

НУБІП України

НУБІП України

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

05.10 - КМР.1642 «С» 2021.10.07. 014ПЗ

ЯКИМОВИЧА МАКСИМА ВОЛОДИМИРОВИЧА

2021 р.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Агробіологічний факультет

УДК 631.811:631.5:633.854.79

ПОГОДЖЕНО

Декан агробиологічного факультету

(назва факультету (ФНІ))

_____ професор Тонха О.Л.

(підпис)

(ПІБ)

“ ” _____ 2021 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри
агрохімії та якості продукції
рослинництва ім. О.І. Душечкіна

(назва кафедри)

_____ професор Бикін А.В.

(підпис)

(ПІБ)

“ ” _____ 2021 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА з теми: «Спектральні агрохімічні дослідження ґрунтів»

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Спеціальність 201 Агрономія

(код і назва)

Освітня програма Агрохімсервіс у прецизійному агровиробництві

(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-наукова

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

д.с.-г.н., професор,
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Бикін А.В.
(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

к.с.-г.н., доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Пасічник Н.А.
(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Якимович М.В.
(ПІБ)

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

КИЇВ 2021

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

НУБІП України

Агробіологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри агрохімії та якості продукції
рослинництва ім. О.І. Духечкіна

Професор, д.с.-г.н. Бикін А.В.

(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ІПБ)

“ ” _____ 2021 року

НУБІП України

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Якимовичу Максиму Володимировичу

Спеціальність 201 Агрономія
Освітня програма Агрохімсервіс у прецизійному агровиробництві
Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи «Спектральні агрохімічні дослідження ґрунтів»

затверджена наказом ректора НУБІП України від “07” жовтня 2021р. №1642 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру 25.10.2021
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи агрономічні дослідження
Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Огляд наукових літературних даних за темою роботи.
2. Дані супутникового моніторингу дослідного поля і спектральних досліджень за допомогою БПЛА
3. Результати аналітичних досліджень ґрунту, рослинного матеріалу, фенологічних і біометричних досліджень

Дата видачі завдання “07” жовтня 2020 р.

НУБІП України

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи _____ Пасічник Н.А.

(підпис)

Завдання прийняв до виконання _____ Якимович М.В.

(підпис)

НУБІП України

РЕФЕРАТ

магістерської кваліфікаційної роботи

на здобуття освітнього ступеня «Магістр»

Тема роботи: «Спектральні агрохімічні дослідження ґрунтів»

Дипломна робота виконана на 69 сторінках друкованого тексту, містить 10 таблиць, 29 рисунків, список літератури включає 47 джерел.

Складається зі вступу, 4 розділів, висновків і рекомендацій виробництву.

робота виконана на основі власних досліджень альтернативної методики досліджень ґрунтового покриву – спектрального методу, з інтерпретацією даних до аналітичних даних за стандартними методами. Проведено обстеження ґрунтів різного типу (темно-сірого опідзоленого, лучно-чорноземного карбонатного, сірого лісового), встановлені залежності між даними інфрачервоної спектроскопії й результатами лабораторних досліджень.

У роботі розглянута можливість використання польових сканерів ґрунту в умовах господарства оцінена їх фінансова ефективність, розглянуті недоліки та переваги даної новітньої технології в умовах дослідного господарства та ринку України в цілому.

Ключові слова: родючість ґрунту, агрохімічний аналіз, інфрачервоний спектр, сканер ґрунту.

Зміст

НУБІП України

РОЗДІЛ 1. СУЧАСНІ МЕТОДОЛОГІЧНІ Й ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ

РІШЕННЯ СПЕКТРАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У РОСЛИННИЦТВІ..... 8

1.1. Пристрої спектральної діагностики..... 10

РОЗДІЛ 2. КОНЦЕПЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ АНАЛІЗУ ҐРУНТУ ВІД

AGROCARES 19

РОЗДІЛ 3. ВИПРОБУВАННЯ СПЕКТРАЛЬНОГО СКАНЕРУ AGRO

CARES НА РІЗНИХ ТИПАХ ҐРУНТУ (результати досліджень)..... 38

Висновки..... 54

Список використаних джерел..... 56

Додатки..... 61

Додаток А. Довідкові методи «Лабораторії Золотого Стандарту» (GSL) ... 61

Додаток Б. Технічна специфікація ручного ІЧ сканера..... 62

Додаток В. Звіти про спектральні дослідження ґрунт темно-сірий опідзолений (програмне забезпечення AgroCares)..... 63

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

Вступ

У сучасній науці альтернативні методи дослідження ґрунтового покриття Землі, що дають можливість отримувати результат вимірювань швидко, в режимі реального часу в польових умовах та ще й з допустимою похибкою отриманих даних, створили справжній резонанс поглядів представників наукового товариства. Наука не стоїть на місці, як і не стоять технології, що в поєднанні дають можливість створити інновацію, що ні в якому разі не ставить під сумнів загальноприйняті вчення, але дає можливість використовувати їх в зрозумілому для пересічного користувача вигляді. Звичайно за лаштунками кожного технологічного прориву є вчені, без підтримки яких він би не відбувся, але не можна недооцінювати і роль технологій, що невинно еволюціонують (нові матеріали, розробки, досконалі програмні рішення). Такі терміни як велика база даних, машинне навчання, штучний інтелект, нейронні мережі, хмарні технології в усіх сферах життєдіяльності людини стають повсякденними. Не винятком і є сільське господарство.

Нас навчали, що масив знань агронома та кількість факторів, що він враховує в плануванні своєї роботи, їх структуризація та аналітика буде не підсильна комп'ютеру навіть досить високого рівня, що формула урожаю занадто складна, об'ємна та має багато перемінних. Так з цим не можна не погодитись, але якщо взяти окремі її блоки, їх можна використати, відобразивши у виді машинного коду та створити алгоритми їх виконання, в залежності від умов, що склалися в даному середовищі, в даний час. Хмарні технології дають можливість задіяти, до опрацювання, вихідних даних, найпотужніші та найсучасніші комп'ютерні процесори.

Сьогодні відомо про прилади, що обладнані інфрачервоним спектрометром, що працює у ближньому (NIR), середньому (MIR) діапазоні інфрачервоного діапазоні хвиль та (XRF) – рентгено-флуоресцентний аналіз. Однією з причин такої популярності технології (NIR) є вартість, що в силу

свої інноваційності, не є загальнодоступною, але вже не є занадто вартісною від (MIR) та (XRF).

Можливість визначити рівні забезпечення в ґрунті NPK, Ca, Mg, Fe, Al органічну речовину, ЄКО, гранулометричний склад, кислотність в точках

поля, використати хмарні технології для швидкої обробки даних, закартувати поле з визначеними зонами неоднорідності, та ще й в режимі реального часу,

побудувати, на загальноприйнятих науково обґрунтованих засадах, рекомендації, що дасть змогу більш якісно виконати с.-г. операцію, і є тим

прецизійним агровиробництвом (точним землеробством), в обік якого вже

вимушені рухатись сучасні агровиробники. Відповідно, підлаштовуватись профільні ВНЗ при підготовці молодих спеціалістів та науковців. Гонитва за

зменшенням витрат, підвищення рівнів врожаїв, збереженню родючості ґрунту в умовах майбутньої прогнозованої продовольчої кризи і є тим

рушієм, що дає розуміння того, що майбутнє вже настало.

В даній роботі за мету поставлено розглянути практичне використання спектральних технологій в діагностиці ґрунтів, а саме методом спектральної

діагностики ґрунту методом ІЧ спектроскопії (NIR) за допомогою ручного польового сканера на ґрунті в господарстві ТОВ "Біотех ЛТД" одного типу

ґрунтів, дослідної ділянки з іншим типом ґрунтів та порівняння отриманих даних зі стандартним дослідом в агрохімічній лабораторії. Провести оцінку

доцільності використання даної технології в господарстві, для бізнесу та наукових цілей.

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 1. СУЧАСНІ МЕТОДОЛОГІЧНІ Й ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ РІШЕННЯ СПЕКТРАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У РОСЛИННИЦТВІ

У монографії, присвяченій спектральному аналізу в рослинництві, науковців НУБіП України [1] поданий детальний аналіз спектрального аналізу в діагностиці стану рослин. «При розробці методики спектральної діагностики рослин актуальним питанням є вибір діапазону спектру для отримання максимальної інформативності, розподільної здатності та вибірковості. Нижче наведені основні діапазони спектру електромагнітного випромінювання, що використовуються для моніторингу».

Інфрачервоний діапазон. Найбільш розповсюдженими в «технологіях спектрального моніторингу» є ближній 740-2500 нм (NIR), середній 2,5-50 мкм (MIR) та дальній інфрачервоні діапазони 50-2000 мкм (FIR). Вибір саме цих діапазонів обумовлений їх відносно слабкою залежністю від освітлення, що принципово важливо при розміщенні сенсорного обладнання на літаках супутникових платформах. Так, T.Sakamoto та інші (2010) [2] досліджували сезонні зміни насаджень із використанням нічної зйомки. Також інфрачервоний спектр широко використовувався і в лабораторних дослідженнях при побудові 3-D моделей трьохмірних структурних деталей рослин. Були розроблені спеціальні методи, такі як оптична когерентна мікроскопія Reeves (2002) [3], що полегшує візуалізацію рослинних структур у цілому організмі на мікроскопічному рівні» [1].

Оптичний діапазон. До нього відносять, як зазначено в [1] «діапазон електромагнітних хвиль із довжиною 400-700 нм. Оптичний спектр історично використовувався для візуальної оцінки стану рослин щодо хвороб, оцінки стану мінерального живлення, водозабезпечення тощо. Широкому впровадженню саме оптичного спектру також сприяла доступність та відносно низька вартість сенсорного обладнання, можливість використання обладнання з інших галузей. Використання оптичного діапазону для моніторингу рослинних об'єктів описано в оглядових роботах Dhondt S. із

співавторами (2013) [4], Cobb J.(2013) та ін. [5], Fiorani F. and Schurr U. (2013)» [6].

Ультрафіолетовий діапазон спектру. «Ультрафіолетовому спектру відповідає діапазон електромагнітного випромінювання із довжиною хвилі 10-400 нм. Ультрафіолет відносно мало використовувався для моніторингу стану рослин, проте Chittka L. та інші (1994) в [7] експериментально довели можливість використання цього діапазону для оцінки біологічних об'єктів. В [8] Garcis J.E. та інші (2014) досліджували можливість здійснення моніторингу стану рослин із використанням видимого світла та ультрафіолету».

Рентгенівський діапазон спектру. «До такого спектру відноситься діапазон електромагнітного випромінювання із довжиною хвилі 0,005-100 нм. Цей діапазон використовувався в роботі [8] Staedler Y.M. та іншими (2013) для створення 3D моделей рослин. Punshon T. та інші (2013) в [9] представив роботу щодо методичних підходів до використання синхронної рентгенівської флуоресценції при дослідженні рослин. Garbout, A. та інші (2012) в [11] описав використання технології сканування PET/CT для 3D візуалізації та кількісної оцінки взаємодії ґрунту та рослини в реальному часі» [1].

Терагерцеве випромінювання (THz) – випромінювання «є неіонізуючим, легко проходить крізь більшість діелектриків, але сильно поглинається провідними матеріалами та деякими діелектриками. Наприклад, дерево, пластик, кераміка для нього прозорі, а метал і вода – ні. Ці властивості можуть бути корисними при вивченні рослин. Так, Jördens C. та інші (2009) [11] використовували цей діапазон для оцінки стану води листя за допомогою діелектричної проникності на терагерцевих частотах» [1].

Мікрохвильове випромінювання (Microwave). «У побуті використовується для безконтактного нагріву у мікрохвильових печах. Menzel M.T. та інші в [13] використали цей частотний діапазон для неінвазивного визначення біомаси рослин» [1].

1.1. Пристрої спектральної діагностики

Умовно спектральні пристрої можна поділити на три групи [1].

1. **флуоресцентні** (пристрої фіксують власне освітлення речовини, триває яке лише в опроміненні зовнішніми джерелами).

2. **трансмісійні** – фіксують випромінювання, що крізь об'єкт досліджень проходить.

3. засновані на «**фіксації відбитого випромінювання** (фотоапарати, спектрометри тощо)».

Флуоресцентні та трансмісійні пристрої «не можуть використовуватись при дистанційному зондуванні, оскільки вимагають безпосереднього контакту із об'єктом, проте придатні для калібрування інших пристроїв моніторингу рослин» [1].

Флуориметри

У дослідженнях «одним із найбільш перспективних методів оперативної оцінки стану рослини вважається метод індукції флуоресценції хлорофілу (ІФХ). Суть флуоресценції хлорофілу в можливості зеленого пігменту – хлорофілу – поглинати, а потім випромінювати (відтворювати) світлову енергію та довгі хвилі світла. Тривалість такого випромінювання хлорофілом визначається двома факторами: кількістю світла, поглиненої рослиною, і рівнем конкуренції за світлову енергію з іншими енергетичними процесами, що відбуваються в рослині (в основному, це процеси синтезу-розпаду речовин і перетворення енергії). Якщо хлорофіл починає менше засвоювати світло, його конкуренти отримують світлову енергію більше. Відповідно, зміни в інтенсивності флуоресценції відображають зміни в ефективності утворення нових речовин, що вплине на майбутній урожай. На цей час розроблено два основні типи флуориметрів, а саме із довгою стимуляцією хлорофілу та імпульсні системи» [1].

Флуориметри «довгої стимуляції (вимірювачі впливу стресу на рослину) призначені для вимірювання інтенсивності світла хлорофілу, яка виникає після короткочасного відсутності світла. Фізіологи називають цей

процес швидкої індукції флуоресценції або індукцією Каутського. Графік зміни флуоресценції від моменту початку освітлення до досягнення стаціонарного рівня (крива ІФХ) несе інформацію про стан фотосинтезуючого апарату» (рис. 1.2).

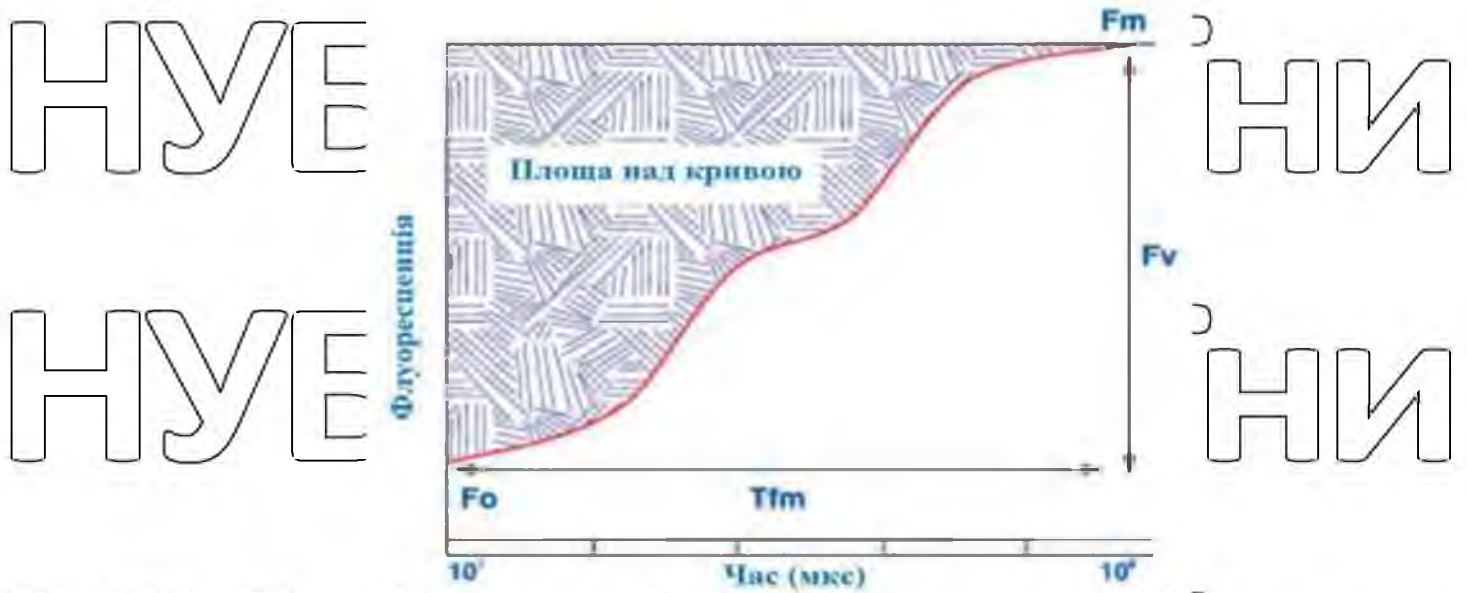


Рисунок 1.2. Основні параметри флуоресценції хлорофілу, виміряні з використанням флуориметра тривалої стимуляції хлорофілу [14]

Зазвичай флуориметри «довгої стимуляції» виконуються в портативному варіанті із програмним забезпеченням для подальшого аналізу отриманих параметрів. Як приклад кишеньковий флуориметр хлорофілу «PEA» (фото 1.3).



Рисунок 1.3. Кишеньковий флуориметр PEA (час виміру – 1 с) [14]

Принцип «реалізовано в мобільних ручних пристроях, таких як флуориметр DUALEX SCIENTIFIC+™ (рис. 2.5) та ФЛОРАТЕСТ (рис. 1.4).



