

УДК 631.4:445.4

Використання даних супутникової зйомки в системах точного землеробства

С.Р. Трускавецький, Т.Ю. Биндич, Л.П. Коляда, К.В. Вяткін, О.І. Шерстюк

*Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії
імені О.Н. Соколовського» (м. Харків, Україна), srsc1975@mail.ru*

Статтю присвячено питанню використання даних космічної зйомки в цілях реалізації систем точного землеробства. Зосереджено увагу на необхідності імплементації даних дистанційного зондування та геоінформаційних принципів в системі агротехнічних заходів та сучасних агрегатів. Дані супутникової зйомки вже використовуються розвиненими країнами світу для цілей дозованого внесення добрив і меліорантів, що позитивно відображається не екологічній безпеці та заощаджує кошти на витрати під час проведення агрозаходів. В статті зазначено, що неоднорідність та структуру ґрунтового покриву кожного конкретного поля можна оперативнo та достовірно оцінити на основі супутникового знімка, якщо під час зйомки поверхні поля не була вкрита рослинністю, або сільськогосподарська рослинність перебувала на перших стадіях вегетативного розвитку. Неоднорідність просторового розподілу поживних елементів на полях можна також оцінювати через стан сільськогосподарської рослинності, дешифруючи особливостями зображення супутникового знімка. Вміст поживних речовин в ґрунтах (кількість азоту, фосфору, калію, гумусу, заліза тощо) та їхній перерозподіл в межах окремих полів можна оцінювати не лише за космічними зображеннями, а й на основі цифрових картограм цих елементів, що створено за лабораторно-аналітичними даними, цифровими моделями рельєфу та іншою вхідною інформацією.

Ключові слова: ґрунтовий покрив, неоднорідність, точне землеробство, дистанційне зондування, цифрові моделі рельєфу, цифрове картографування.

Вступ. Методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), зокрема дані супутникової зйомки, широко використовуються в агропромисловому комплексі багатьох країн світу (США, Канада, країни Євросоюзу, Індія, Японія тощо). Однією з ефективних систем сільськогосподарського моніторингу є проєкт MARS (The Monitoring of Agriculture with Remote Sensing; розробка Об'єднаного дослідницького центру Єврокомісії з моніторингу сільськогосподарських земель), який дозволяє визначати площі посівів і врожайність сільськогосподарських культур, починаючи з рівня держав і регіонів аж до окремих ферм.

В Україні проєкт MARS реалізується УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, який ґрунтується на багатофакторному аналізі різної інформації: супутникової, метеорологічної, агрометеорологічної і статистичної [1]. В даний час в Україні вже робляться спроби використання дистанційного зондування Землі в точному землеробстві. Це космічна або аерофотозйомка великих площ для вирішення завдань великомасштабного картування полів (складання планів) і побудови цифрових карт рельєфу. Ці дані стають матеріальною основою створення геоінформаційних систем (ГІС) для точного землеробства. Дані дистанційного зондування можуть також бути використані для складання тематичних карт, що будуть застосо-

уватись під час агротехнічних заходів, в тому числі і для диференційованого внесення мінеральних добрив, хімічних засобів захисту рослин і меліорантів тощо, тобто для систем точного землеробства. Головне призначення систем точного землеробства – диференційований підхід до окремих ділянок поля. Адже відомо, що варіація родючості ґрунту і ступінь розвитку рослин усередині поля величезна. Це підтверджують зображення рослинності полів, отримані з космічних знімків, на основі яких будуються різні тематичні цифрові карти. Встановивши на картах проблемні зони, агроном приймає рішення про відповідні агротехнічні диференційовані заходи [2].

В разі впровадження систем точного землеробства відкриваються реальні можливості виробництва якісної продукції і збереження навколишнього середовища. При цьому досягається підвищення урожаю на 30% за одночасного зниження витрат на мінеральні добрива на 30% і на інгібітори на 50%. Основні результати, що досягаються за допомогою застосування технологій точного землеробства: оптимізація використання витратних матеріалів (мінімізація витрат); підвищення врожайності і якості сільгосппродукції; мінімізація негативного впливу сільськогосподарського виробництва на навколишнє природне середовище; підвищення родючості ґрунтів.

Ядром технології точного землеробства є технічні засоби, що використовуються під час функціонування цієї системи. В основі наукової концепції точного землеробства лежать уявлення про існування неоднорідностей у межах одного поля. Для їх оцінки використовуються новітні технології, такі як системи глобального позиціонування (GPS, ГЛОНАСС), спеціальні датчики; дані дистанційного зондування Землі, зокрема аерофотознімки і знімки зі супутників, супутникова радарна зйомка, електромагнітна індукція, NDVI; технічні системи, що допомагають виявити неоднорідність поля; автоматичні пробовідбірники; різні сенсори та вимірювальні комплекси; збиральні машини з автоматичним урахуванням врожаю; прилади дистанційного зондування сільськогосподарських посівів, а також спеціальні програми для агроменеджменту на базі геоінформаційних систем (ГІС).

