

Практична робота 9

ТЕМА: «Прилади і датчики моніторингу стану ґрунтів»

Мета роботи: засвоїти прилади і датчики моніторингу стану ґрунтів.

Матеріали та обладнання: підручники, електронні інформаційні ресурси, довідники.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

В світі інтенсивно і широко ведуться наукові дослідження в напрямку пошуку можливостей отримувати достовірну інформацію про стан поля з високою продуктивністю та низькою собівартістю. Одним з таких напрямків є використання опосередкованої інформації про стан ґрунту з надійним алгоритмом перерахунку такої інформації в об'єктивно необхідні дані - наприклад, таких, як рівень поживних речовин, гумусу, вологості, мікроелементів тощо в ґрунті. Ефективними опосередкованими даними стану ґрунту можуть бути показники електричної провідності ґрунту, величина діелектричної проникності, магнітні властивості тощо.

Необхідність визначення широкого кола параметрів ґрунту призводять до потреб застосування широкого шлейфа вузькоспеціалізованих приладів і обладнання. Класичні способи мають недоліки, наприклад, вартісного характеру, або вимагають постопераційної обробки, або тривалість проведення аналізу значно перевищує доцільні часові межі. Це вимагає пошуку складних високотехнологічних методів визначення властивостей ґрунту. Необхідно застосовувати певні інтегральні показники стану ґрунтового середовища, реєстрація яких могла б задовольнити сучасним вимогам продуктивності та економічності.

Визначення електропровідних (ЕП) та електромагнітних (ЕМ) властивостей ґрунту є одним з напрямків удосконалення моніторингу стану ґрунту. Відносна простота та швидкість визначення ЕП властивостей ґрунту в комбінації з високим рівнем (при наявності розгалуженої експериментальної бази показників залежності величини електропровідності з агробіологічними параметрами ґрунту) зв'язку ЕП з основними фізико-механічними та агрохімічними показниками свідчать про великий потенціал застосування такого способу моніторингу стану поля.

Електрофізичні властивості ґрунтів тісно пов'язані з їх агрогідрологічними властивостями.

Під електропровідністю ґрунту розуміють здатність ґрунту пропускати електричний струм під дією електричного поля. Для визначення електропровідності ґрунту звичайно визначають його електроопір. Питомий опір

- величина зворотна питомій провідності ґрунтів. Електронна провідність порід і мінералів (складових ґрунту) не велика - 10^{-7} - 10^{-15} См/см (См - Сіменс. Вернер Сименс - німецький інженер, винахідник, вчений, видний політичний і громадський діяч. Засновник фірми Siemens AG - крупного міжнародного концерну, що працює у галузі електротехніки, електроніки, енергетичного устаткування, транспорту, медичного устаткування і світлотехніки), і їх без особливої похибки можна віднести до діелектриків. Тому сухий ґрунт проводить струм дуже погано. Ґрунти в основному володіють іонною провідністю; електрична провідність з'являється лише при попаданні в них води завдяки розчиненню і дисоціації присутніх в ґрунті електролітів. Поверхня ґрунтових частинок "володіє" здатністю проводити електричний струм. Величина струму збільшується при зменшенні концентрації розчину в порах ґрунту, а також при зменшенні радіусу пор. У обох випадках загальна кількість іонів в об'ємі порового розчину зменшується швидше, ніж число іонів дифузного шару. При цьому частка участі поверхневих іонів в загальному перенесенні електрики через дисперсну фазу ґрунту зростає.

Електропровідність ґрунту залежить від вмісту вологи, концентрації солей, вмісту повітря, рівня температури. Електропровідність сильно зростає із збільшенням вмісту води до досягнення вологонасиченості ґрунту, а потім залишається порівняно постійною. Опір ґрунту нижче точки замерзання різко зростає, тоді як при позитивних температурах він змінюється незначно. Хоча при заданій вологості опір ґрунту визначається в основному вмістом електролітів, проте вид ґрунту також має істотне значення. Якщо ґрунти насичені однаковою ґрунтовою водою, то залежно від характеру ґрунту і його дисперсності питомий опір буде різко змінюватися.