Рисунок 1.4. DUALEX SCIENTIFIC+™ (компанія FORCE-A (Франція)) [1]



Рисунок 1.5. Портативний прилад для експрес-діагностики стану рослин "Флоратест" (Інститут кібернетики НАН України) [1]

Зазначено [1], що «флуориметри можуть ефективно використовуватись для фіксації 3-х груп стресів рослин», а саме:

• **хімічного:** існують стабільні «показники рівнів фотосинтезу в певних умовах: наявність гербіцидів, регуляторів росту, добрив, CO_2 , O_2 , SO_2 або інших газів тощо. Основні принципи таких вимірювань описані Nicolas

Tremblay із співав. (2012) у роботі «Оцінка стану азоту рослин за допомогою показників флуоресценції» [15];

• **фізичного:** «флуориметр порівнює показники зі стабільними величинами в різних умовах інтенсивності світла або температури.

- **сумісно хімічного і фізичного.**

Слід відмітити, що «застосування методу ІФХ стикається зі складностями теоретичного та методичного характеру. Одна з проблем заключається в тому, що крива ІФХ закономірно змінюється з віком листка.

Якщо цього не враховувати, дуже складно відрізнити зміни патологічні, викликані якимось зовнішнім несприятливим фактором, від змін, що відбулися природним шляхом у результаті старіння листків чи усієї рослини.

Наприклад, із посиленням дії стресового чинника показники ІФХ, такі як «Індекс життєздатності», а також інтенсивність фотосинтезу, зазвичай знижуються. Однак, вони знижуються і самі собою в процесі старіння. Різні стресори можуть призводити до передчасного старіння фотосинтетичного

апарату» [1, 16].

Трансмісійні пристрої спектральної діагностики

Використання датчиків «типу "лист-кліп"» для оцінки вмісту хлорофілу, виходячи з пропускнуої здатності листків, можна простежити у роботі [1, 17].

Пізніше була серія комерційних пристроїв (рис. 1.6): лічильник хлорофілу Fuji GM-1 та Minolta SPAD-501, SPAD-502 (SPAD), Hydro N-тестер, виготовлені Minolta, CCM-200, CL-01 та Dualex 4 Scientific» [1].



Рисунок 1.6. Лічильники хлорофілу SPAD-502 та CCM-200 [1]

Незважаючи на «нааявність технічних описів характеристик різних Chl-лічильників, із багаторазовими спробами провести надійну калібрувальну криву для кількісної оцінки листка Chl з показників датчиків, питання про взаємозамінність моделей від різних виробників усе ще не вирішене. При використанні навіть єдиної моделі приладу є істотна розбіжність результатів, ймовірно пов'язана із недосконалістю методики використання [18-20].

Можливою причиною є те що індекси лічильників Chl не мають одиниць, і на них впливають анатомічні характеристики листків та вміст листової води. Таким чином, кожен тип датчика повинен бути відкаліброваним для видів, що представляють інтерес. Для цього можуть використовуватися, наприклад, хімічні реактиви» [16, 21].

Пристрої, що працюють фіксацією відбитого випромінювання, поділити можна на дві групи: такі що «здатні працювати без використання зовнішніх джерел випромінювання та ті принципи дії яких заснований саме на використанні штатних випромінювачів. До першої групи відносяться різноманітні цифрові фотоапарати, як спеціалізовані мультиспектральні, так і побутового призначення, що використовують оптичний діапазон» [22, 1]

(рис. 1.7).



А



Б

Рисунок 1.7. Обладнання, засноване на фіксації відбитого випромінювання [11]

До другої групи, як зазначають автори в [1, 22], «відносяться лазерні сканери чи LIDAR (Light Identification, Detection and Ranging) Пристрої, що відносяться до першої групи, кілька десятиліть використовуються як в лабораторних умовах, так і безпосередньо у виробничому обладнанні, як на наземних, так і супутникових та літакових платформах тощо. LIDARи є відносно новітнім обладнанням, проте вони мають певні перспективи щодо використання для моніторингу рослинних насаджень, в тому числі в системах точного землеробства. В ряді робіт цьому обладнанню прогноують революційні зміни для сільськогосподарських практик [21]. Станом на 2017 рік LIDARи мають широке застосування як серійне обладнання в авіації та автомобільному транспорті, проте авторам не вдалось знайти прототипів, що серійно випускаються для виробничих потреб моніторингу стану насаджень в рослинництві. Вислідячи з можливих перспектив цього обладнання, з огляду на стрімкий розвиток інформаційних та комп'ютерних технологій, цьому обладнанню присвячено окремий розділ» [22-23].

LIDARи

Лазерне сканування – це «технологія отримання та обробки інформації про віддалені об'єкти за допомогою активних оптичних систем, що

використовують явища відбиття світла і його розсіювання в прозорих і напівпрозорих середовищах. Принцип дії лазерних сканерів, незалежно від їх типу та призначення, заснований на вимірюванні відстані від джерела лазерного імпульсу до об'єкта. Пучок лазера, що виходить із випромінювача, відбивається від поверхні об'єкта дослідження. Відбитий сигнал подає у приймач сканера, де за затримкою часу (імпульсний метод) або перенесення фаз (фазовий метод) між випромінюваним відображеними сигналами визначається необхідна відстань. Знаючи координати сканера і напрямок імпульсу, можна визначити тривимірні координати точки, від якої імпульс відбився [22, 24, 25]. Сучасні лазерні сканери забезпечують можливість генерації вимірювальних імпульсів із частотою до декількох сотень тисяч в секунду і, за допомогою системи рухомих дзеркал або самого корпусу сканера – розподіл цих імпульсів по всій поверхні об'єкта. В результаті таких вимірювань або «сканування» є можливість за короткий час отримати «хмару» тривимірних точок, які з великою точністю і повнотою описують досліджуваний об'єкт», (рис. 1.8).

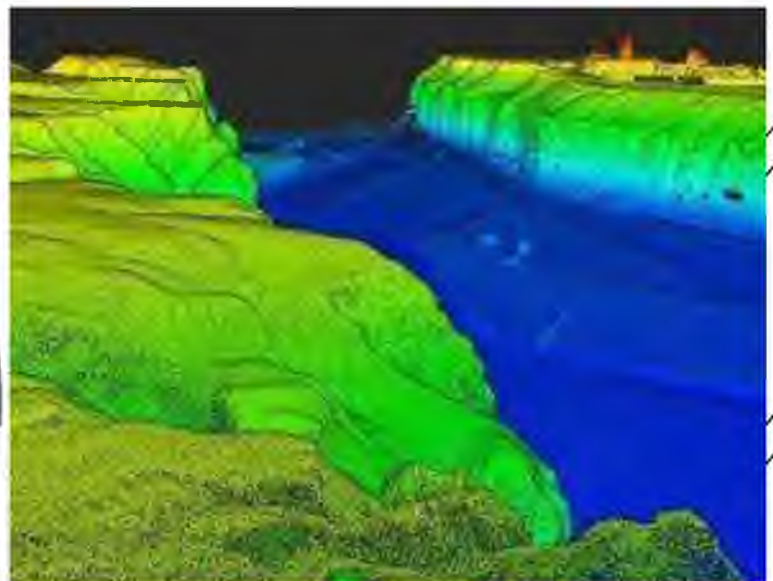


Рисунок 1.8. Обладнання для лазерного сканування - лідар DJI Zenmuse L для платформи БПЛА DJI Matrice 300 RTK [1]

Аналіз ближнього інфрачервоного діапазону (NIR) – це спектроскопічний метод, який використовує природний електромагнітний спектр [26, 1].

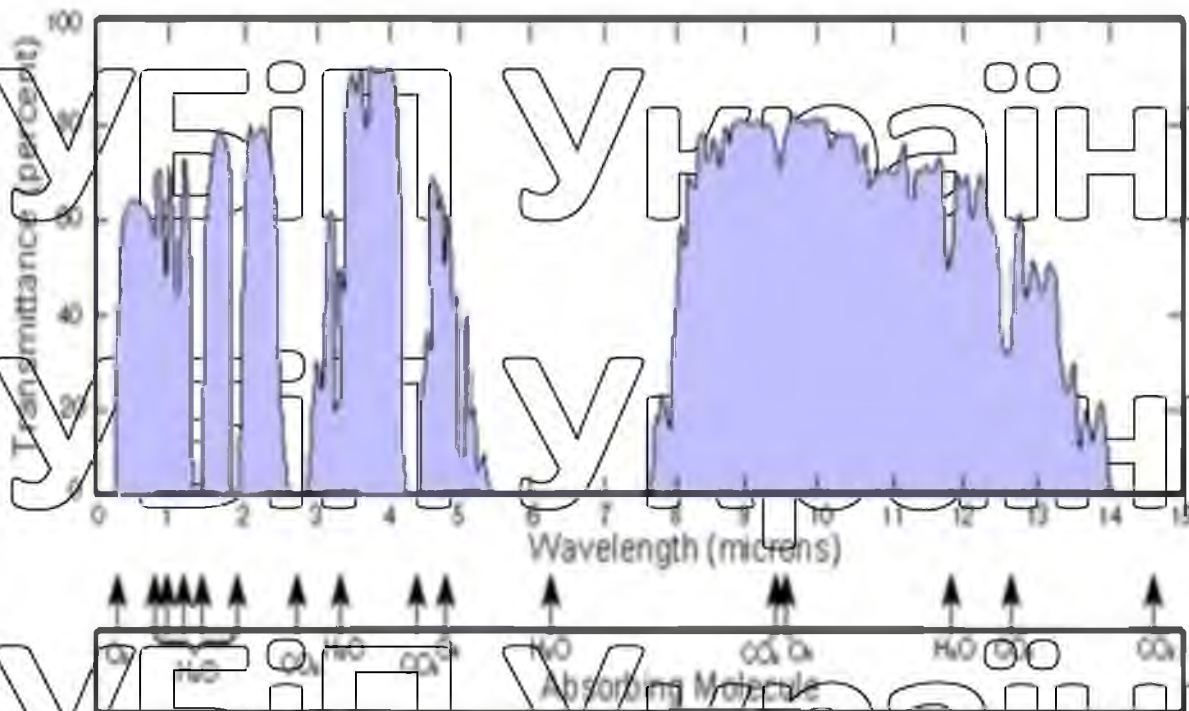


Рисунок 1.9. Інфрачервоний діапазон випромінювання

Область ближнього інфрачервоного інтерфейсу – це область спектру, що визначається довжинами хвиль від 700 нм до 2500 нм. Ближній інфрачервоний – це точний і швидкий метод аналізу, який добре підходить для кількісного визначення основних компонентів у більшості видів продукції. Загальні переваги використання NIR-аналізу полягають у тому, що він надає дані швидкого аналізу для кращого прийняття рішень у процесах виробництва продуктів харчування та сільськогосподарської продукції та якості ґрунту. Порівняно з традиційними методами аналізу, він не вимагає підготовки зразків або зовсім не вимагає хімічних речовин або витратних матеріалів. Зручний для оператора, швидкий, надійний і точний.

Інфрачервоний спектр можна отримати, пропускаючи інфрачервоне світло через зразок і визначаючи, яка частка поглинається зразком (пропускання). Як альтернатива, світло може відбиватися від зразка, а

НУБІП УКРАЇНИ

властивості поглинання можуть бути вилучені з відбитого світла (відбивна здатність). Коефіцієнт відбиття в ближньому інфрачервоному діапазоні – це сама по собі тема, яка тут детально не розглядатиметься [21].

НУБІП УКРАЇНИ

Методи відбиття і пропускання в ближньому інфрачервоному діапазоні можна вибрати відповідно до завдання аналізу, наприклад, коефіцієнт пропускання є достатнім щоб отримати репрезентативний вимір у всьому зразку. Для однорідних зразків, таких як сухе молоко, коефіцієнт відбиття є ідеальним. Для обох методів важливе значення має діапазон довжин хвиль NIR. Наприклад, короткохвильовий діапазон ближнього інфрачервоного випромінювання (850 – 1050 нм) забезпечує гарне проникнення зразка з ближнім інфрачервоним пропусканням [1].

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

РОЗДІЛ 2. КОНЦЕПЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ АНАЛІЗУ ҐРУНТУ ВІД AGROCARES

Компанія AgroCares (Ваненінген, Нідерланди), починаючи з 2013 року, розробила два види інноваційних продуктів - компактну лабораторію Lab-in-a-box та ручний ІЧ сканер AgroCares для аналізу ґрунту, що дають змогу масштабувати знання агрономів та ґрунтознавців безпосередньо агровиробнику (фермеру), швидко, зручно та за доступною ціною і без аналітичних лабораторій та хімічних реактивів [24].

З моменту сканування ґрунту за допомогою компактної лабораторії Lab-in-a-box чи ручного ІЧ сканера AgroCares, результати вимірювання зі спектрометрів проходять через ряд процесів, поки не повернуться до користувача у вигляді детального звіту про стан ґрунту. Все починається зі сканування на спектрометрах компактної лабораторії Lab-in-a-box та сканера AgroCares, які створюють спектральне представлення ґрунту (рис 2.1).

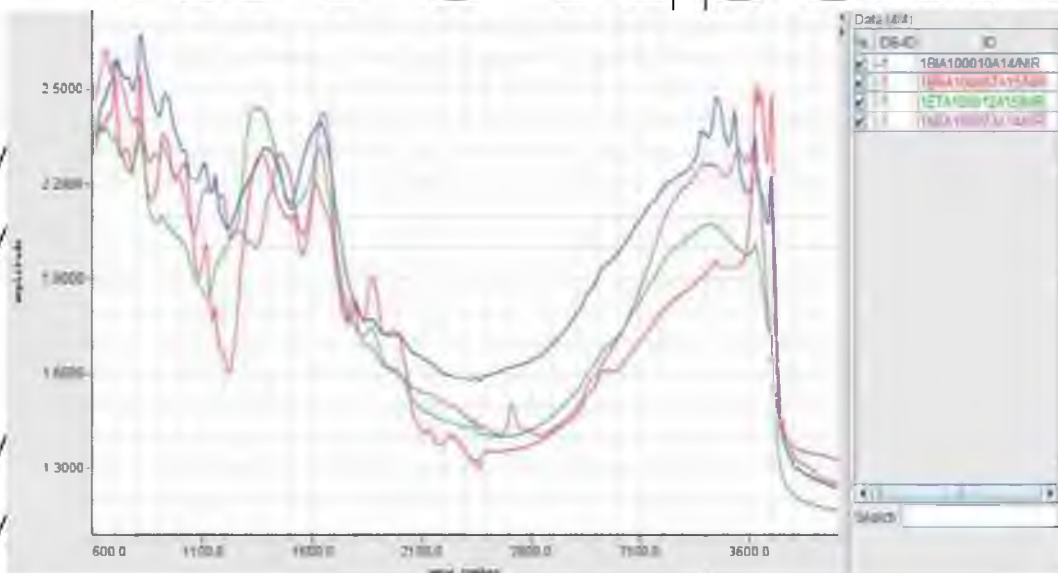


Рисунок 2.1. Спектральне представлення ґрунту AgroCares

Проте справжня цінність даних рішень — це глобальна база даних ґрунтів AgroCares та алгоритми її інтерпретації у кількісні показники якості ґрунту. Саме завдяки створеним комплексним регресійним моделям, що

самовдосконалюються за допомогою машинного навчання AgriSages зробила можливим визначення складу та властивостей ґрунту на основі спектру.

З отриманого спектрального відбиття, регресійні моделі створюють цифрові якісні і кількісні показники ґрунту, що подаються у вигляді звіту.

Визначення властивостей ґрунту за допомогою спектрометрії (рис 2.2) [21, 24]

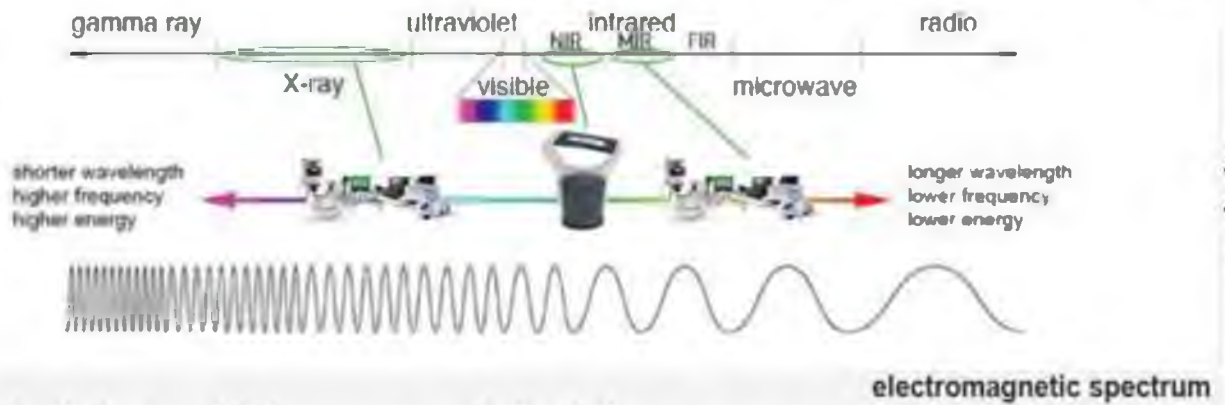


Рисунок 2.2. Спектр вимірювання AgriSages

Електромагнітний спектр описує весь існуючий діапазон світла.

