г. Картографія. Картографія і топографія : конспект лекцій для студентів денної форми навчання першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальностями 193 – Геодезія та землеустрій і 101 – Екологія. Харків : Харківський національний ун-т міського господарства ім. О. М. Бекетова, 2021. 106 с.
10. Karydas C., Ioannis G., Koutsogiannaki E., Simantiris L. Evaluation of spatial interpolation techniques for mapping agricultural topsoil properties in Crete. *EARSeL eProceedings*. 2009. Vol. 8.
11. Данілова Н. В. Цифрові плани і карти : конспект лекцій. Одеса : ОДЕКУ, 2023. 123 с.
12. Hengl T. *A Practical Guide to Geostatistical Mapping of Environmental Variables*. EUR 22904 EN. Luxembourg : Office for Official Publications of the European Communities, 2007. JRC38153.
13. Sun Q., Liu H. *Digital Cartography*. 2021. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-0614-4\\_9](https://doi.org/10.1007/978-981-16-0614-4_9)
14. Комп'ютерне програмне забезпечення PLM Mapping. URL: <https://www.newhollandrochester.com/precision-farming/new-holland-plm-mapping/>
15. Комп'ютерне програмне забезпечення FarmQA. URL: <https://neoag.net/mapeo-de-suelos-con-sensor-de-rayos-gamma-soiloptix/>
16. Комп'ютерне програмне забезпечення FarmLab. URL: <https://getfarmlab.com/software/>
17. Комп'ютерне програмне забезпечення Veris SoilViewer. URL: <https://www.veristech.com/software>
18. Комп'ютерне програмне забезпечення QGIS. URL: <https://adamchukra.mcgill.ca/qgis/index.html> ; <https://maplab.alwaysdata.net/soilstools.html>
19. Комп'ютерне програмне забезпечення TSM Mapping. URL: <https://metos.global/en/metos-tsm/>
20. Комп'ютерне програмне забезпечення SWAT Maps. URL: <https://swatmaps.com/>
21. Комп'ютерне програмне забезпечення GeoPard. URL: <https://geopard.tech/>
22. Комп'ютерне програмне забезпечення SMS (AG Leader). URL: <https://www.agleader.com/farm-management/sms-software/>

23. Комп'ютерне програмне забезпечення SoLIM Suite. URL: <https://gktechinc.com/adms-product/>
24. Saleh A., Al-Suhaibani A., Al-Janobi A. Draught Requirements of Tillage Implements Operating on Sandy Loam Soil. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 1997. Vol. 66, No. 3. P. 177–182. <https://doi.org/10.1006/jaer.1996.0130>.
25. Ucgul M., Chang C.-L. Design and Application of Agricultural Equipment in Tillage Systems. *Agriculture*. 2023. Vol. 13, No. 4. <https://doi.org/10.3390/agriculture13040790>
26. Zybarev Y. N., Fomin D. S. Modern approaches to adaptive tillage complexes in crop rotation and intensive land use in the Middle Urals. *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 222. P. 1–10. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022202058>
27. Кравчук В. І. Теоретичні основи адаптації сільськогосподарських машин. Київ : НАУ, 2005. 208 с.
28. Han Q., Siddique K. H. M., Li F. Adoption of Conservation Tillage on the Semi-Arid Loess Plateau of Northwest China. *Sustainability*. 2018. Vol. 10, No. 8. P. 1–16. <https://doi.org/10.3390/su10082621>
29. Hanesch M., Scholger R. The influence of soil type on the magnetic susceptibility measured throughout soil profiles. *Geophysical Journal International*. 2005. Vol. 161, No. 1. P. 50–56. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2005.02577.x>
30. Shirzaditabar F., Heck R. J. Characterization of soil magnetic susceptibility: a review of fundamental concepts, instrumentation, and applications. *Canadian Journal of Soil Science*. 2022. Vol. 102, No. 2. P. 231–251. <https://doi.org/10.1139/cjss-2021-0040>
31. Asgari N., Ayoubi S., Demattê J. A. M. Soil drainage assessment by magnetic susceptibility measures in western Iran. *Geoderma Regional*. 2018. Vol. 13. P. 35–42. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2018.03.003>
32. Kravchuk V., Ivaniuta M., Ganzhenko O., Zaitsev Ye. Density of soil composite composition in a changing magnetic field. *Plant and Soil Science*. 2024. Vol. 15, No. 3. P. 30–43. <https://doi.org/10.31548/plant3.2024.30>
33. Кравчук В. І., Іванюта М. В., Зайцев Є. О., Арендаренко В. М. Дослідження щільності ґрунту неруйнівним методом. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів»*. 2023. № 3. С. 52–59. <https://doi.org/10.32782/msnau.2023.3.9>
34. Rawlins J. K. Basic AC Circuits. 2nd ed. Sams Publishing, 2000. 541 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-7173-6.X5000-7>
35. Kravchuk V. I., Sinchenko V. M., Ivaniuta M. V., Shustyk L. P. Streaming analyzing of soil density state and forecast of research. *The Latest Technologies in the Agroindustrial Complex*. 2022. Vol. 30. P. 107–115. [http://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2022-1-30\(44\)-11](http://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2022-1-30(44)-11)
36. Kravchuk V. I., Ivaniuta M. V., Shustik L. P. Device for operative determination of physical and mechanical properties of soil. Patent of Ukraine No. 147335. 2021.
37. Varanov G., Komisarenko O., Kravchuk V., Ivaniuta M. Проблеми агротехнологічного електронного картографування для отримання врожаїв рослинництва. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2022. Т. 3. С. 49–53. <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2022.3.049>

Наукове видання

**Володимир Іванович КРАВЧУК,  
Олександр Миколайович ГАНЖЕНКО,  
Володимир Михайлович КВАК,  
Михайло Васильович ІВАНЮТА,  
Михайло Ярославович ГУМЕНТИК,  
Ярослав Дмитрович ФУЧИЛО,  
Людмила Анатоліївна ПРАВДИВА,  
Олександр Борисович ХІВРИЧ,  
Олег Михайлович АТАМАНЮК,  
Інна Миколаївна ГОЛЬДЕРМАХЕР,  
Юрій Олегович ГУМЕНЮК,  
Алішер Кахрамонович НУРМУХАММЕДОВ**

**ФОРМУВАННЯ КАРТОГРАМ АГРОФІЗИЧНОГО СТАНУ ҐРУНТУ  
ДЛЯ СИСТЕМ АДАПТАЦІЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН  
У ТЕХНОЛОГІЯХ ВИРОЩУВАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ**

**Науково-методичні рекомендації**

*Електронне видання*

Погоджено до опублікування 15.12.2025.  
Формат: PDF. Гарнітура Times New Roman.

**Видавець**

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН  
03110, м. Київ, вул. Клінічна, 25  
Тел.: (044) 275-50-00; e-mail: sugarbeet@ukr.net  
<https://bio.gov.ua>  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
ДК № 5713 від 19.10.2017