Загальна кількість усіх обмінних катіонів, які можуть бути витіснені з ґрунту, **називається ємністю катіонного обміну (ЄКО).**

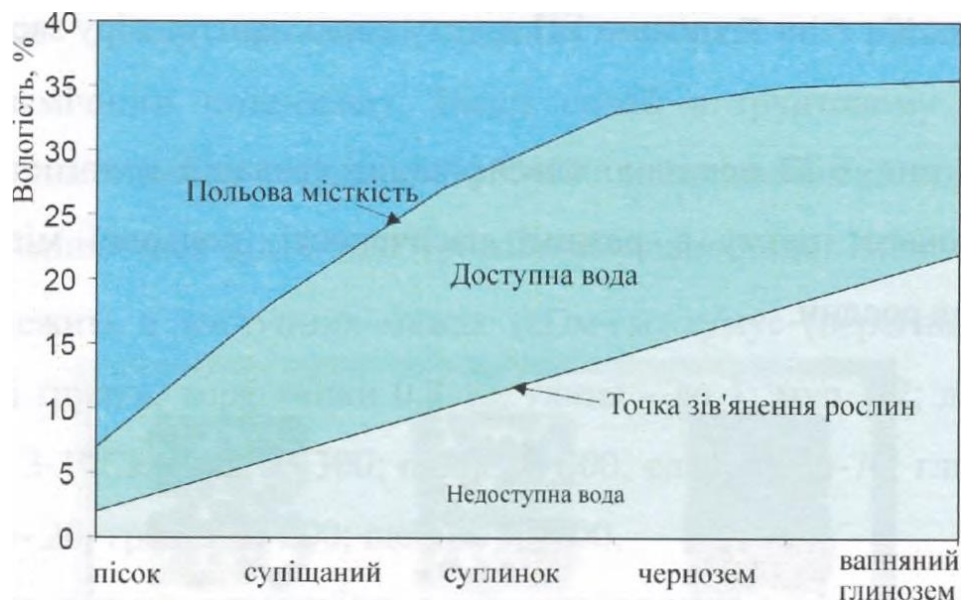
Вивчення поглинаючого комплексу і законів іонного обміну дозволило Гедройцу підвести точну кількісну базу під способи хімічної меліорації ґрунтів: гіпсування і вапнування. З іншого боку, вчення Гедройця дозволяє вийти на ідеологічну базу визначення типу ґрунту за показниками ЄКО. Виражається ЄКО в міліграм- еквівалентах на 100 г ґрунту (мг-екв/100 г ґрунту). На сьогодні відомі наступні залежності характеристик ґрунту від вмісту в ньому колоїдної та передколоїдної фракцій:

- при збільшенні ступеня дисперсності частинок ємність поглинання підвищується;
- органічна частина володіє значно більшою ємністю поглинання, ніж мінеральна;
- глинисті ґрунти мають більш високу ємність поглинання, ніж інші;
- з підвищенням рН збільшується ємність поглинання (ЄКО).

Величина ЄКО в ґрунтах різного генезису. (І.С. Кауричев)

Ґрунт	ЄКО, мг-екв/100 г ґрунту
Дерново-підзолистий піщаний	3-6
Дерново-підзолистий середньосуглинковий	10-20
Дерново-підзолистий глинистий	15-25
Сірий лісовий середньо-суглинковий	15-30
Чорнозем типовий важкосуглинковий	30-70
Чорнозем південний суглинковий	20-50
Світло-каштановий суглинковий	20-40
Сірозем типовий суглинковий	8-20
Червонозем суглинковий	13-25

Таким чином, властивість ґрунту проводити електричний струм обумовлена рівнем вологості ґрунту, фазовим станом цієї води, вмістом у ґрунті солей, його температурою, щільністю, гранулометричним складом тощо.