Як працює технологія для аналізу ґрунту (рис 2.3).



Рисунок 2.3. Технологія аналізу ґрунту AgriSages

Світло потрібного спектру направляється на зразок

НУБІП України

Світло змінюється відповідно до складу зразка, це модифіковане світло частково поглинається та відбивається;

Існуюче спектральне обладнання для аналізу ґрунту в лінійці продуктів

ТМ AgroCares:

Ручний сканер (рис. 24)



НУБІП України



Рисунок 2.4. Ручний ІЧ сканер AgroCares. Влижній інфрачервоний діапазон хвиль ручного спектрометра (NIR).

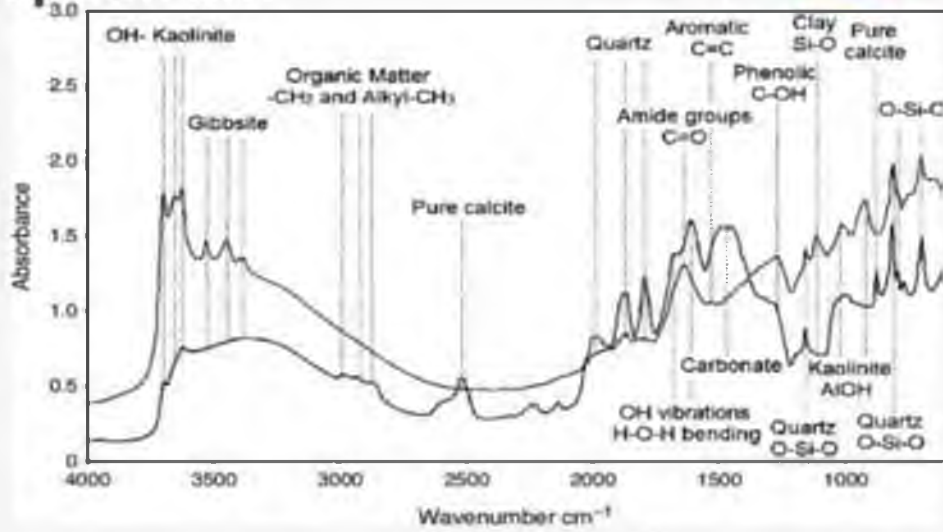
Компактна лабораторія Lab-in-a-box (рис 2.5)



Рисунок 2.5. Середній інфрачервоний діапазон хвиль спектрометра та рентгено-флуоресцентний аналіз (MIR та XRF)

Спеціалізоване програмне забезпечення – це складний комплекс спектральної й математичної обробки сенсорних даних (рис. 2.6-2.7).

MIR spectrum



X-ray Fluorescence: XRF

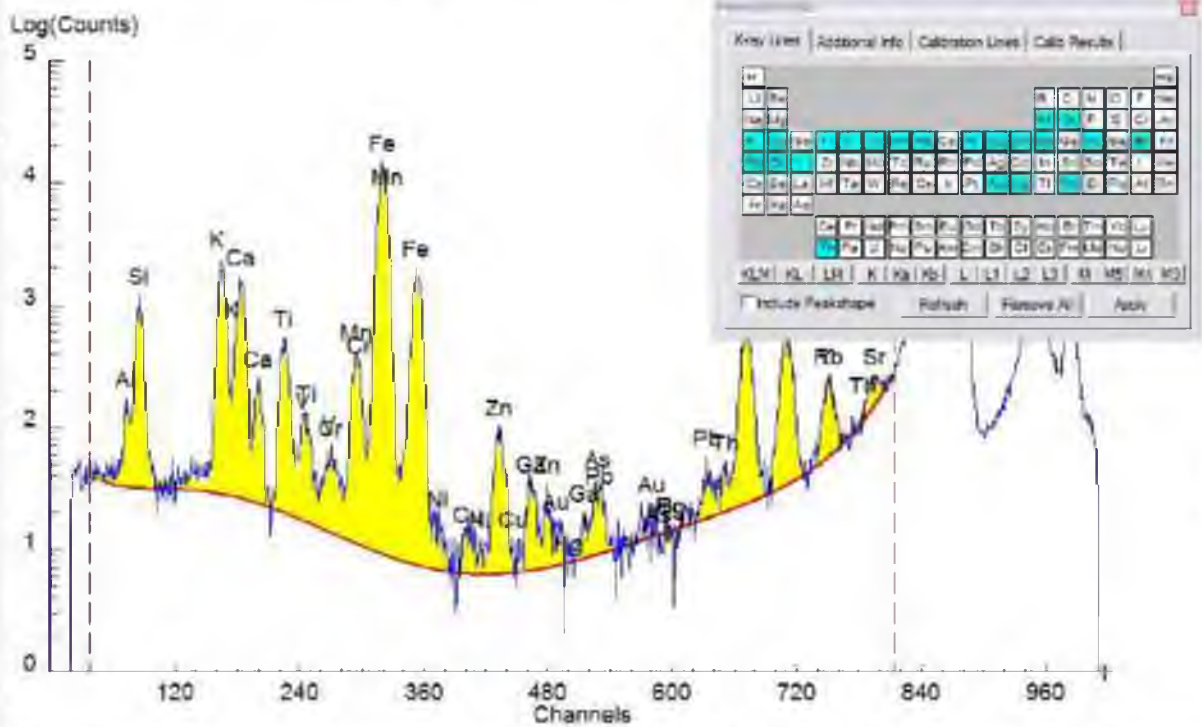
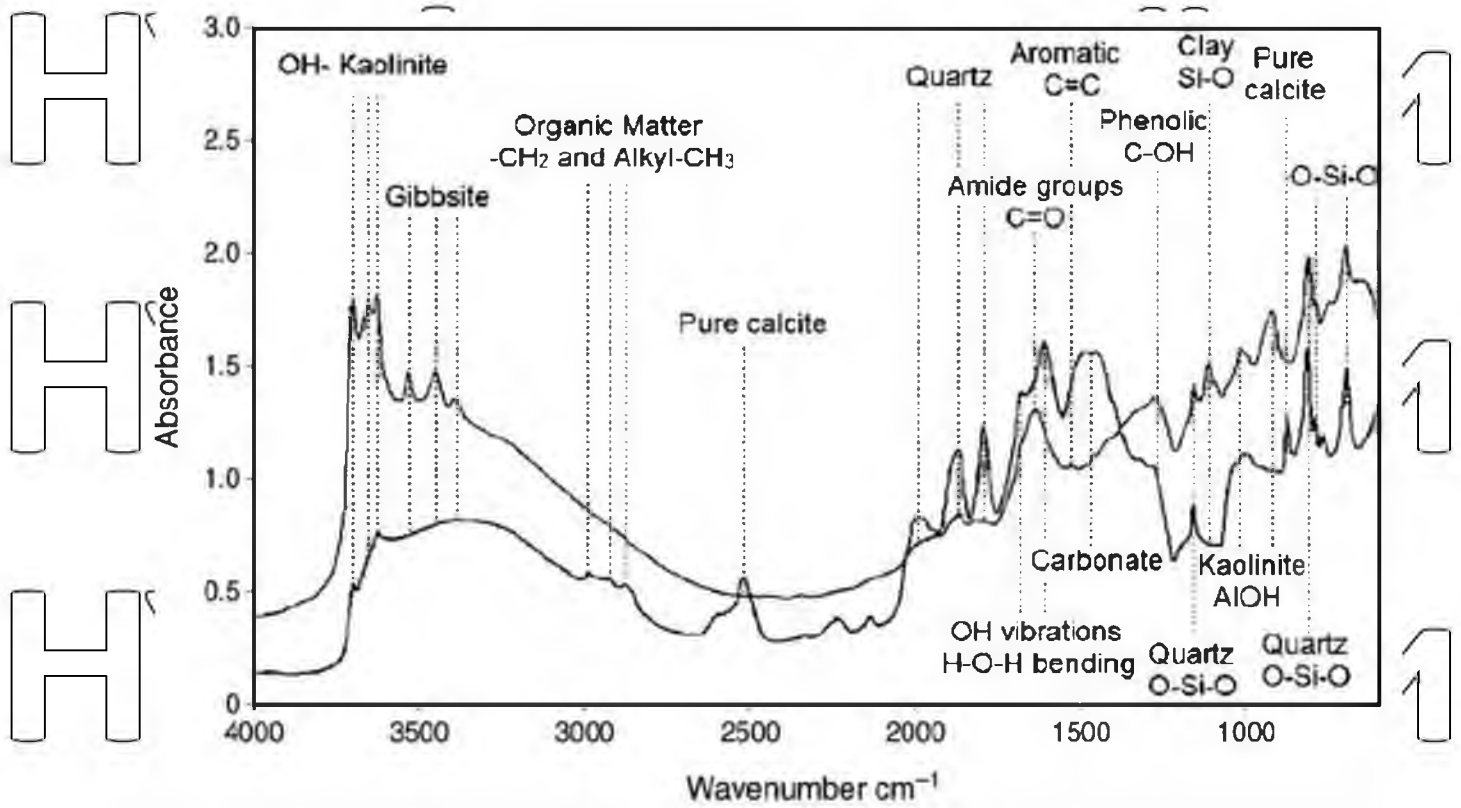


Рисунок 2.6 Спектрограми сканера AgroCareS



- Молекули та елементи;
- Прямі та непрямі зв'язки.

Рисунок 2.7. Модель передбачення

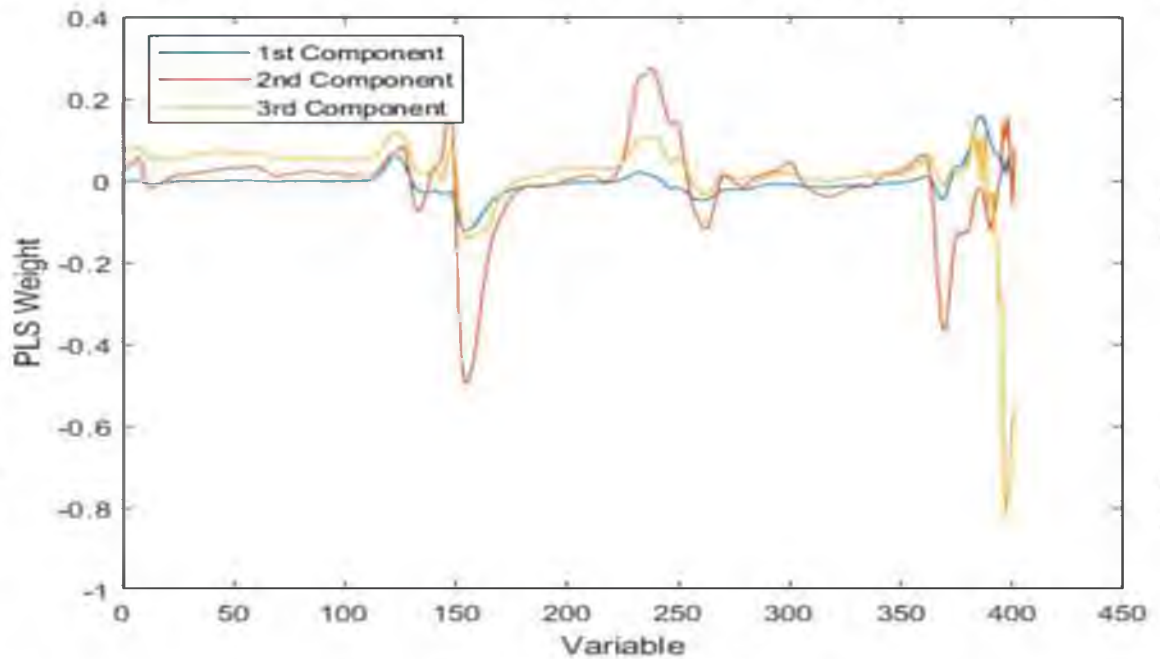


Рисунок 2.8. Модель глибинного навчання

- складне поєднання між класичною хімією та спектрами;
- виявлення між інших зв'язків між властивостями поглинання та концентрацій

Регресійні моделі розробляються командою експертів AgroCares для кожної країни окремо (рис 2.9).



Рисунок 2.9. Регресійні моделі, розроблені командою експертів AgroCares

Спершу визначають кількість та локацію зразків необхідних, щоб охопити весь спектральний ряд (для країни, використовуючи такі дані, як тип та сільськогосподарське використання ґрунту, мінеральні добрива та сільськогосподарські культури, супутникові знімки, індекси вегетації, клімат та рельєф [24]). Далі ці зразки відбираються відповідно до суворого протоколу та відправляються до лабораторії Golden Standard в Нідерландах, де їх аналізують за допомогою традиційних агрохімічних методів та сканують спектрометрами компактної лабораторії (середній ІЧ, РФА) та ручним сканером (ближній ІЧ).

Машинне навчання, це по суті процес застосування алгоритмів для визначення моделей у базі даних та їх відповідності контрольним даним

В нашому випадку, контрольні дані – це вихідні величини, одержані в лабораторії Golden Standard, а моделі - це спектри кожного зразку, отримані за допомогою ручного сканера AgroCares та компактної лабораторії Lab-in-a-box.

Наприклад, присутність значного піку спектру може відповідати високому рівню калію. Також реалізована можливість одночасної трансформації статусу ґрунту в рекомендації по внесенню добрив під запланований врожай.

Після того, як всі дані ґрунту, отримані зі спектрального зображення, були проаналізовані, вони направляються в модуль, що відповідає за мінеральні добрива. У цьому модулі різні поживні елементи розподіляються за класами забезпеченості ґрунту, наприклад: дуже низький, низький, середній, високий та дуже високий. Ці класи використовуються для визначення доз необхідних мінеральних речовин в кг/га, для того, щоб досягти оптимального рівня родючості ґрунту. Використовуючи регіональні дані таблиці поглинання сільськогосподарськими культурами мінеральних речовин, розраховується та конвертується загальна необхідність в поживних речовинах у рекомендації, щодо використання мінеральних добрив, з урахуванням таких факторів, як втрата частини мінеральних речовин після застосування та доступність мінеральних добрив [24].

Таким чином, користувач отримує повний звіт, щодо управління ґрунтом, що включає результати аналізу ґрунту в класах для N, P, K, рН та органічної речовини, при застосуванні сканеру AgroCares та всі макро- та мікроелементи, використовуючи компактну лабораторію Lab-in-a-box (рис 2.10).

Таблиця стану родючості ґрунту

Параметр	Одиниця	Результати	Діапазон низький	Діапазон високий	Низький	Адекватний	Високий
pH (вод)	Значення pH	7.1	6.0	7.2		■	
Органічна речовина	%	6.9	3	7		■	
Загальний азот	г/кг		1	2			■
Фосфор (M3)	мг/кг		20	40		■	
Калій (обм.)	ммоль+/кг		1.5	3			■
Кальцій (обм.)	ммоль+/кг		15	25			■
Магній (обм.)	ммоль+/кг		4.5	10			■
Потенційно мінералізований азот	мг N/kg		22	32			■
Катіонообмінна ємність	ммоль+/кг	346	75	200			■
Загальний вміст алюмінію	г/кг		94	115	■		
Загальний вміст заліза	г/кг		5	8			■
Глина	%	35	20	40		■	
Вологість	%		10	30		■	

Стан ґрунту

Параметр	Одиниця	Результати	Діапазон низький	Діапазон високий	Низький	Адекватний	Високий
pH (вод)	значення pH	7.8	6.0	7.2			■
Органічна речовина	%	2.7	2.9	5	■		
Органічний вуглець	г/кг	15.9	17	29	■		
Загальний азот	г/кг	1.5	1.4	2.3		■	
Загальний фосфор	г/кг	1.1	0.2	0.6			■
Фосфор (M3)	мг/кг	401.8	20	79			■
Калій (M3)	мг/кг	358.6	130	270			■
Кальцій (обм.)	ммоль+/кг	142.4	160	290	■		
Калій (обм.)	ммоль+/кг	10.4	2.6	5.4			■
Загальний Сірка	г/кг	< 0	0.18	0.29	■		
Магній (M3)	мг/кг	150.2	140	240		■	
Магній (обм.)	ммоль+/кг	13.8	10	35		■	
Цинк (M3)	мг/кг	15.5	1	2.1			■
Марганець (M3)	мг/кг	190.6	0.35	180		■	
Мідь (M3)	мг/кг	4.2	1	2.8			■
Бор (M3)	мг/кг	0.9	0.65	2.1		■	
Залізо (M3)	мг/кг	362.5	100	200			■
Катіонообмінна ємність	ммоль+/кг	112	160	340	■		
Загальноповерхневий селад	%	12	20	40	■		
Мул	%	66	42	47			■
Пісок	%	30	17	25			■
Загальна кількість Натрію	мг/кг	4.8	3.1	13		■	
Фосфор за методом Чиркова	мг/кг	609	50	150			■
Калій за методом Чиркова	мг/кг	309	40	120			■
пунктогідролізований азот	мг/кг	89	150	200	■		
Алюміній (обм.)	ммоль+/кг	N/A					

Рисунок 2.10. Приклади звіту (інтерфейсу програми) до сканеру AgtoCares

Індивідуальні рекомендації, отримані завдяки компактній лабораторії Lab-in-a-box та сканеру AgroCares, надаються компанії з метою підвищення врожайності й покращення якості сільськогосподарських культур, а також зниження технологічних затрат (рис. 2.11).