Інтегруючою основою технології є геоінформаційна система, яка дозволяє знімати, зберігати та обробляти інформацію, яка характеризує стан полів. За допомогою ГІС складаються карти продуктивності полів, карти родючості ґрунтів, аналізуються метеофактори тощо [3]. Складаються карти агрохімічних та агрофізичних характеристик поля за допомогою супутникових знімків та відбору ґрунтових проб. У ГІС проектах збираються, зберігаються всі можливі дані, які можуть впливати, характеризувати стан поля. Ця інформація дає агроному можливість точно вивчити особливості місцевості, аналізувати і складати графік робіт для господарства. Окремий шар в ГІС може містити інформацію про транспортні розв'язки, типи ґрунтів, індекс вегетації, засоленість ґрунтів, стан посівів та багато іншої інформації. Всі шари в ГІС пов'язані між собою за рахунок загальної системи координат і бази даних, що дає можливість вільного і простого доступу до зібраного матеріалу для окремої ділянки. Через використання ГІС та залучення додаткової інформації про поле, встановлюється зв'язок між врожайністю та іншими характеристиками ділянки. Це програмне наповнення, яке забезпечує автоматизоване ведення просторово-атрибутивних даних картотеки сільськогосподарських полів, а також генерацію, оптимізацію і реалізацію агротехнічних рішень з врахуванням варіабельності характеристик в межах оброблюваного поля. Завдяки чому виробник може приймати рішення щодо змін технології обробітку ґрунту, корегування сівозміни, норми внесення добрив у конкретну зону.

Мета: дослідити можливості використання багато спектрального космічного сканування для визначення неоднорідності властивостей ґрунтів в межах окремих полів з метою подальшого використання цифрових карт властивостей ґрунтів і рослин в системах точного землеробства.

Об'єкти і методи досліджень. Науково-методичні підходи базуються на оперативних супутникових спостереженнях за станом земельних угідь, ґрунтів конкретних полів, на яких вирощують зернові та олійні культури, а також за станом сільськогосподарської рослинності, на визначенні певних параметрів ґрунтів, що фіксуються сенсорами супутників. Методика досліджень полягала у візуальному та автоматичному аналізі даних космічної зйомки щодо виявлення особливостей відбивної здатності певних показників ґрунтів та рослин, їхньої варіабельності та просторової неоднорідності в межах конкретних полів для складання цифрових картограм цих показників. В ГІС розраховано спектральні індекси, за якими здійснено оцінку стану рослинності.

Об'єктами досліджень були окремі поля на території Житомирської та Харківської областей і одне господарство Харківської області, де вирощувались зернові та олійні культури. В якості інструментарію використано архівні знімки з космічного апарату Landsat за 1992 та 2001 роки SPOT за 1995 рік в декількох діапазонах світла та актуальні знімки Landsat-8 за 2014 рік протягом вегетаційного періоду. Під час польового обстеження відбирались ґрунтові та рослинні зразки на аналіз за регулярною та нерегулярною мережами. В зразках визначали загальний вміст гумусу за методом І.В. Тюріна, кислотність та склад водного витягу, увібраних основ, гранулометричний склад за Качинським. Окрім зазначених параметрів, що встановлювались в ґрунтових зразках, для полігонів додатково визначено вміст аміачного та нітратного азоту, вміст рухомих сполук фосфору, калію; в рослинних зразках визначено вміст хлорофілу та вміст азоту, фосфору, калію, вологість та ін.

Для географічної прив'язки, основної обробки, перетворень, використовували геоінформаційні системи: MapInfo, SAGA, ArcGIS і TNT-lite.

Результати досліджень. Структуру або неоднорідність ґрунтового покриву та різновиди ґрунтів в межах одного поля, від яких напряму залежать механізми та прийоми в системі точного землеробства, можна оцінити за допомогою космічних знімків лише в тому випадку, якщо поверхня поля не вкрита рослинністю або сільськогосподарська рослинність знаходиться на початковій стадії свого розвитку. Якщо основу денної поверхні, що підлягає космічній зйомці, складають території не вкриті рослинністю, то з певною долею імовірності можна за допомогою декількох діапазонів світла визначати деякі показники ґрунту, що фіксуються методами ДЗ. Традиційно дані дистанційного зондування мають тісний взаємозв'язок з вмістом гумусу, фізичної глини, а наприклад, для ґрунтів Полісся - з вмістом заліза та першої фракції гранулометричного складу (круп-