Розподіл вологості в залежності від типу ґрунту

Для вимірювання електропровідних властивостей ґрунту використовують широку гаму вимірювального обладнання від простих ручних кондуктометрів до складних і вартісних автоматизованих систем.

Ручний кондуктометр GCM-2 (компанії TerraPlus, США) призначений для вимірювання питомої провідності ґрунту в індуктивному режимі в межах від 1 до 105 См/м, а також опору в гальванічному режимі від 1 до 100 Ом м; має інтерфейс RS-232. Чутливість приладу - 0.1 См/м.



Кондуктометр GCM-2

Практика показала, що вимірювання фізичних параметрів електропровідності ґрунтів можливо виконувати точніше при застосуванні кондуктометричних вимірювачів, в які вмонтовані електроди, що призначені як для вимірювання, так і подачі тестової напруги. Такі вимірювачі часто виконують у вигляді ручних щупів з можливістю вимірювання ще і температури. Прикладом такого щупа є датчик SMTE (США) (мал.).

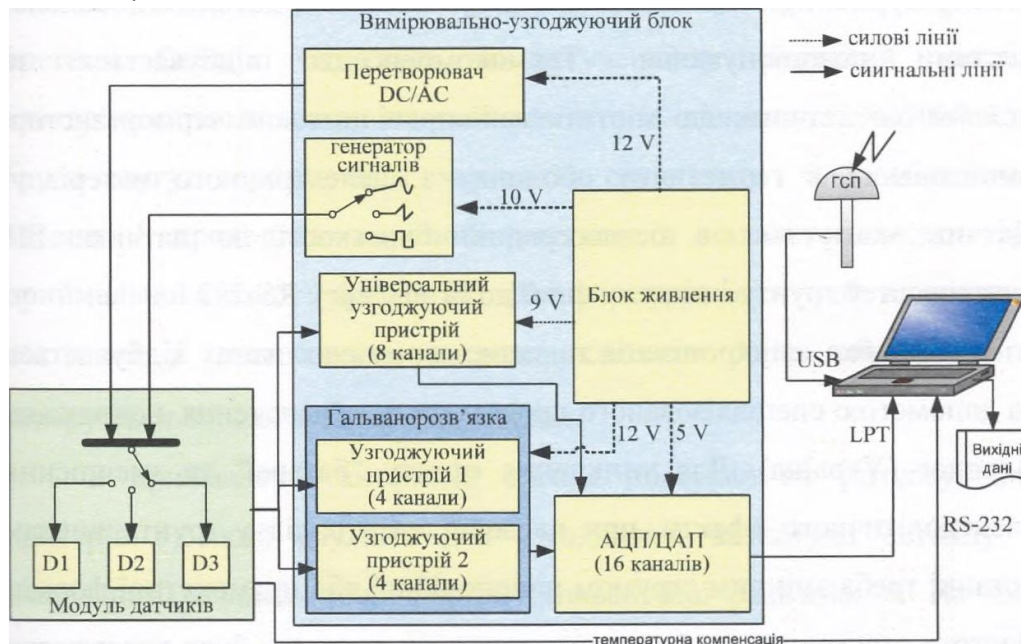


Датчик SMTE вимірювання електричної провідності і температури ґрунту

Датчик SMTE призначений для вимірювання електричної провідності, об'ємного вмісту води і температури ґрунту з можливістю передачі даних на персональний комп'ютер по інтерфейсу RS232. Вміст води вимірюється за допомогою осцилятора з частотою 70 МГц, а температура - термістором. Датчик комплектується стандартним 5 метровим кабелем і стандартним розніманням.

На різних глибинах ґрунту електрофізичні параметри можуть дуже швидко мінятися, причому інтенсивність електрохімічних процесів залежить не тільки від концентрації в ґрунтовій воді іонів хімічних речовин, але і від вологості аналізованого середовища. При коливаннях хімічного складу середовища, що аналізується, значно збільшується похибка вимірювань: зміна концентрації іонів, що спостерігається на практиці, в ґрунтовому розчині призводить до того, що у ряді випадків інтенсивність електрохімічних процесів визначається не тільки коливаннями вологості, але і коливаннями солевмісту ґрунту, що призводить до збільшення помилки до 100 %. В зв'язку з останнім, підвищення точності Ґрунтового моніторингу виконують шляхом поєднання польових вимірювань з аналізом відібраних зразків в спеціальних лабораторіях.