Загальні інформації

Номер зразка : AGEON00014A21
Назва врожаю : озимий ріпак

Дата : 2021-03-04

Назва поля : pole4

Розмір поля : 5.58 га

План удобрення

Відхилення	Система удобрення
Калій (МЗ) результат : 358.8 мг/кг Градація : дуже високий Загальна доза : 15 кг K ₂ O на га	під час посіву : 15 кг K ₂ O на га
Загальний азот результат : 1.5 г/кг Градація : достатній Загальна доза : 135 кг N на га	перед та під час посіву : 30 кг N на га підживлення 1 : 60 кг N на га підживлення 2 : 40 кг N на га позакореневе підживлення : 5 кг N на га
Фосфор (МЗ) результат : 401.8 мг/кг Градація : дуже високий Загальна доза : 10 кг P ₂ O ₅ на га	під час посіву : 10 кг P ₂ O ₅ на га
Загальна сірка результат : 0.0 г/кг Градація : знижений Загальна доза : 40 кг S на га	перед посівом : 36 кг S на га позакореневе підживлення : 3.6 кг S на га
Відхилення	Система удобрення
Бор (МЗ) : 0.9 мг/кг Градація : достатній Загальна доза : 303 г B на га	при обробці насіння : 3 г B на га позакореневе підживлення : 300 г B на га
Мідь (МЗ) : 4.2 мг/кг Градація : знижений Загальна доза : 124 г Cu на га	при обробці насіння : 4 г Cu на га позакореневе підживлення : 120 г Cu на га
Марганець (МЗ) : 160.8 мг/кг Градація : високий Загальна доза : 124 г Mn на га	при обробці насіння : 4 г Mn на га позакореневе підживлення : 120 г Mn на га
Молибден (МЗ) : 0.0 мг/кг Градація : знижений Загальна доза : 62 г Mo на га	при обробці насіння : 2 г Mo на га позакореневе підживлення : 60 г Mo на га
Цинк (МЗ) : 15.5 мг/кг Градація : високий Загальна доза : 156 г Zn на га	при обробці насіння : 6 г Zn на га позакореневе підживлення : 150 г Zn на га

Рисунок 2.11. Приклади рекомендацій із звіту (інтерфейсу програми) щодо удобрення до сканеру AgroCares

НУБІП України

Власна світова база даних ґрунтів вдосконалюється з кожним відсканованим зразком (рис. 2.12).

	Африка	Європа	Північна Америка
Н	Бурунді,	Бельгія,	США (Північна Дакота, Південна Дакота, Міннесота)
	Кот-д'Івуар,	Данія,	Канада (Манітоба, Саскачеван та Альберта)
	Гана,	Німеччина,	Мексика (Ґуанахуато) муніципалітет Чіпас).
	Кенія,	Угорщина,	Нікарагуа,
	Намібія,	Люксембург,	
Н	Нігерія,	Польща,	Азія
	Руанда,	Нідерланди,	М'янма
	Сенегал,	Туреччина,	В'єтнам (провінція Лам Донг)
	Танзанія,	Україна	Філіппіни (острів Мінданао)
	Уганда,		
	Замбія,		

Рисунок 2.12. Країни що пройшли калібрування

НУБІП України

Було докладено багато зусиль, щоб заповнитись в точності бази даних та її репрезентативності для великої кількості ґрунтових відмін. Це відображено в результатах випробувань. Чим більше зростає база даних, тим точніше можливість визначення властивостей ґрунту.

НУБІП України

Точність регресійних моделей визначається кількістю зразків ґрунту в базі даних, спектральною варіацією та якістю використаних статистичних методів.

НУБІП України

Власна унікальна Світова База Даних Ґрунтів використовується в більш ніж 30 країнах на 3 континентах. Можливості її використання постійно розширюється. На сьогодні в база даних налічує більше 30 тис. зразків, а технології глибокого навчання дозволяють моделювати та заповнювати пробіли з недостаючими калібровочними зразками.

НУБІП України

Ручний ІЧ-сканер AgroCares

Оцінку точності для ручного сканера проводили за допомогою 300 польових зразків, які не входять до калібрувальних моделей, щоб представити точність ручного сканера AgroCares у порівнянні з результатами лабораторії AgroCares Golden Standard Laboratory (GSL). Зразки є репрезентативними для всіх відкаліброваних країн, де працює AgroCares. Під терміном точність розуміється точність (відтворюваності) і зміщення (точність). Порівнюється значення точності та зміщення зі значеннями GSL і всіма лабораторіями, які беруть участь у міжлабораторному тесті WEPAL.

Точність вимірювань

Точність (зміщення) – це середньоквадратичне значення швидкості, виражене у % до загального діапазону концентрацій. Зміщення вказує на очікуваний діапазон концентрацій [25]. Наприклад, якщо Сканер відображає значення, зміщення показує, наскільки далеке від істини це значення, виражається в +/- %. Наприклад, якщо значення параметра дорівнює x , а зміщення дорівнює $y\%$, то істинне значення буде $x \pm y\%$.

Відтворюваність (також відома як точність) Виражається через коефіцієнт варіації (%). CV широко використовується в аналітичній хімії для вираження точності та повторюваності аналізу. Він вимірюється як стандартне відхилення по відношенню до середнього значення повторюваних вибірок.

Відтворюваність виражається у довірчих інтервалах, 68%, що представляє 1 стандартне відхилення і 95%, що представляє 2 стандартних відхилення. Це означає, що для 68% зразків і 95% зі зразків у загальному наборі, зазначена відтворюваність вірна. Для наочності повідомляється лише значення з 95% достовірністю.

Загальне прийняття для лабораторій стандартної хімії - це CV та зміщення 20% або нижче на 95% довірчому інтервалі. У стандартних лабораторіях це значення розраховується на основі повторюваних проб. Це

набір підвбірок, які вимірюються окремо та порівнюються з їх середнім значенням. Для сканера значення було розраховано на основі 5 сканованих підвбірок порівняно з їх середнім значенням [26-29].

Точність (зміщення) і відтворюваність (точність) – це показники, які зазвичай використовуються для представлення лабораторних результатів.

Точність або зміщення показує, наскільки далеко від «реального показника» є вимірювання. Звичайно, «справжня вартість» – це дуже суб'єктивний термін, і його слід використовувати з обережністю. У AgroCares GSL оцінюється точність за допомогою стандартних сертифікованих еталонних зразків. Точність ручного сканера оцінюється в порівнянні з GSL на наборі незалежних зразків. Це означає, що для оцінки точності сканера до сертифікованого еталона похибку GSL потрібно додати до похибку сканера [24].

Точність сканера не може бути такою високою, як у GSL. Неможливо використовувати сертифіковані матеріали для оцінки сканера, оскільки це оброблені зразки ґрунту, які не відповідають польовим умовам. Таким чином, похибка сканера, виражена у % (відносно зміщення), не включає помилку, внесену еталонними методами GSL. Повідомляється про похибку в порівнянні з GSL, однак, якщо «достовірне значення» визначається сертифікованими матеріалами, то помилку GSL потрібно додати до помилки ручного сканера.

Точність не є достатнім показником для оцінки ефективності.

Відтворюваність вказує на те, наскільки близькі одне до одного окремі вимірювання однієї і тієї ж вибірки. Для гетерогенних матеріалів, таких як польові ґрунти, відтворюваність також може бути показником того, наскільки добре підготовлений зразок (змішаний, просіяний, висушений тощо). Відмінності у відтворюваності також можуть свідчити про те, що для того, щоб отримати справжнє уявлення про неоднорідність вибірки, слід провести більше вимірювань. Однак у більшості випадків, коли зразок

гочується за суворим протоколом, відтворюваність є показником того, наскільки далеко від середнього індивідуальні вимірювання.

З точки зору лабораторії, точність (зміщення) оцінює техніку, тоді як відтворюваність (точність) оцінює операторів. З точки зору ручного сканера,

точність є відмінністю від лабораторій стандартної хімії, тоді як точність вказує на повторюваність між кількома скануваннями одного зразка.

Ідеальна ситуація, коли і точність, і відтворюваність високі. На малюнку нижче показано вплив різної точності та зміщення (рис. 2.13).

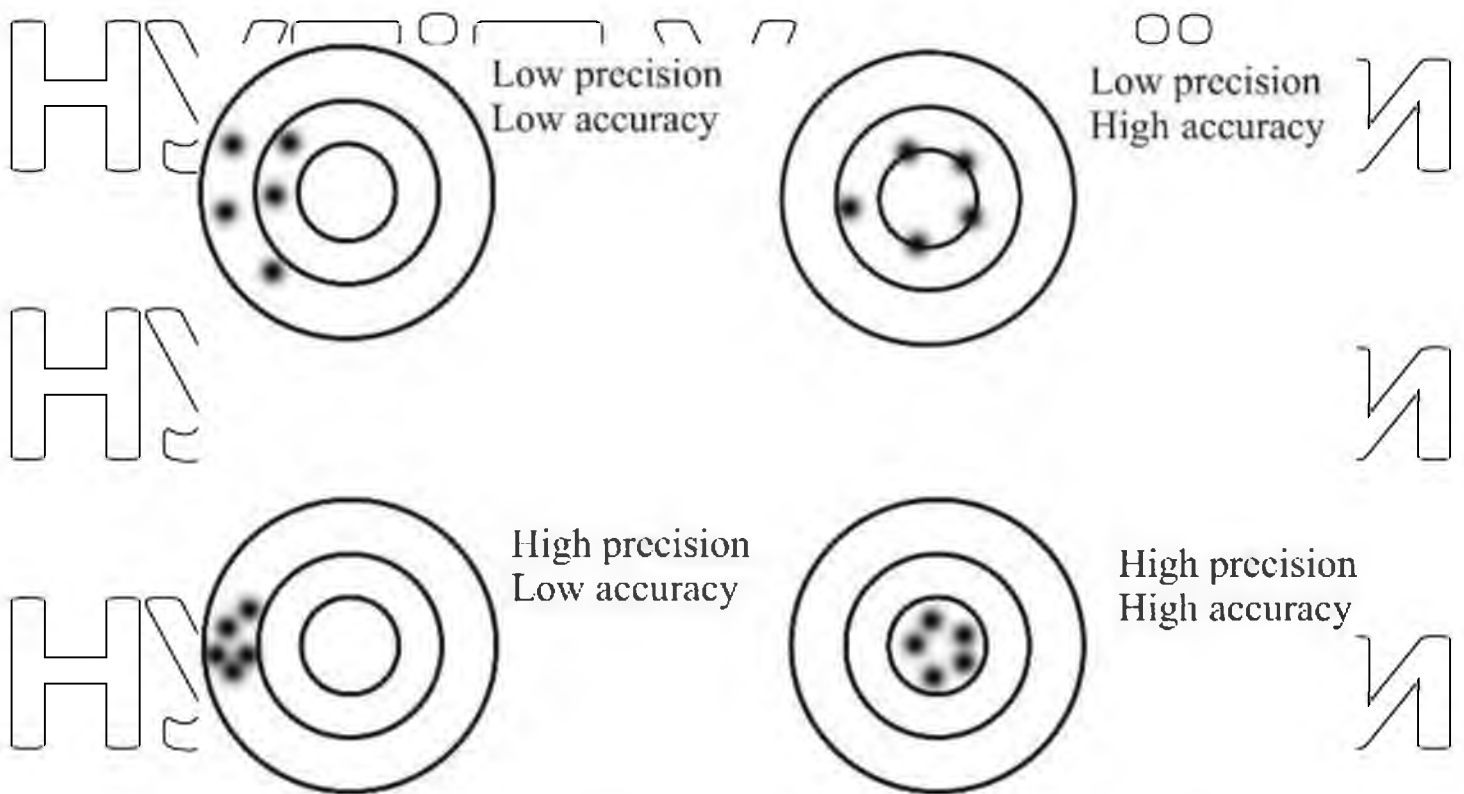


Рисунок 2.13. Вплив різної точності та зміщення

Програма оцінки для аналітичних лабораторій (WEPAL):

WEPAL - це міжнародна система випробувань, організована

Університетом Вагенінгена для оцінки роботи лабораторій учасниць шляхом

порівняння результатів їх аналізу. Усе обладнання AgroCare® тестується в

рамках WEPAL.

GSL бере участь майже з усіма параметрами методами, які вимірюються в GSL, про які повідомляється в WEPAL. З січня 2020 року здійснюється підбір параметрів для Lab і Handheld Scanner (Ручний сканер).

GSL та R&D групи, контролюють дослідження всіх параметрів, які вимірюються обладнанням AgroCares

Походження зразка невідоме, і часго пробу не збирають із сільськогосподарської території. З одного боку, це означає що моделі, що стоять за Сканером, не можуть повністю використовувати алгоритми глибокого навчання та місцеві умови. Тому очікувана продуктивність нижча,

ніж за звичайних умов. Оскільки AgroCares напнений на сільськогосподарські регіони, екстремальна концентрація елементів інсиді може становити проблему для методики (включаючи GSL).

Тим не менш, GSL послідовно входить до числа найефективніших лабораторій у світі, тоді як портативний сканер конкурує за точністю з більшістю лабораторій - учасниць. Це найбільш незалежна процедура підтвердження достовірності і точності, яку можна пройти, порівняння з окремими лабораторіями.

Лабораторія Золотого Стандарту Global Systems Laboratory (GSL) проти ручного сканера

GSL – одна з 10 дослідних лабораторій NOAA, що визнана однією з найточніших серед таких що беруть участь у глобальному тесті WEPAL [1].

Лабораторії стандартної хімії дають похибку менше 20 %, однак для деяких методів, особливо пов'язаних з наявними та обмінними фракціями елементів, похибка також може досягати 30 % (еталонні методи GSL описані у Додатку 1).

В таблиці нижче наведено зведену статистику відносного упередженості та відносного CV на рівні довіри 95% для GSL (референс-лабораторія) та Handheld Scanner (ручний сканер) (табл. 2.17).

Таблиця 2.17. Порівняння результатів аналізу ґрунту сканером AgroScans із даними отриманими в лабораторії GSL

Параметри	Відносне відхилення (%) на рівні довіри 95%		Відносне CV (%) на рівні довіри 95%		Відносне відхилення (%) до сертифікованого
	GSL	Сканер	GSL	Сканер	
Органічний вуглець [г/кг]	8.75	7.39	2.9	24.03	16.14
Загальний азот [г/кг]	4.4	7.61	13.5	22.43	12.01
pH в KCl	4.7	6.71	6.0	8.56	11.41
Фосфор (Меклік 3) [мг/кг]	9	12.18	5.0	21.59	21.18
Потужність обміну катіонами [ммоль+/кг]	8	5.79	8.0	21.94	13.79
Калій обмінюваний [ммоль+/кг]	19	11.10	3.0	21.99	30.10
Магній обмінний [ммоль+/кг]	15	10.28	1.0	27.32	25.28
Загальний калій [г/кг]	5	6.42	5	14.38	11.42
Загальний фосфор [г/кг]	9	6.54	7	18.32	15.54
Глина [%]	Н/В	7.66	Н/В	18.47	Н/В
Пісок [%]	Н/В	13.35	Н/В	11.10	Н/В
pH в H2O	9	5.51	3	3.61	14.42
Електропровідність	4	10.42	3	16.14	Н/В
Вологість [%]	5	Н/В	7.70	14.21	Н/В

Стандартні рекомендації при роботі зі сканером для здійснення порівняльного аналізу.

Сканер вимірює безпосередній стан елементів у полі / точці, яку ви обрали. Отже, важливо правильно визначити точки відбору. Взяти змішаний зразок з поля або зразок з певного місця в полі. Порада відбирати один змішаний зразок не більше ніж з 3 га.

Сканер вимірює лише кілька міліметрів у зразку, при глибині - не більше сантиметра. Кількість зразка, що вимірюється за скануванням, є відносно невеликою, тому важливо мати репрезентативний зразок та правильно виконувати процедуру сканування.

Між кожним скануванням, протирати скло сканера сухою серветкою, щоб отримати найбільш репрезентативний результат. Також обов'язково перемішувати пробу у відрі між кожним скануванням, видалити камінці чи коріння зі зразка.

Для проведення будь-якого порівняння необхідно:

1. Відібрати зразки у полі (точка або змішаний зразок).
2. Відсканувати зразок за допомогою сканера, бажано в полі.
3. Перемішувати зразок у відрі між кожним скануванням і очищати скло сканера.
4. Транспортуйте зразок до агрохімічної лабораторії у закритому мішку при прохолодній температурі
5. Проводити аналіз за методами еталонної лабораторії:
 - Калій, mmol+.kg-1 - ICP-MS, hexammincobalt trichloride
 - Вміст органічної речовини, OM% - Dumas
 - milled <200 qm CKO mmol+.kg-1 - ICP-MS, hexammincobalt trichloride
 - pH – potentiometry (потенциометрії), pH H₂O, pH KCl
 - Загальний N (азот).g/kg dry combustion (Dumas)
 - Загальний P, g/kg - discrete analyzer (photometric determination)

Для того, щоб ми могли зробити будь-яку спробу порівняння, ми як мінімум повинні знати, які методи використовуються.

Вологість. Вологість можна легко виміряти за допомогою NIR.

Абсорбційна особливість, викликана молекулою води, є найбільш вираженою і завжди проявляється. Крім того, волога надає дуже чіткий вплив на весь спектр NIR. Це зазвичай робить ґрунт темніше.

Ці показники напряму пов'язані з загальним вмістом вологи. Коли ґрунт висихає, водний елемент стає меншим, а ґрунт стає світліший. Чим сухіший ґрунт, тим краща інтерпретація, (тим більше даних можна визначити в діапазоні NIR). Швидкість сушки залежить від типу ґрунту: чим більше піску в ґрунті, тим швидше висихання.

У випадках зі сканером, перший етап — це визначення вологості, потім система моделює віртуальну сушку (корекція на вологу). Для цього існує спеціальний алгоритм, який був побудований завдяки серії вимірів різних типів ґрунтів від дуже зволжених до дуже сухих.

Лише після корекції на вологу, можна перейти до наступного етапу, а саме провести подальшу інтерпретацію спектрального зображення в дані, використовую спеціальні моделі передбачень.

Аналіз ґрунту є основою правильного агрономічного плану посівів. Щоб максимізувати генетичний потенціал культури та досягти цільової врожайності, нам потрібно зрозуміти, які потреби рослини в поживних речовинах – і це починається зі знання того, що знаходиться в ґрунті.

В ідеальних умовах можна перевіряти стан ґрунту безпосередньо перед тим, як насіння потрапляє в нього. Але з це не завжди можливо. Часто вузьке весняне вікно залишає занадто мало часу для розробки індивідуальних планів внесення добрив для кожного поля і недостатньо часу для їх замовлення. За цих обставин осінній аналіз ґрунту – є єдиним варіантом, який допомогти побудувати агрономічно обґрунтований план живлення ґрунту для майбутнього врожаю.

Необхідно врахувати кілька факторів, щоб переконатися, що осінні дослідження є репрезентативними, щодо рівня поживних речовин у ґрунті, перед посівом навесні:

Температура ґрунту повинна бути нижче 8°C:

Коли температура поверхні ґрунту висока, мікробна активність висока. Активний мікробіом має значний вплив на рівень поживних речовин у ґрунті. Очікування, поки температура ґрунту не опуститься нижче 8°C, забезпечує зниження активності мікробів, зменшуючи ймовірність потенційної зміни рівня поживних речовин протягом зими. Якщо осінній відбір проб проводиться з м'якою зимою, навесні слід повторно відбирати проби на полях, а плани живлення слід відкоригувати з урахуванням будь-яких змін рівня поживних речовин протягом зими.

Різні методи ведення господарства можуть впливати на рівень поживних речовин у ґрунті, і їх слід враховувати при відборі проб ґрунту. Наприклад, застосування гербіцидів, пестицидів або фунгіцидів може вплинути на поживність ґрунту. Переконайтеся, що між відбором проб і внесенням препарату достатньо буферного часу (див. етикетку гербіциду).

Обробіток також може вплинути на рівень поживних речовин у ґрунті, тому слід уникати відбору проб одразу після оранки, або премішування ґрунту.

Важливість відбору та підготовки проби ґрунту:

Зразок ґрунту важливий для точності й репрезентативності результатів вимірювань. Інструкція, надана розробниками сканера, зазначає: « переконайтеся, що ви відбираєте достатню кількість вибірок (зазвичай 10-20 – чим більш мінливий ґрунт, тим більше зразків потрібно відібрати). Ділянки, які відрізняються за типом ґрунту, зовнішнім виглядом, культурами, що ростуть чи росли перед цим, їх продуктивністю, слід відбирати окремо, за умови, що площа може бути оброблена окремо. Якщо цього дня зразки не перевіряються, зберігайте зразки в морозильній камері в герметичній упаковці для зразків до дня тестування зразка».

РОЗДІЛ 3. ВИПРОБУВАННЯ СПЕКТРАЛЬНОГО СКАНЕРУ AGRO CARES НА РІЗНИХ ТИПАХ ҐРУНТУ (результати досліджень)

На різних типах ґрунту були проведені досліджень ручним польовим сканером AgroCares, паралельно зразки були передані в лабораторію університету, де їх було проаналізовано стандартними методами. Дослід проводився на дослідних ділянках із посівами різних культур, за допомогою ручного ІЧ сканера, за такими показниками (табл 3.1):

Таблиця 3.1 - Параметри ґрунту та одиниці виміру сканером AgroCares

Параметр	Одиниці виміру
pH (вод)	Значення pH
Органічна речовина	%
Загальний азот	г/кг
Фосфор (Меклік 3)	мг/кг
Калій (обм.)	ммоль+/кг
Кальцій (обм.)	ммоль+/кг
Магній (обм.)	ммоль+/кг
Потенційно мінералізований азот	мг N/кг
Катіонообмінна ємність	ммоль+/кг
Загальний вміст алюмінію	г/кг
Загальний вміст заліза	г/кг
Глина (вміст)	%
Вологість (вміст)	%

За результатами дослідів було отримано наступні дані.

За даними ручного ІЧ сканера:

Ґрунти чорноземного типу.

Серед головних елементів живлення рослин у чорноземних ґрунтах першочергову увагу приділяють фосфору. Фосфор у чорноземах міститься, здебільшого, у вигляді двозаміщених і тризаміщених фосфатів, з яких

елемент у доступну форму переходять лише під дією корневих виділень та мікроорганізмів. Основним заходом підвищення рухомості у ґрунті вмісту фосфору є застосування органічних та мінеральних добрив [13].

На дослідному полі з кукурудзою на зерно максимальне поглинання рухомих форм фосфору відбувалося у період 9-10 листків, викидання вологетей. Засвоєння рослинами фосфатних аніонів із важкорозчинних сполук проходить лише із ґрунтового розчину. Засвоєння рослинами фосфору із важкорозчинних фосфоровмісних сполук проходить поступово і пояснюється тим, що кореневі волоски своїми кислими виділеннями (ексудатами) переводять в розчин апатити та фосфорити не в повній мірі. Так, при висиханні частина дигідро- і гідрофосфат-іонів переходить в фосфати кальцію та магнію і рівновага порушується, а при зволоженні ґрунту, навпаки, відбувається перехід в розчин додаткової кількості фосфат-іонів і рівновага відновлюється.

Крім того, у 25-50 см шарі ґрунту, де відзначено накопичення сполук кальцію і магнію, вміст рухомого фосфору буде змінюватися сильніше. Слід зазначити, що ці зміни істотніші для варіантів осіннього внесення добрив.

Тривала взаємодія фосфору з ґрунтом може спричинити ретроградацію його сполук і перехід у малорозчинні форми. Значна кількість діючої речовини фосфору, внесена під основний обробіток, піддається сильнішому впливу і тому у досліді визначено найбільше коливання його показників у 25-50 см шарі. Від фази 4-6 листків до фази молочно-воскової стиглості вміст рухомого фосфору зменшився у зазначеному варіанті на 13,2 мг/кг у 0-25 см шарі і на 14,3 мг/кг у 25-50 см шарі ґрунту.

Дослід проводився с. Лозуватка, Звенигородський район, Черкаська область, Лісостеп, чорнозем середньогумусний на дослідному полі було проведено ряд досліджень по 2 культурам в момент висіву, дозрівання та збору з метою прослідкувати динаміку зміни рівня родючості ґрунту за весь вегетаційний період культури (рис. 3.2):

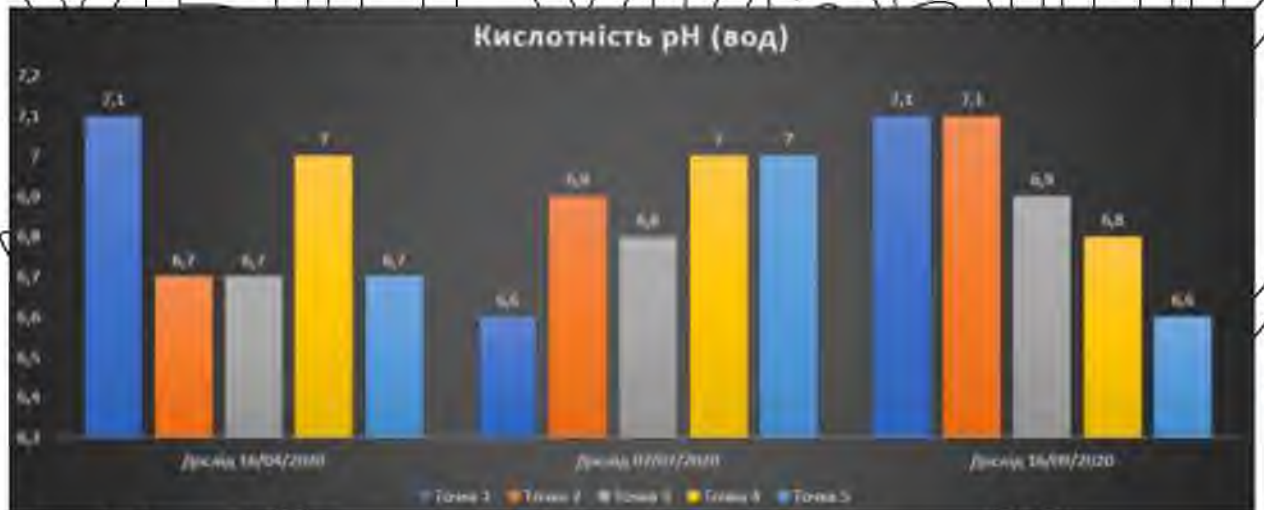
Культура	Точка 1	Точка 2	Точка 3	Точка 4	Точка 5
Кукурудза	49.052949632518 31.3013567428261	49.0527826020199 31.3012879655621	49.05253696893439 31.3020248648186	49.05223238390829 31.3027126374581	49.0520751787336 31.3025849082536
Соняшник	49.0518197203247 31.303085999748	49.05201622679309 31.3031744276588	49.0515249606221 31.3038425496514	49.0512793275366 31.3046384008484	49.0511122970385 31.3045106716439

Культура – кукурудза на зерно:





Культура — соняшник:



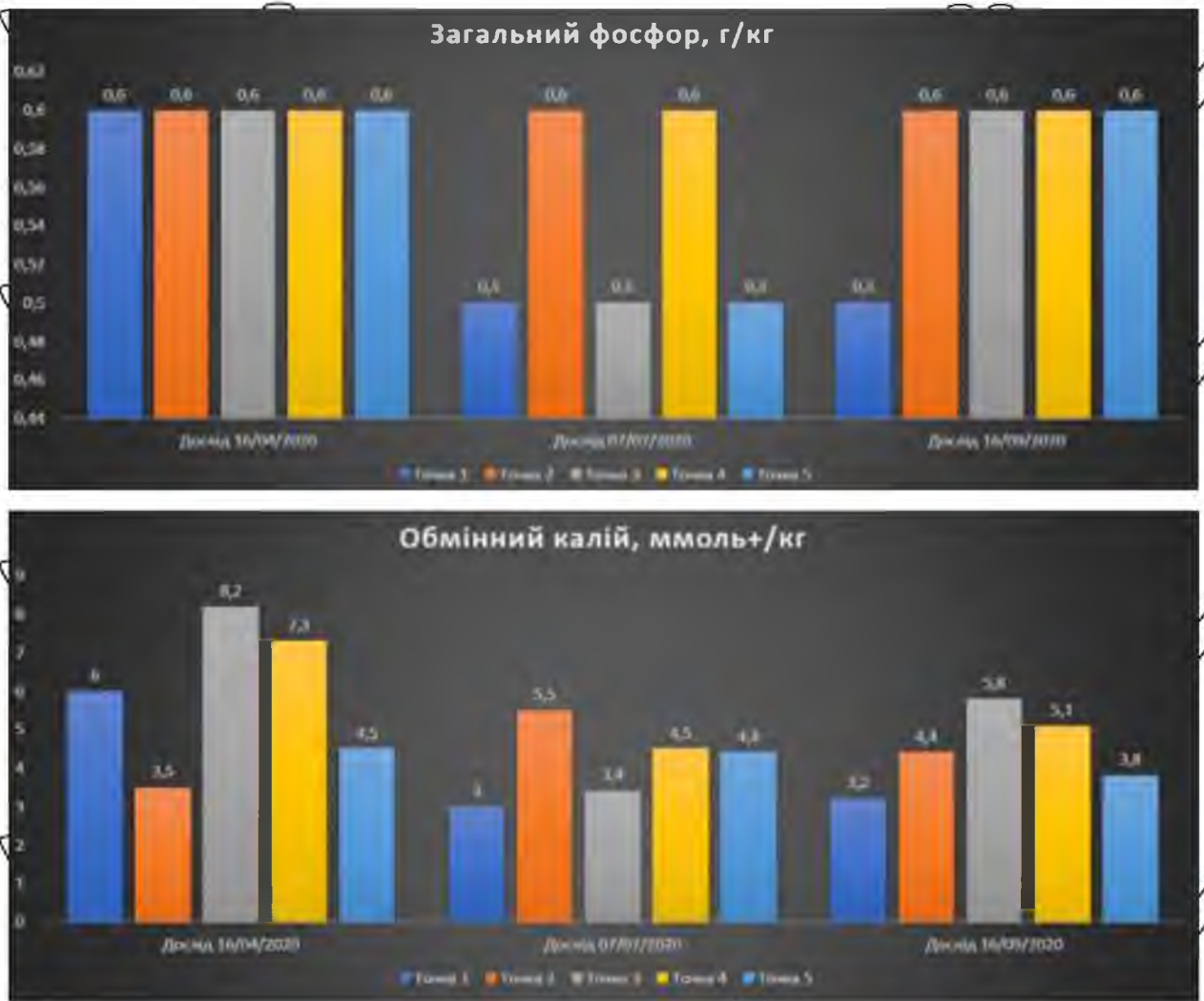


Рисунок 3.2 Діаграми показників зміни параметрів ґрунту на дослідній ділянці протягом вегетації* (культура кукурудза на зерно та соняшник)
 *дослід проводився під час посіву культури, цвітіння та епіосередньо перед збором врожаю, точки відбору проб зафіксовано за допомогою GPS координат.

Визначення вмісту обмінного калію в лучно-чорноземному ґрунті

Кількість калію в ґрунті визначається, насамперед, мінералогічним складом (наявністю мінералів, що містять калій): польових шпатів, слюд, тідрослідів, пілу та мулу. Коливання в хімічному складі ґрунтів зумовлені також іншими

причинами: віком ґрунтів, складом ґрунтоутворювальних порід, характером ґрунтоутворення тощо. Тому, як правило, вміст валового калію в піщаних ґрунтах менший у кілька разів, ніж у глинистих ґрунтах.

Методи визначення калію у ґрунті.

Вміст у ґрунті воднорозчинного калію невеликий, становить, зазвичай 1-5 мг на 1 кг ґрунтів. Усі форми калію, причому, взаємно пов'язані між собою, перебувають у стані рівноваги. Обмінний калій від валового становить 1-2%, найбільш багаті обмінним калієм чорноземи, сіроземи, найбільш бідніші – підзолисті ґрунти. У сіроземах, каштанових і засолених ґрунтах вміст воднорозчинного калію сягає 10-20 мг K_2O на 100 г ґрунту. Рослини засвоюють найбільш рухливі, насамперед, форми, в міру розвитку – середньо рухомі (екстенсивно обмінні) й малорухомі (необмінні) форми. У характеристиці родючості, а саме калійного режиму ґрунтів слід враховувати калій не тільки ґрунтового розчину та обмінний, але прагнути характеризувати вміст необмінного калію.

Методи вилучення та визначення калію у ґрунтах є різні. Методи характеризують форми калію такі:

калій валовий – відображає хімічний і мінералогічний склад ґрунтів;

калій необмінний (обмінний екстенсивно і розчинний у кислотах) – він характеризує запаси калію, що мобілізується і засвоюється рослинами,

калій обмінний – характеризує запаси легкозасвоюваного калію, вилучається нейтральною сіллю,

калій розчинний у слабких мінеральних кислотах – суміш обмінного, воднорозчинного і частини необмінного;

калій, добутий буферними розчинами із ґрунтів – відображає запаси легкозасвоюваного і легкорухливого калію;

диференційований калій (кілька рухомих форм) – добутий із ґрунтів різної концентрації кислотами або кислотою однієї концентрації, але з різним співвідношенням ґрунт:розчин.