Схема приладу для вимірювання електропровідних властивостей ґрунту показана на мал.



Функціональна схема системи обладнання для вимірювання ЕП властивостей ґрунту

Компанія Veris (США) розробили електронну систему моніторингу властивостей ґрунту. На сьогодні технологія і обладнання Veris є найбільш прогресивними при вимірюванні ЕП ґрунту в технологіях ТЗ у порівнянні з будь-якими іншими технологіями картографування ґрунтів.

Сутність функціонування даної системи базується на описаних вище принципах реєстрації ЕП властивостей ґрунту залежно від його змін по площі поля. Цей спосіб ефективний при відображенні структури ґрунту, тому що більш дрібні частки ґрунту, такі як глина проводять більше струму, причому, чим більше мулу і піску тим менша електропровідність. Спочатку компанія розробила прилад серії Veris 1900 без інтеграції з ГСП-датчиками, а надалі проводила удосконалення системи.

Сканер Veris дозволяє визначити електропровідність на двох глибинах, рівень органічної речовини, кислотність ґрунту і ємність катіонного обміну.

Електропровідність визначається за допомогою шести дисків, які розміщені в передній частині сканера. Два зовнішніх диска призначені для сканування ґрунту на глибину до 90 см. Чотири внутрішніх диска сканують на глибину до 30 см. Для здійснення операції диски ідуть в ґрунті на глибині близько 10 см.



Система реєстрації ЕП властивостей ґрунту компанії Veris (зліва - вид на зовнішні диски)

На основі отриманих даних будується карта електропровідності, яка допомагає виявити ґрунтові контури з різними фізичними властивостями.

Вміст органіки в ґрунті визначається оптичним сенсором, який працює у червоному і інфрачервоному діапазонах. Вимірювання проводяться на глибині 3-10 см. Отримані дані необхідно калібрувати, відібравши зразки ґрунту в контрольних точках.

Вимірювання провідності відбувається з інтервалом в 1 секунду з прив'язкою до світових координат. На одному гектарі установка виконує близько 60 проходів зі швидкістю до 15 км/год. Конструкція моделі Veris 3100 a) і Veris 2000 ХА дозволяють одночасно зчитувати провідність з різних горизонтів (до 30 см) і в результаті отримувати докладну карту змін структури ґрунту в кореневій

зоні рослин. На рамі встановлюють до шести дискових електродів, що дозволяє збільшити глибину зондування ґрунту і з меншою кількістю випадкових збурень оцінювати властивості ґрунту.

Для аналізу рН ґрунту на сканері встановлений пробовідбірник. Проби відбираються по ходу руху агрегату. Два рН- електроди автоматично визначають цей показник за кілька секунд. Після чого автоматично очищаються і приймають наступні проби. При швидкості 10 км/год сканер дозволяє відібрати проби з 1-2 гектарів.

Ємність катіонного обміну визначається після аналізу параметрів електромагнітної індукції і даних оптичного сенсора. Також проводиться аналіз проб ґрунту з контрольних точок. Це здійснюється для того, щоб перейти від відносних до абсолютних значень. Параметр ємності катіонного обміну допомагає визначити здатність ґрунту засвоювати поживні речовини.

Системи Veris Profiler 3100 та Veris Profiler (мал. а, б) в додаток до зонда реєстрації електропровідності має пенетрометр (пристрій, що вимірює щільність ґрунту). Також системи дозволяють аналізувати стан ґрунту (кількість поживних речовин, повітря або вологи) в зоні кореневої системи рослин.