Таблиця 3.2 – Порівняння вмісту рухомого фосфору в лучно-чорноземному карбонатному ґрунті протягом періоду вегетації кукурудзи, мг/100 г (за Мачигінім) і градація вмісту фосфору за вимірами сканером AgroCares

Варіант досліджу	4-6 листків		8-10 листків		викидання волоті		МОЛОЧНО-ВОСКОВА СТИГЛІСТЬ	
	аналіз	показник приладу	аналіз	показник приладу	аналіз	показник приладу	аналіз	показник приладу
0-25см								
1	1,64	Н	1,55	Н	1,26	Н	1,11	Н
2	2,95	с	2,71	с	2,49	с	2,23	с
3	3,43	с	3,19	с	2,64	с	2,44	с
4	3,68	с	3,36	с	2,93	с	2,70	с
5	3,87	с	3,59	с	3,07	с	2,82	с
25-50 см								
1	1,09	Н	1,05	Н	0,89	Н	0,82	Н
2	1,57	н	1,43	н	1,01	н	0,92	н
3	2,09	с	1,88	с	1,55	с	1,40	с
4	2,45	с	2,23	с	1,91	с	1,73	с
5	2,66	с	2,46	с	1,97	с	1,79	с

Таблиця 3.3 - Вміст обмінного калію в лучно-чорноземному карбонатному ґрунті протягом періоду вегетації кукурудзи, мг/100 г
(за Мачигінім)

Варіант дослідю	4-6 листків		8-10 листків		викидання волоті		МОЛОЧНО-ВОСКОВА СТИГЛІСТЬ	
	аналіз	показник	аналіз	показник	аналіз	показник	аналіз	показник
0-25см								
1	6,33	Н	6,15	Н	5,83	Н	5,62	Н
2	7,14	с	6,99	с	6,24	с	5,91	с
3	7,81	с	7,28	с	6,35	с	6,00	с
4	8,02	с	7,42	с	6,93	с	6,31	с
5	8,83	с	8,04	с	7,43	с	6,96	с
25-50 см								
1	5,76	Н	5,43	Н	4,62	Н	4,23	Н
2	6,21	н	5,62	н	5,03	н	4,64	н
3	6,33	с	5,89	с	5,24	с	4,96	с
4	6,54	с	6,02	с	5,43	с	5,02	с
5	6,63	с	6,18	с	5,57	с	5,13	с

НУБІП України

Дослідження на темно-сірому опідзоленому ґрунті проводилися на полях, зайнятих різними культурами, у різні фази періоду вегетації. Перше вимірювання

було проведене рано навесні, результати вимірювання сканером AgroCares

наведені в таблиці 3.4

НУБІП України

Таблиця 3.4 – Результати вимірювання сканером AgroCares показників темно-сірого опідзоленого ґрунту

Order ID	Зразок	pH (вод)	Органічна речовина	Загальний азот	Фосфор (Mehlich-3)	Калій (обмінний)	Кальцій (обмінний)	Магній (обмінний)	Потенційно мінералізований азот (A_N_PMN)	Катіонообмін на ємність	загальний вміст алюмінію	загальний вміст заліза	Гранулометричний склад	Вологість
260447	рк_4	7.1 значення pH	3.1%	2 г/кг	47.5 мг/кг	5.6 ммоль+/кг	168.7 ммоль+/кг	23.3 ммоль+/кг	77.3 мг/кг	172 ммоль+/кг	30.6 г/кг	13.4 г/кг	13%, глини	15.6%
260442	рк_3	7.0 значення pH	3.1%	2 г/кг	52.6 мг/кг	5.8 ммоль+/кг	165 ммоль+/кг	24.7 ммоль+/кг	78.5 мг/кг	168 ммоль+/кг	30.3 г/кг	13.2 г/кг	13%, глини	15.4%
260439	рк_2	6.6 значення pH	3%	2 г/кг	47.8 мг/кг	5.3 ммоль+/кг	137 ммоль+/кг	23.9 ммоль+/кг	77 мг/кг	145 ммоль+/кг	30 г/кг	12.8 г/кг	13%, глини	16.4%
260437	рк_1	6.8 значення pH	3%	1.9 г/кг	42.4 мг/кг	4.8 ммоль+/кг	155.5 ммоль+/кг	24.3 ммоль+/кг	74.4 мг/кг	166 ммоль+/кг	30.5 г/кг	13.3 г/кг	13%, глини	18.6%
260434	рк_4	7.1 значення pH	3.2%	2.2 г/кг	50.6 мг/кг	5.4 ммоль+/кг	187.3 ммоль+/кг	23.9 ммоль+/кг	86.8 мг/кг	190 ммоль+/кг	31.4 г/кг	13.9 г/кг	12%, глини	19%
260430	рк_3	6.8 значення pH	3.2%	2 г/кг	40.3 мг/кг	4.3 ммоль+/кг	164.9 ммоль+/кг	27.1 ммоль+/кг	76.8 мг/кг	174 ммоль+/кг	31 г/кг	13.5 г/кг	14%, глини	18.7%
260427	рл_1	7.0 значення pH	3%	1.8 г/кг	46.8 мг/кг	5.9 ммоль+/кг	160.3 ммоль+/кг	25.6 ммоль+/кг	70.4 мг/кг	172 ммоль+/кг	31.5 г/кг	13.9 г/кг	12%, глини	20%
260425	рл_2	6.8 значення pH	2.9%	1.7 г/кг	43.5 мг/кг	3.8 ммоль+/кг	158.7 ммоль+/кг	25.6 ммоль+/кг	68 мг/кг	166 ммоль+/кг	27.6 г/кг	11.9 г/кг	11%, глини	18.6%

У результатах дослідження чітко прослідковується відповідність даних аналізу, що в свою чергу дає розуміння того, що технологія визначення рівня забезпечення ґрунту елементами живлення за допомогою інфрачервоного спектрометра, а саме ближнього діапазону хвиль від 1300 до 2550 нм, довела

свою ефективність. Що може свідчити про її якість і технологічність на ряду

з іншими експрес методами (рис. 3.5)

НУБІП України

НУБІП України

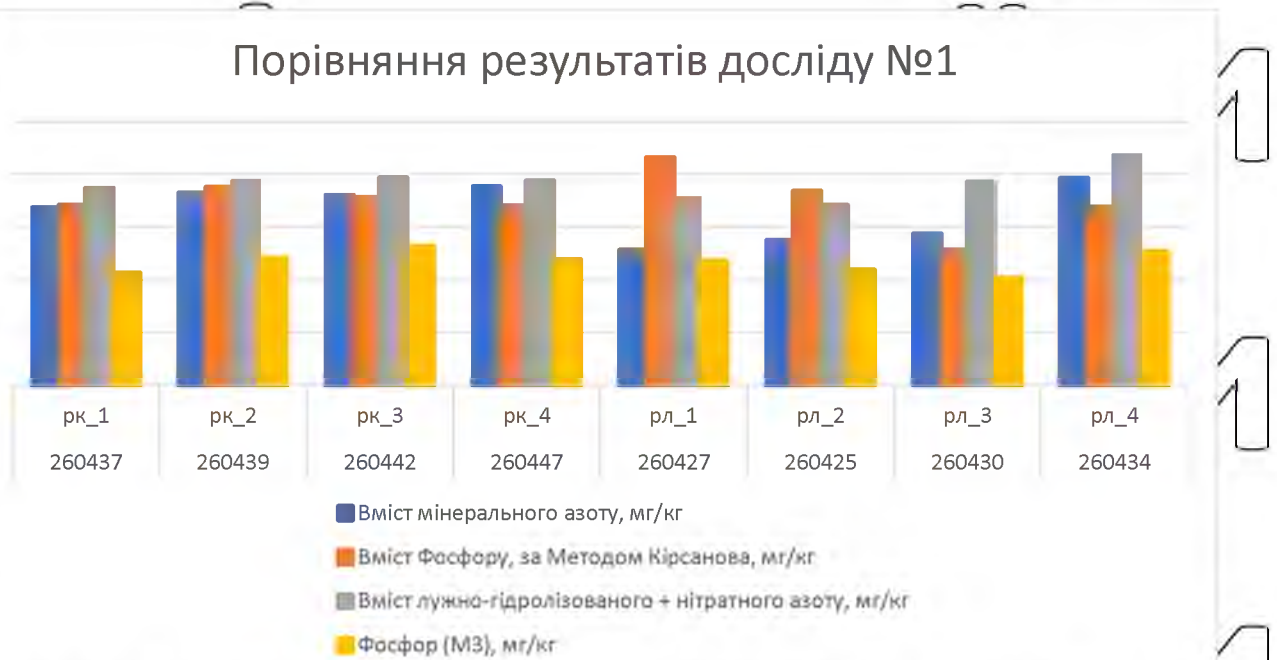


Рисунок 3.5. Діаграма порівняння достовірності результатів досліду

Таблиця 3.6 - Порівняння результатів визначення вмісту рухомого фосфору в темносрому опідзоленому в ґрунті, порівняльна таблиця вмісту мінерального азоту та рухомого фосфору в ґрунті

Order ID	Зразок	Показники лабораторії		Показник ІЧ сканера	
		Вміст мінерального азоту, мг/кг	Вміст фосфору, за методом Кірсанова, мг/кг	Вміст лужно-гідролізованого + нітратного азоту, мг/кг	Фосфор (M3), мг/кг
260437	рк 1	67,0	68,0	74,4	42,4
260439	рк 2	72,8	74,8	77,0	47,8
260442	рк 3	71,8	71,1	78,5	52,6
260447	рк 4	75,0	67,9	77,3	47,5
260427	рл 1	51,0	86,1	70,4	46,8
260425	рл 2	54,6	73,4	68,0	43,5
260430	рл 3	57,2	51,0	76,8	40,3
260434	рл 4	78,2	67,3	86,8	50,6

*градация по рівням забезпеченості вказано в додатку В

Дерново-підзолистий ґрунт. Підставою для застосування того чи іншого методу при вилученні рухомих фосфатів з різних ґрунтів повинен

служити склад фосфорних сполук у ґрунтах, що вивчаються. Підбір найбільш відповідного розчинника для доступних рослинам сполук фосфору.

Дослід проводився на виробничому полі в Чернігівській обл. (Корюківський район, м. Сновськ) зони Полісся, на дернов-підзолистому ґрунті. В досліді було взято ґрунтові проби (середній зразок) методом конверта з 5 ділянок на полі, проби були відскановані за допомогою спектрометра та проаналізовано в лабораторії стандартними методами (рис. 3.7).

Проба	pH (KCl) AgroCares	pH (KCl) Lab	Коеф. Кореляції AgroCares vs Lab	Органічна речовина AgroCares, % орган. вуглецю	Органічна речовина Lab,	Коеф. Кореляції AgroCares vs Lab	Катіонообмінна ємність AgroCares, mmol+/kg	Катіонообмінна ємність Lab, мг-екв/кг	Катіонообмінна ємність Lab, мг-екв/100г	Коеф. Кореляції AgroCares vs Lab
1	5,50	5,90		2,60	2,00		124,80	101,00	10,10	
2	4,70	5,40		1,40	1,80		58,00	65,00	6,50	
3	4,50	5,20		1,80	2,20		31,90	56,00	5,60	
4	4,40	5,00		1,80	1,60		31,80	56,00	5,60	
5	5,40	5,40		3,40	3,80		148,00	151,00	15,10	
6	5,80	6,10		1,70	1,20		73,70	50,00	5,00	
7	5,50	6,10		1,30	1,20		49,80	72,00	7,20	
8	5,00	5,70		1,50	1,20		46,70	51,00	5,10	
9	5,30	5,30		1,20	1,20		52,70	64,00	6,40	
Середнє	5,12	5,57	0,81	1,86	1,80	0,89	68,60	74,00	7,40	0,90

Рисунок 3.7. Дані аналізу сканером та в лабораторії

З отриманих даних був проведений порівняльний аналіз, який дав можливість зрозуміти точність отриманих даних польовим методом та в лабораторії. Розраховано коефіцієнт кореляції (рис. 3.8).

Порівняння результатів досліду №2

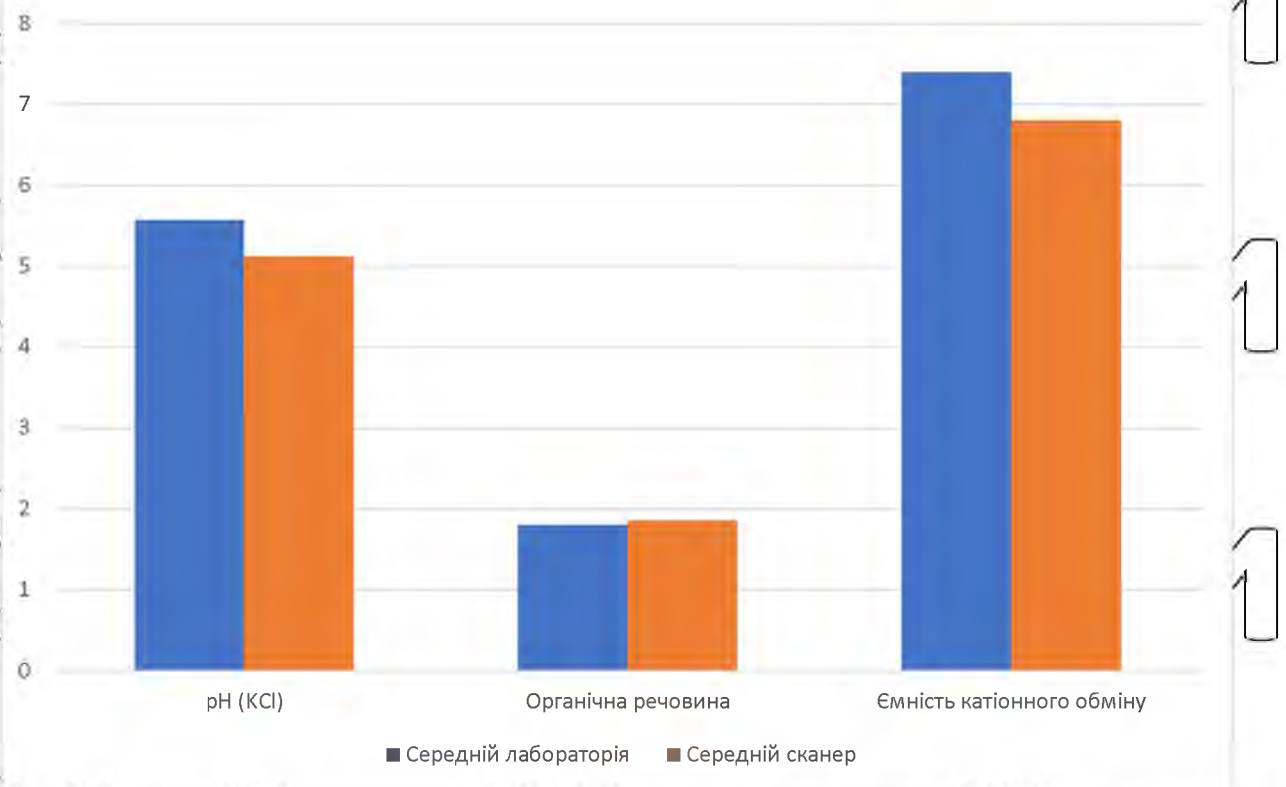


Рисунок 3.8. Порівняння значень вимірів окремих характеристик дерново-підзолистого ґрунту: органічна речовина, %; ємність катіонного обміну – мг/екв/100г

	Середній лабораторія	Середній сканер
pH (KCl)	5,57	5,12
Органічна речовина	1,80	1,86
Ємність катіонного обміну	7,40	6,80

Коефіцієнт кореляції для зазначених показників становив 0,87, що вказує на високу збіжність результатів.

Таблиця 3.9 – Порівняння результатів лабораторного аналізу дерново-підзолистого ґрунту з даними сканера AgroCares

Проба №			1			2			3			4			5			Середі значення		
Показник, лабораторія/сканер	Одиниці вимірювання (лаб)	Одиниці вимірювання (сканер)	Лаб.	Перетворення одиниць (лаб)	Сканер	Лаб.	Перетворення одиниць (лаб)	Сканер	Лаб.	Перетворення одиниць (лаб)	Сканер	Лаб.	Перетворення одиниць (лаб)	Сканер	Лаб.	Перетворення одиниць (лаб)	Сканер	Коеф. кореляції - СЕРЕДНЄ	Лаб.	Сканер
			рН водне/рН (вод)	од. рН	од. рН	5,3	5,3	5,8	5,3	5,3	6	5,3	5,3	6,1	5,2	5,2	5,4	6,2	6,2	6,5
Гумус/Органічна речовина	%	%С	1,2	0,96	1,3	1,31	1,048	1,6	2,43	1,944	1,6	1,92	1,536	1,5	2,56	2,048	1,5		1,5072	1,5
Азот загальний/Загальний азот	г/кг	г/кг	1,1	1,1	0,5	1,2	1,2	0,5	1,4	1,4	0,7	1,5	1,5	0,4	275	275	93,7		56,04	19,16
Рухомі сполуки фосфору/Фосфор (МЗ)	мг/кг	мг/кг	75	75	107,4	97	97	70,9	131	131	76,3	62	62	127,9	0,54	0,54	0,8		73,108	76,66
Обмінні сполуки калію/Калій (обм.)	мг-екв/100 г	ммоль+/кг г	0,69	0,69	0,6	0,61	0,61	0,6	0,84	0,84	1	1,05	1,05	0,8	16	16	31		3,838	6,8
Рухомі сполуки кальцію/Кальцій (обм.)	ммоль/100г	ммоль+/кг г	2,05	20,5	17,2	2,62	26,2	19	3,57	35,7	23,8	2,97	29,7	9,2	5,58	55,8	29,9		33,58	19,82
Рухомі сполуки магнію/Магній (обм.)	ммоль/100г	ммоль+/кг г	0,32	3,2	2,8	0,28	2,8	2,6	0,42	4,2	3,7	0,36	3,6	1,4	0,33	3,3	4,2		3,42	2,94
Рухомі форми алюмінію/Загальний вміст алюмінію	мг-екв/100 г	г/кг	0,014	14	9,9	0,014	14	9,8	0,014	14	10,7	0,019	19	9	0,014	14	9,6		15	9,8
Рухомі форми заліза/Загальний вміст заліза	мг/кг	г/кг	0,529	0,529	3,2	1,031	1,031	2,9	0,74	0,74	3,6	1,487	1,487	2,6	0,921	0,921	3,1		0,9416	3,08
Коеф. кореляції			0,99			1,00			1,00			0,91			0,96			0,97		

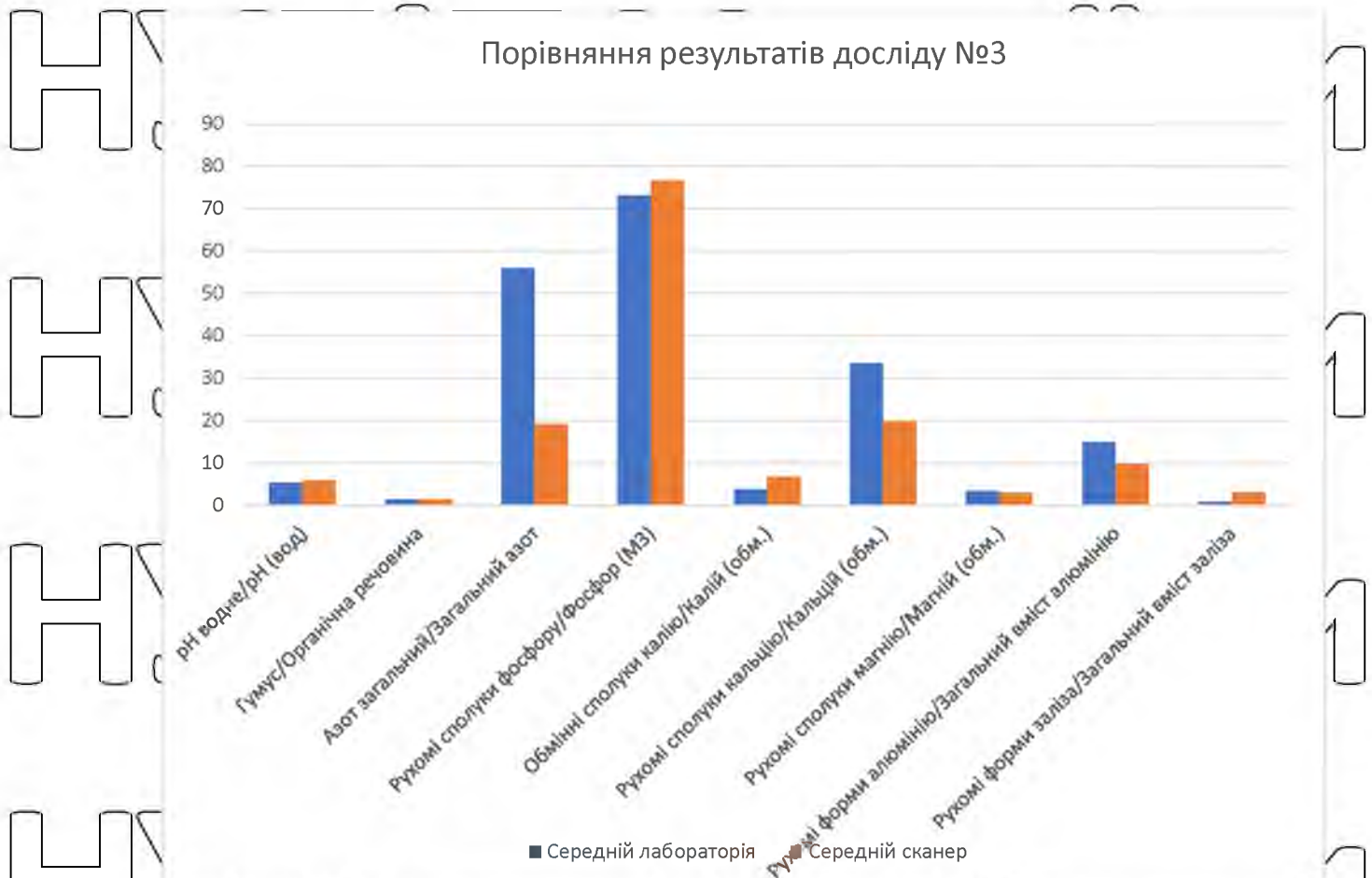


Рисунок 3-16. Порівняння отриманих даних
Коефіцієнт кореляції дорівнює 0,97 (високий)

Дослід проводився на полі в Київській обл., Вишгородського р-на, с. Рови, зони Полісся, на дерново підзолистому ґрунті. В досліді було взято ґрунтові проби (середній зразок) методом конверта з 5 ділянок на полі, проби були відскановані за допомогою спектрометра та проаналізовано в лабораторії стандартними методами. З отриманих даних був проведений порівняльний аналіз, який дав можливість зрозуміти тотожність отриманих даних польовим методом та в лабораторії, а також розрахувати коефіцієнт кореляції.

Хімічний склад ґрунту є однією з його обов'язкових характеристик, придатних для порівняння зі складом інших природних тіл. Хімічний склад ґрунту є комплексом притаманних йому хімічних елементів та їх кількісними співвідношеннями.

Оскільки в своїй основній масі (окрім гумусу та інших органічних речовин) ґрунт складений мінеральними речовинами, то й валовий хімічний його склад переважно визначається складом та співвідношенням мінералів з різних за розмірами фракцій, охоплених ґрунтоутворенням.

Хімічний склад варіює з глибиною. Різниця у валовому хімічному складі окремих горизонтів ґрунтового профілю використовується для визначення хімічного перетворення породи. Отже, напрямок та інтенсивність прояву ґрунтоутворного процесу безпосередньо впливає на перерозподіл хімічного складу по профілю. Тому за характером профільних змін валового хімічного складу можна проводити діагностику ґрунтоутворення.

Для розуміння причин формування особливостей валового хімічного складу ґрунту і його варіювання по профілю завжди необхідно враховувати, що вміст окремих елементів визначається присутністю їх у ґрунті в складі різноманітних конкретних мінеральних і органічних сполук.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

Висновки

Проведені дослідження дозволили зробити наступні висновки:

1. Портативний інфрачервоний сканер ґрунту AgroCares є зручним портативним приладом для комплексного аналізу ґрунту, що дозволяє оперативно обстежувати великі площі, з отриманням звітів про агрохімічні показники, проводити моніторинг зміни показників у часі.
2. Використання приладу потребує попередньої перевірки й калібрування за окремими агрохімічними показниками, так як для різних типів ґрунтів співпадіння вимірів із даними лабораторного аналізу має різні величини.
3. Для ґрунтів чорноземного типу порівняно вища точність вимірювання відзначена для показників ємності катіонного обміну, вмісту органічної речовини, обмінної кислотності, обмінного калію. Для цих параметрів коефіцієнт кореляції між показниками сканера і лабораторними даними становив 0,74-0,91.
4. Для ґрунтів легкого гранулометричного складу вища точність вимірювання відзначена для показників ємності катіонного обміну, вмісту органічної речовини, обмінної кислотності, легкопідrolізного азоту і рухомого фосфору. Співпадіння для цих параметрів між показниками сканера і лабораторними даними становило 77-100 %.
5. Час відбору зразків ґрунту не впливає на достовірність результатів вимірювання сканером AgroCares, що дозволяє використовувати його протягом всього періоду вегетації сільськогосподарських культур, а також у не вегетаційний час.

НУБІП України

Рекомендації виробництву

Для оперативного комплексного агрохімічного аналізу ґрунту безпосередньо в полі рекомендується використовувати портативний інфрачервоний сканер ґрунту AgroCares, провівши попередню калібровку вимірювань з даними лабораторного аналізу за наступними показниками на ґрунтах чорноземного типу – за вмістом азоту легкогідролізованих сполук і рухомого фосфору, на дерново-підзолистих ґрунтах – за вмістом обмінного (рухомого) калію.

НУБІП України

Як прилад експрес-аналізу ґрунту сканер має наступні переваги та сервіс від розробника (нідерландської компанії AgroCares):

- оперативність (аналіз 1 проби займає 10-15 хв);
- мобільність (сканер має невеликі габарити і вагу);
- можливість роботи офлайн за нестабільного сигналу стільникового зв'язку;
- доступність даних для завантаження до цифрової системи управління господарства;
- безлімітний пакет, що дає можливість не обмежуватись у кількості дослідів за сезон;
- повність українізований інтерфейс.

НУБІП України

НУБІП України

Список використаних джерел

1. Дистанційне зондування зернових культур для програмування врожаю. Монографія / Лисенко В.П., Опришко О.О., Комарчук Л.С., Пасічник Н.А. – К. "ЦП Компринт" – 367 с.
2. Sakamoto T. Detecting seasonal changes in crop community structure using day and night digital images / Sakamoto, T., Shibayama, M., Takada, E., Inoue, A., Morita, K., Takahashi, W., Mura, S., Kimura, A. – 2010. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 76, P.713-726.
3. Reeves A. In vivo threedimensional imaging of plants with optical coherence microscopy / Reeves, A., Parsons, R.L., Hettinger, J.W., Medford, J.I., 2002. *J. Microsc.* 208, P.177–189.
4. Dhondt S., Cell to whole-plant phenotyping: the best is yet to come / Dhondt, S., Wuyts, N., Inzé, D., 2013. *Trends Plant Sci.* 18, P.428–439.
5. Cobb, J., DeClerck, G., Greenberg, A., Clark, R., McCouch, S., 2013. Next-generation phenotyping: requirements and strategies for enhancing our understanding of genotype–phenotype relationships and its relevance to crop improvement. *Theor. Appl. Genet.* 126, P.867–887.
6. Fiorani, F., Schurr, U., 2013. Future scenarios for plant phenotyping. *Annu. Rev. Plant Biol.* 64, P.17.1–17.25.
7. Chittka, L., Shmida, A., Troje, N., Menzel, R., 1994. Ultraviolet as a component of flower reflections, and the colour perception of hymenoptera. *Vision. Res.* 43, P.1489–1508.
8. Garcis, J.E., Greentree, A.D., Shrestha, M., Dorin, A., Dyer, A.G., 2014. Flower colours through the lens: quantitative measurement with visible and ultraviolet digital photography. *PLoS ONE* 9 (5), e96646.
9. Staedler, Y.M., Masson, D., Schönenberger, J., 2013. Plant tissues in 3D via X-ray tomography: simple contrasting methods allow high resolution imaging. *PLoS ONE* 8, e75295.
10. Punshon, T., Ricachenevsky, F., Kindt, M., Socha, A., Zuber, H., 2013. Methodological approaches for using synchrotron X-ray fluorescence

(SXRf) imaging as a tool in ionomics: examples from *Arabidopsis thaliana*. *Metallomics* 5, 1133.

11. Garbout, A., Munkholm, L.J., Hansen, S.B., Petersen, B.M., Munk, O.L., Pajor, R., 2012. The use of PET/CT scanning technique for 3D visualization and quantification of real-time soil/plant interactions. *Plant Soil* 352, 113–127.

12. Jördens, C., Scheller, M., Breitenstein, B., Selmar, D., Koch, M., 2009. Evaluation of leaf water status by means of permittivity at terahertz frequencies. *J. Biol. Phys.* 35, 255–264.

13. Menzel, M.I., Tittmann, S., Bühler, J., Preis, S., Wolters, N., Jahnke, S., Walter, A., Chlubek, A., Hermes, N., Offenhäuser, A., Gilmer, F., Blümner, P., Schurr, U., Krause, H.J., 2009. Non-invasive determination of plant biomass with microwave resonators. *Plant Cell Environ.* 32, 368–379.

14. Borisjuk, L., Rolletschek, H., Neuberger, T., 2012. Surveying the plant's world by magnetic resonance imaging. *Plant J.* 70, 129–146.

15. Флуоресценція хлорофілла: полезний (практичний) інструмент. Ел.ресурс: <http://agrotechnology.com/ro/rosc-zemledelie/teoriva/fluorimetriya-razdel-iz-nenapisannogo-uchebnika-agronoma>

16. Локальні методи досліджень: підручник для студентів спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали» / Загородній В.В.; КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019, 323 с.

17. А. Л. Островський, О. І. Мороз, В. Л. Тарнавський. Геодезія, частина II: Підручник для вузів. Львів. НУ «Львівська політехніка», 2007 – 508 с.;

18. Офіційний сайт компанії. Ел.ресурс: <https://www.agrocared.com/2020/10/03/soilcares-in-september-issue-national-geographic-magazine/>, <http://www.nationalgeographic.com/magazine/2017/09/>;

19. Ластухін Ю.О., Воронов С.А. Органічна хімія: Підручник, Львів, 251 с.

20. Synergistic Use of Vis-NIR, MFR, and XRF Spectroscopy for the Determination of Soil Geochemistry, S.M. O'Rourke, B. Minasny, N.M.

Holden, A. B., McBratney, First published: 17 June 2016,
<https://doi.org/10.2136/sssaj2015.10.0361>;

21. Зозуля О. Л. Цифрові технології у рослинництві. Монографія / О.

Л. Зозуля, Л. М. Михальська, О. Л. Ковель, В. В. Швартау. — К. : 02.03.2020.

72 с;

22. Пасічник Н. А. Агрохімічний дистанційний моніторинг
 фітоценозів: навч. посібник / Н. А. Пасічник, В. П. Лисенко, О. О. Опришко,

Д. С. Комарчук. – К.: НУБіП України, 2019. – 268с.

23. Handbook of Mineral Elements in Food, Miguel de la Guardia,
 Salvador Garrigues,

24. Compositional constraints to identifying ternary interactions in ion-
 exchange equilibria, Jacob G. Reynolds, Version of Record Online: 19 October

2021;

25. Pasichnyk N. (2021) Technologies for Environmental Monitoring of
 the City / N. Pasichnyk, D. Komarchuk, O. Opryshko, S. Shvoroov, V. Reshetyuk;

O. Bahatska // 2021 IEEE 16th International Conference on the Experience of
 Designing and Application of CAD Systems (CADSM). P.40-43.

26. О.А. Йонко, В.А.Королев, Л.Д. Стахурлов, ХИМИЧЕСКИЙ
 АНАЛИЗ ПОЧВ, Учебно-методическое пособие, Воронеж 2010, 59 с.

27. А.В. Пукас, Опорний конспект лекцій "Програмне забезпечення
 геоінформаційних систем". Тернопіль. 2013. 42 с.;

28. Державний стандарт України, якість ґрунту визначання рН (ISO
 10390:1994, IDT) ДСТУ ISO 10390:2001, Видано ISO в 1994, Київ,

ДЕРЖСТАНДАРТ УКРАЇНИ, 2003;

29. Германенко, В. Нові технології управління гумусовим станом
 ґрунтів, Лабораторія органічних добрив і гумусу,

Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н.
 Соколовського»,

30. Географія ґрунтів з основами ґрунтознавства. Навчально-методичний посібник / О.В.Аріон, Т.Г.Купач, С.О.Дем'яненко. – К., 2017. – 226 с.;

31. Проектування технологічних процесів у рослинництві: навчальний посібник / В.Д.Гречкосій, В.Д.Войтюк, Р.В.Щатров, М.Я.Дмитришак, В.І.Василюк, В.Г.Опалко. – К., 2016. – 492с.;

32. Збірник законодавчих і нормативно-правових актів у галузі охорони земель та відтворення родючості ґрунтів, наукової діяльності. К.:Задруга, 2007. 520с.

33. Охорона родючості ґрунтів. - Міністерство аграрної політики України, Державний технологічний центр охорони-родючості ґрунтів «Центрдержродючість», 2007. Випуски 1, 2.

34. Методика агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення. За ред. С.М. Рижук, М.В. Лісового, Д.М. Бенцаовського. К., 2003. 64с.

35. Мониторинг почв Украин. Концепция, предварительные результаты, задачи. Медведев В.В. Харьков: ПФ «Антика», 2002. -428с.

36. Komarchuk, D. (2020) Algorithms and Software for UAV Flight Planning for Monitoring the Stress Conditions of Plantations / D. Komarchuk, N. Pasichnyk, V. Lysenko, O. Opryshko, S. Shvorov, V. Reshетиuk, O. Udovenko, T. Khizhka, M. Khamnova – 2020 IEEE 6th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNM), P.146-149.

37. Maresma, Angel (2020) Accuracy of NDVI-derived corn yield predictions is impacted by time of sensing / Angel Maresma, Lindsay Chamberlain, Aristotelis Tagarakis, Tulsi Kharel, Greg Godwin, Karl J. Czymmek, Elson Shields, Quirine M. Ketterings // Computers and Electronics in Agriculture, Vol.169, 105236, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105236>;

38. Економіка і організація аграрного сервісу. За ред. П.О. Мосіюк. К.:ІАГ УААН, 2001. 345с.

39. Кузьмін В.В. Лізинг в аграрно-промисловому комплексі. К.: ІАГ УААН, 1999. 124с.

40. Довідник з агрохімічного і агроекологічного стану ґрунтів України. За ред. Б.С. Носко. К.: Урожай, 1994. 336с.

41. Методика суцільного ґрунтового-агрохімічного моніторингу сільськогосподарських угідь. П.Созінов О.О., Простер Б.С. К.: Урожай, 1994.

162с.

42. <https://www.fossanalytics.com/en/news-articles/technologies/nir-technology>

43. Данкевич В.Є., Данкевич Є.М. Моніторинг сільськогосподарських угідь із застосуванням систем дистанційного зондування земель. Економіка АПК. 2019. № 8. С. 27 — 36.