Моделі Veris 3100 - а) та Veris Profiler — б) в роботі

Soil Doctor (США) це ще одна комерційна система для реєстрації ЕП властивостей ґрунту, що працює близько на тому ж принципі що і Veris. Представники цієї компанії вперше запровадили технологією реєстрації місцевизначених параметрів ґрунту в реальному часі (Op- The-Go). Обладнання дозволяє проводити зондування ґрунту на ходу з визначенням органічної речовини, ємності катіонного обміну, вологості ґрунту і кількості нітратного азоту.

Оскільки вимірювання провідності проводиться майже миттєво, дані від цього приладу можуть бути використані для контролю норми висіву насіння, глибини обробітку ґрунту або рівня внесення гербіцидів і добрив в режимі сенсор-технології.



Парні диски-електроди системи "Soil Doctor" для зондування ґрунту

Система відрізняється малими габаритами, збільшеною частотою запису даних (до 25 вимірів за 1 с), можливістю встановлення обладнання на сівалку або машину для внесення добрив.

Прилади реєстрації електромагнітних властивостей ґрунту

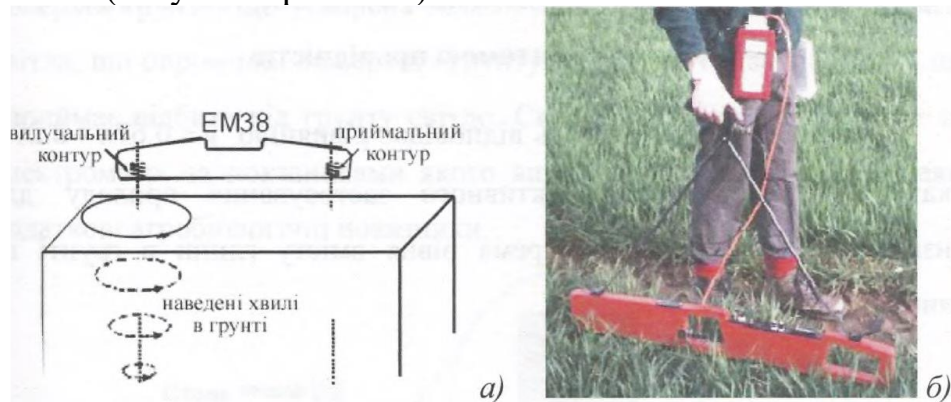
Розрізняють пасивні і активні типи приладів аналізу ЕМ властивостей ґрунту. Пасивні типи приладів не вилучають енергію, а лише фіксують зміни магнітного поля по площі ділянки. У протиположність ним, активні типи приладів використовують вилучення електромагнітних хвиль через індуктивні системи і вимірюють відбиті промені, як варіації магнітних змін ґрунту. Датчики ЕМ властивостей ґрунту, що працюють на частотах радіохвиль і нижче, часто називають кондуктометрами, тобто приладами для визначення ЕП ґрунту. Використовують також узагальнюючу назву - "ґрунтові радари". Це - активні датчики, що мають контур збудження і приймальний контур. Саме наявність двох контурів (може бути один, але працювати по черзі - в режимі прийому і в режимі передачі) обумовлює можливості ґрунтового радара вимірювати як ЕП так і ЕМ властивості ґрунту. Хоча в цілому, суто магнітометр має реагувати на магнітні збурення і ігнорувати електричну провідність.

Геодезичний радар GM-2 компанії TerraPlus (США) використовується на комерційному рівні для безконтактного пошуку сміттєзвалищ, трубопроводів, водогонів, контейнерів з небезпечними речовинами під поверхнею ґрунту, а також для реєстрації варіацій ЕМ властивостей ґрунту. Прилад ручного користування, має вагу близько 3.5 кг, оснащений датчиком ГСП, дозволяє реєструвати близько 40000 точок на гектар і забезпечує продуктивність на рівні до 0.5 га/год.