44. Аналіз ґрунту за допомогою сканера. Ел.ресурс: <https://www.analizgruntu.com/>

45. Near-Infrared Spectroscopy: Theory, Spectral Analysis, Instrumentation, and Applications, Yukihiro Ozaki, Christian Huck, Satoru Tsuchikawa, Søren Balling Engelsen, Springer Nature, 13 лист. 2020 р. - 593

стор.

46. <https://www.fao.org/global-soil-partnership/glosolan/analiz-pochvy/sukhaja-khimiya-spektroskopija-pochvy/ru/>

47. Навчальний посібник “Прикладна спектроскопія” – В.Б.

Капустяник, В.І. Мокрий.

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

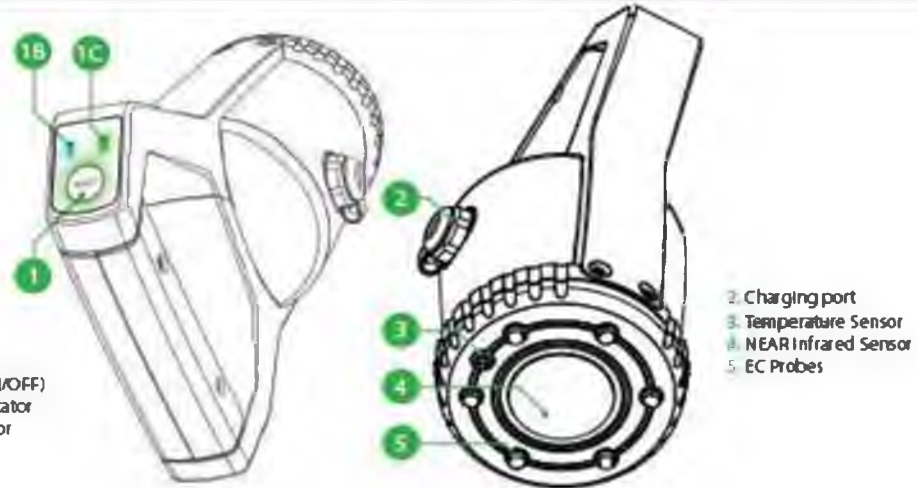
НУБІП України

Додатки

Додаток А. Довідкові методи «Лабораторії Золотого Стандарту» (GSL)

Параметри	Метод	Стандарт	Одиниці виміру
Характеристики ґрунту			
Dry matter and water content	Gravimetric method	ISO 11465	g/kg
pH	Water and potassium chloride extraction 1:5	NEN-ISO 10390	
Electrical conductivity	Aqueous suspension of soil	CEN/TS 15937:2013	mS/m
Particle size distribution (clay%, silt%, sand%)	Laser diffraction	In-house procedure based on ISO 11277:2009 and NEN 5753:2006	%
Total C and N, C/N ratio	Simultaneous instrumental analysis by dry combustion	NEN-EN 16168:2012	g/kg
Organic C	Instrumental analysis by dry combustion	NEN-EN 15936:2012	g/kg

AgroCares Scanner Technical Specifications



- 1 Scan button (ON/OFF)
1B Bluetooth Indicator
1C Battery Indicator

- 2 Charging port
3 Temperature Sensor
4 NEAR Infrared Sensor
5 EC Probes

Technical specifications

Temperature Sensor	NTC resistance probe	
NEAR Infrared Sensor (4)	Near Infra Red Spectrometer - MEMS technology Wavelength Range: 1300-2550nm Electric conductivity: alternate bi-polaire EC 1kHz Light source: 8x Tungsten (Halogen) lamps Bulb: 150mA 5V life: > 10 000 hours	
EC Probes (5)	6 electrical conductivity probes Alternate 1 kHz bi-polar measurement	
Payment	License Unlimited	
Smartphone	Smartphone with Android 5.0 or higher	
Connectivity	Bluetooth 4.0 USB 2.0 High speed 480Mbps	
Battery	Battery life: 250 scans / 15-20 samples Battery power : 3,7V/10 000 mAh rechargeable Charging time: 12 hours	
Dimensions	Height: 230mm Bottom diameter: 90mm Weight: 1450g	
Normes & Regulations	CE Mark Package drop test ISTA3 Product qualification IP 65	
Material	Metal & glass fibre enforced PA	
Water Resistance	IP 65	
Warranty	12 months	
Box content	AgroCares Scanner	Soil testing handheld unit
	Calibration Cap	Cap for 'Standard Sample' and 'Background Scan' calibrations
	Sample Cup	Cup where the soil sample is scanned from
	USB Cable	Charging cable of the AgroCares Scanner
	Power sockets (2)	USB adaptor + International power plugs type A and C
	Cleaning products	Brush and dry cleaning wipes for the Scanner
	Reference card	AgroCares Scanner Quick Reference Card

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП України

Додаток В. Звіт про спектральні дослідження ґрунт темно-сірий опідзошений (програмне забезпечення AgroCares)

Загальна інформація

Номер зразка : 260447
Назва ґрунту : рг_4

Дата : 2021-06-25
Назва врожаю : ріпак озимий

Розмір поля : 1 га
Цільова врожайність : кг

Таблиця стану родючості ґрунту

Параметр	Одиниця	Результати	Діапазон низький	Діапазон високий	Низький	Адекватний	Високий
pH (вод)	значення pH	7.1	6.0	7.2		■	
Органічна речовина	%	3.1	3	7		■	
Загальний азот	г/кг		1	2			■
Фосфор (МЗ)	мг/кг		20	40			■
Калій (обм.)	ммоль+/кг		1.5	3			■
Кальцій (обм.)	ммоль+/кг		15	25			■
Магній (обм.)	ммоль+/кг		4.5	10			■
A_N_PMN			22	32			■
Катіонообмінна ємність	ммоль+/кг	172	75	200		□	
загальний вміст алюмінію	г/кг		94	115	■		
загальний вміст заліза	г/кг		5	8			■
Гранулометричний склад	%	13	20	40	■		
Вологість	%		10	30		■	

Загальна інформація

Номер зразка : 260442
Назва поля : рк_3

Дата : 2021-06-25
Назва врожаю : ріпак озимий

Розмір поля : 1 га
Цільова врожайність : кг

Таблиця стану родючості ґрунту

Параметр	Одиниця	Результати	Діапазон низький	Діапазон високий	Низький	Адекватний	Високий
pH (вод)	значення pH	7.0	6.0	7.2		■	
Органічна речовина	%	3.1	3	7		■	
Загальний азот	г/кг		1	2			■
Фосфор (МЗ)	мг/кг		20	40			■
Калій (обм.)	ммоль+/кг		1.5	3			■
Кальцій (обм.)	ммоль+/кг		15	25			■
Магній (обм.)	ммоль+/кг		4.5	10			■
A_N_PMN			22	32			■
Катіонообмінна ємність	ммоль+/кг	168	75	200		■	
загальний вміст алюмінію	г/кг		94	115	■		
загальний вміст заліза	г/кг		5	8			■
Гранулометричний склад	%	13	20	40	■		
Вологість	%		10	30		■	

Загальна інформація

Номер зразка : 260430
Назва поля : рк_2

Дата : 2021-06-25
Назва врожаю : ріпак озимий

Розмір поля : 1 га
Цільова врожайність : кг

Таблиця стану родючості ґрунту

Параметр	Одиниця	Результати	Діапазон низький	Діапазон високий	Низький	Адекватний	Високий
pH (вод)	значення pH	6.6	6.0	7.2		■	
Органічна речовина	%	3	3	7		■	
Загальний азот	г/кг		1	2			■
Фосфор (МЗ)	мг/кг		20	40			■
Калій (обм.)	ммоль+/кг		1.5	3			■
Кальцій (обм.)	ммоль+/кг		15	25			■
Магній (обм.)	ммоль+/кг		4.5	10			■
A_N_PMN			22	32			■
Катіонообмінна ємність	ммоль+/кг	145	75	200		■	
загальний вміст алюмінію	г/кг		94	115	■		
загальний вміст заліза	г/кг		5	8			■
Гранулометричний склад	%	13	20	40	■		
Вологість	%		10	30		■	

Загальна інформація

Номер зразка : 260437
Назва поля : рк_1

Дата : 2021-06-25
Назва врожаю : ріпак озимий

Розмір поля : 1 га
Цільова врожайність : kg

Таблиця стану родючості ґрунту

Параметр	Одиниця	Результати	Діапазон низький	Діапазон високий	Низький	Адекватний	Високий
pH (вод)	значення pH	6.8	6.0	7.2		■	
Органічна речовина	%	3	3	7		■	
Загальний азот	г/кг		1	2		■	
Фосфор (МЗ)	мг/кг		20	40			■
Калій (обм.)	ммоль+/кг		1.5	3			■
Кальцій (обм.)	ммоль+/кг		15	25			■
Магній (обм.)	ммоль+/кг		4.5	10			■
A_N_PMN			22	32			■
Катіонообмінна ємність	ммоль+/кг	166	75	200		■	
загальний вміст алюмінію	г/кг		94	115	■		
загальний вміст заліза	г/кг		5	8			■
Гранулометричний склад	%	13	20	40	■		
Вологість	%		10	30		■	

Загальна інформація

Номер зразка : 260434
Назва поля : рк_4

Дата : 2021-06-25
Назва врожаю : ріпак озимий

Розмір поля : 1 га
Цільова врожайність : kg

Таблиця стану родючості ґрунту

Параметр	Одиниця	Результати	Діапазон низький	Діапазон високий	Низький	Адекватний	Високий
pH (вод)	значення pH	7.1	6.0	7.2		■	
Органічна речовина	%	3.2	3	7		■	
Загальний азот	г/кг		1	2			■
Фосфор (МЗ)	мг/кг		20	40			■
Калій (обм.)	ммоль+/кг		1.5	3			■
Кальцій (обм.)	ммоль+/кг		15	25			■
Магній (обм.)	ммоль+/кг		4.5	10			■
A_N_PMN			22	32			■
Катіонообмінна ємність	ммоль+/кг	190	75	200		■	
загальний вміст алюмінію	г/кг		94	115	■		
загальний вміст заліза	г/кг		5	8			■
Гранулометричний склад	%	12	20	40	■		
Вологість	%		10	30		■	

Загальна інформація

Номер зразка : 260430
Назва поля : рп_3

Дата : 2021-06-26
Назва ґрунту : ріпак озимий

Розмір поля : 1 га
Цільова врожайність : kg

Таблиця стану родючості ґрунту

Параметр	Одиниця	Результати	Діапазон низький	Діапазон високий	Низький	Адекватний	Високий
pH (вод)	значення pH	6.8	6.0	7.2		■	
Органічна речовина	%	3.2	3	7		■	
Загальний азот	g/kg		1	2			■
Фосфор (МЗ)	mg/kg		20	40			■
Калій (обм.)	ммоль+/kg		1.5	3			■
Кальцій (обм.)	ммоль+/kg		15	25			■
Магній (обм.)	ммоль+/kg		4.5	10			■
A_N_PMN			22	32			■
Катіонообмінна ємність	ммоль+/kg	174	75	200		■	
загальний вміст алюмінію	g/kg		94	115	■		
загальний вміст заліза	g/kg		5	8			■
Гранулометричний склад	%	14	20	40	■		
Вологість	%		10	30		■	

Загальна інформація

Номер зразка : 260425
Назва поля : рп_2

Дата : 2021-06-25
Назва ґрунту : ріпак озимий

Розмір поля : 1 га
Цільова врожайність : kg

Таблиця стану родючості ґрунту

Параметр	Одиниця	Результати	Діапазон низький	Діапазон високий	Низький	Адекватний	Високий
pH (вод)	значення pH	6.8	6.0	7.2		■	
Органічна речовина	%	2.9	3	7	■		
Загальний азот	g/kg		1	2		■	
Фосфор (МЗ)	mg/kg		20	40			■
Калій (обм.)	ммоль+/kg		1.5	3			■
Кальцій (обм.)	ммоль+/kg		15	25			■
Магній (обм.)	ммоль+/kg		4.5	10			■
A_N_PMN			22	32			■
Катіонообмінна ємність	ммоль+/kg	166	75	200		■	
загальний вміст алюмінію	g/kg		94	115	■		
загальний вміст заліза	g/kg		5	8			■
Гранулометричний склад	%	11	20	40	■		
Вологість	%		10	30		■	

Загальна інформація

Номер зразка : 260427
Назва поля : рп_1

Дата : 2021-06-25
Назва агроном : рпнас озимий

Розмір поля : 1 га
Цільова врожайність : kg

Таблиця стану родючості ґрунту

Параметр	Одиниця	Результати	Діапазон низький	Діапазон високий	Низький	Адекватний	Високий
pH (вод)	значення pH	7.0	6.0	7.2			
Органічна речовина	%	3	3	7			
Загальний азот	mg		1	2			
Фосфор (M3)	mg/kg		20	40			
Калій (обм.)	ммоль+kg		1.5	3			
Кальцій (обм.)	ммоль+kg		15	25			
Магній (обм.)	ммоль+kg		4.5	10			
A_N_PMN			22	32			
Катіонообмінна ємність	ммоль+kg	172	75	200			
загальний вміст алюмінію	mg		94	115			
загальний вміст заліза	mg		5	8			
Гранулометричний склад	%	12	20	40			
Вологість	%		10	30			

Загальна інформація

Номер зразка : 260437
Назва поля : рп_1

Дата : 2021-06-25
Назва агроном : рпнас озимий

Розмір поля : 1 га
Цільова врожайність : kg

Таблиця стану родючості ґрунту

Параметр	Одиниця	Результати	Діапазон низький	Діапазон високий	Низький	Адекватний	Високий
pH (вод)	значення pH	6.8	6.0	7.2			
Органічна речовина	%	3	3	7			
Загальний азот	mg		1	2			
Фосфор (M3)	mg/kg		20	40			
Калій (обм.)	ммоль+kg		1.5	3			
Кальцій (обм.)	ммоль+kg		15	25			
Магній (обм.)	ммоль+kg		4.5	10			
A_N_PMN			22	32			
Катіонообмінна ємність	ммоль+kg	166	75	200			
загальний вміст алюмінію	mg		94	115			
загальний вміст заліза	mg		5	8			
Гранулометричний склад	%	13	20	40			
Вологість	%		10	30			

НУБІП Україна

Загальна інформація

Номер зразка : 260442
Назва поля : рп_3

Дата : 2021-06-25
Назва врожаю : ріпак озимий

Розмір поля : 1 га
Цільова врожайність : kg

Таблиця стану родючості ґрунту

Параметр	Одиниця	Результати	Діапазон низький	Діапазон високий	Низький	Адекватний	Високий
pH (вод)	значення pH	7.0	6.0	7.2			
Органічна речовина	%	3.1	3	7			
Загальний азот	г/кг		1	2			
Фосфор (МЗ)	мг/кг		20	40			
Калій (обм.)	ммоль+/кг		1.5	3			
Кальцій (обм.)	ммоль+/кг		15	25			
Магній (обм.)	ммоль+/кг		4.5	10			
A_N_PMN			22	32			
Катіонобмінна ємність	ммоль+/кг	166	75	200			
загальний вміст алюмінію	г/кг		94	115			
загальний вміст заліза	г/кг		5	8			
Гранулометричний склад	%	13	20	40			
Вологість	%		10	30			

Загальна інформація

Номер зразка : 260430
Назва поля : рп_3

Дата : 2021-06-26
Назва врожаю : ріпак озимий

Розмір поля : 1 га
Цільова врожайність : kg

Таблиця стану родючості ґрунту

Параметр	Одиниця	Результати	Діапазон низький	Діапазон високий	Низький	Адекватний	Високий
pH (вод)	значення pH	6.8	6.0	7.2			
Органічна речовина	%	3.2	3	7			
Загальний азот	г/кг		1	2			
Фосфор (МЗ)	мг/кг		20	40			
Калій (обм.)	ммоль+/кг		1.5	3			
Кальцій (обм.)	ммоль+/кг		15	25			
Магній (обм.)	ммоль+/кг		4.5	10			
A_N_PMN			22	32			
Катіонобмінна ємність	ммоль+/кг	174	75	200			
загальний вміст алюмінію	г/кг		94	115			
загальний вміст заліза	г/кг		5	8			
Гранулометричний склад	%	14	20	40			
Вологість	%		10	30			

Загальна інформація

Номер зразка : 200427
Назва поля : рп_1

Дата : 2021-06-25
Назва зразка : рпкс сажки

Розмір поля : 1 га
Цільова врожайність : kg

Таблиця стану родючості ґрунту

Параметр	Одиниця	Результати	Діапазон низький	Діапазон високий	Низький	Адекватний	Високий
pH (вод)	значення pH	7.0	6.0	7.2		■	
Органічна речовина	%	3	3	7		■	
Загальний азот	г/кг		1	2		■	
Фосфор (МЗ)	мг/кг		20	40			■
Калій (обм.)	ммоль +/кг		1.5	3			■
Кальцій (обм.)	ммоль +/кг		15	25			■
Магній (обм.)	ммоль +/кг		4.5	10			■
A_N_PMN			22	32			■
Катіонообмінна ємність	ммоль +/кг	172	75	200		■	
загальний вміст алюмінію	г/кг		94	115	■		
загальний вміст заліза	г/кг		5	8			■
Гранулометричний склад	%	12	20	40	■		
Вологість	%		10	30		■	

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України