Геодезичний радар GM-2

Широкого використання для визначення типу ґрунту набув електромагнітний датчик провідності EM 38. Принцип роботи приладу представлений на мал. *а*) і полягає в наявності двох контурів: один для створення магнітного поля (котушка передавача), а інший для відстеження зовнішнього магнітного поля (котушка приймача).



Принцип роботи електромагнітного датчика провідності EM38 *а*) і процес вимірювання ЕМ властивостей ґрунту *б*)

Оптичні датчики

Оптичні датчики використовуються при дослідженні оптичних властивостей об'єкту (здатність пропускати електромагнітні хвилі, спектральний аналіз, поляризація об'єктів тощо) або при визначенні стану досліджуваних об'єктів за зовнішнім виглядом. Датчики поділяють на датчики пасивного та активного типу. Датчики пасивного типу можуть функціонувати тільки при наявності зовнішнього освітлення. На відміну від пасивних світлочутливих датчиків, робота активних датчиків не залежить від освітлення завдяки спеціалізованим технологіям джерела і приймача світла. При цьому такі датчики можуть функціонувати і вдень, і вночі.

Оптичні датчики використовуються для розпізнавання типу ґрунту за його кольором. Чорний колір, який асоціюється з родючістю ґрунту, — це показник вмісту органічного вуглецю. У міру того як вміст органічного вуглецю знижується, колір ґрунту стає світлішим і відбиває її мінеральний склад. Так, червоний колір ґрунтів, наприклад, є індикатором високої концентрації заліза.

На мал. представлена схема функціонування оптичного датчика для ідентифікації типу ґрунту. Датчик встановлюється в підлаповому просторі культиваторної лапи на відстані 5-10 см від поверхні ґрунту, що утворена лезами лапи. Сам датчик має джерело світла, що опромінює поверхню ґрунту, і світлочутливу матрицю, що сприймає відбите від ґрунту світло. Сигнал від датчика поступає на спектрометр, за показниками якого визначається тип ґрунту і деякі додаткові агробіологічні показники.

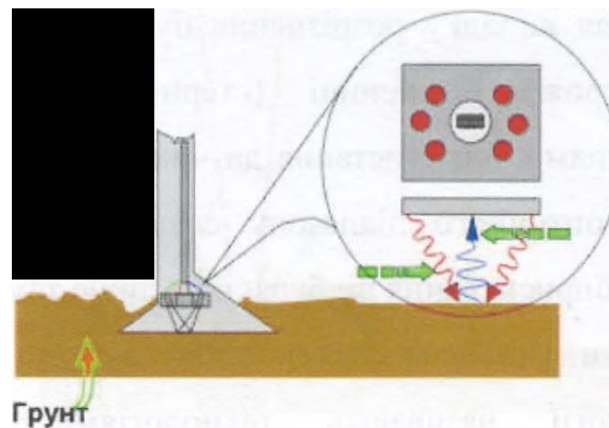


Схема оптичного датчика для ідентифікації типу ґрунту

Література:

1. Система точного землеробства: підручник /Л. В. Аніскевич, Д. Г. Войтюк, Ф. М. Захарін, С. О. Пономаренко; за ред. Л. В. Аніскевича. К. : НУБіП України, 2018. 566 с.
2. Вигера С.М. Природні і культурні фітоценози та принципи контролю їх біорізноманіття : монографія. Київ: НУБіП України, 2013. 300 с.
3. Вигера С. М., Басюк І. В., Сидоренко Л. П. Особливості контролю біорізноманіття за умов органічного виробництва фітопродукції. *Збірник статей з актуальних питань інноваційного консалтингу* / НУБіП України, кафедра аграрного консалтингу та сервісу. Київ : Аграр Медіа Груп, 2010. С. 130–134.
4. Войтюк Д. Г. Моніторинг фітосанітарного стану посівів в системі точного землеробства. *Зб. НАУ*. Київ Т. XI, 2002. С.76–80.
5. Доля М.М. Фітосанітарний моніторинг : навчальний посібник / за ред. М.М. Долі та Й.Т. Покозія. К. : НАУ, 2004. 214 с.