ним піском) [4]. Для поліських ґрунтів наступні регресійні рівняння мають достатньо високий коефіцієнт кореляції, що підтверджує тісноту зв'язку для зазначених показників:

$$\begin{aligned} N &= 5,37 + 0,09 \cdot Y_1 - 0,05 \cdot Y_2 - 0,1 \cdot Y_3; & r &= 0,91; \\ GC1 &= -45,38 + 1,59 \cdot Y_1 - 0,79 \cdot Y_2 - 0,25 \cdot Y_3; & r &= 0,89; \\ Fe &= 222,53 + 1,04 \cdot Y_1 - 0,16 \cdot Y_2 - 2,62 \cdot Y_3; & r &= 0,85, \end{aligned}$$

де N – вміст гумусу, Fe – вміст загального заліза, $GC1$ – вміст першої фракції гранулометричного складу, Y_1, Y_2, Y_3 – значення яскравості у зеленому, червоному та ближньому інфрачервоному діапазонах зйомки супутника SPOT, r – коефіцієнт кореляції.

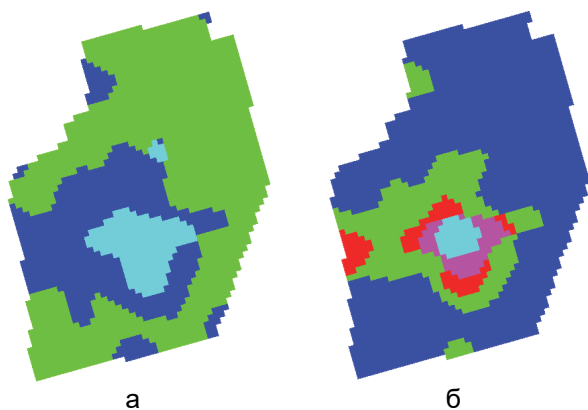


Рис. 1. Картограми вмісту ґрунтових показників для поля в Житомирській області: а) вміст гумусу; б) вміст заліза

На основі отриманих рівнянь в середовищі ГІС побудовано картограми вмісту окремих ґрунтових показників для конкретного поля на території Житомирської області [5] (рис. 1). Дані картограми можна застосовувати в системі точного землеробства для диференціації внесення доз добрив на даному полі.

Застосування космічних матеріалів в дослідженнях ґрунтового покриття охоплює дві основні групи задач: одна пов'язана із вивченням структури ґрунтового покриття та ґрунтовим картографуванням, а інша – із вивченням динамічних властивостей ґрунтів, гумусності, вологості, вмісту поживних речовин.

Враховуючи, що майже в кожному розвиненому господарстві агротехніка оснащена новим комп'ютерним обладнанням, а над полями літають дрони, механізоване взяття проб ґрунту та їх аналізи стали простою, розповсюдженою системою у веденні сільського господарства.

Однією з основних умов вдалого точного землеробства є наявність повної інформації про ділянки землі. З цієї причини неможливо переоцінити ті дані, що дозволяє отримати агрохімічний аналіз ґрунту. Чим більше даних про ґрунти має сільгоспдприємство, тим ефективніше воно

зможе їх обробляти. Для цілей точного землеробства необхідно мати точні електронні картограми вмісту поживних речовин для кожного конкретного поля. В середовищі ГІС нами складено картограми вмісту азоту, гумусу, фосфору і калію для окремого поля в Харківській області (рис. 2)

Дані картограми можуть бути представлені в будь-якому цифровому форматі (зручному для користувача) та занесені в пам'ять бортового комп'ютера, що встановлений на агротехніці.

В даному разі фермер має змогу точно обробляти дане поле, диференційовано вносити добрива та меліоранти, що є сутністю системи точного землеробства.

Просторова неоднорідність спектральної яскравості сільськогосподарських угідь у вегетаційний період обумовлена загалом неоднорідністю розвитку сільськогосподарських культур. Вказана неоднорідність визначає поле відображеного випромінювання, яке фіксується з космічних апаратів [6]. За допомогою знімків високої роздільної здатності можливе розпізнавання стану посівів – зімкнутості, плямистості, пожовтіння у зв'язку із засухою, полягання, пошкодження шкідниками.

Стан сільськогосподарських культур характеризується багатьма параметрами, в тому числі кількістю рослинної маси, ступенем покриття ґрунту тощо. Оскільки завжди можна підібрати такі діапазони спектру, в яких ґрунти і рослинний покрив характеризуються різними спектральними коефіцієнтами яскравості, то завдяки коефіцієнтам яскравості системи «ґрунт-рослинність» можна простежити за кількістю рослинної маси. Тобто, через значення коефіцієнтів яскравості системи «ґрунт-рослинність» можна оцінити стан рослинного покриву, проективне покриття, кількість біомаси тощо [7]. Оцінка стану посівів за знінками в тепловому діапазоні та за радіолокаційними знінками дозволяє робити висновки про ступінь зрідженості посівів, дефіцит вологи в рослинах тощо. Через стан сільськогосподарської рослинності можна оцінити стан ґрунтового покриття, а головне, застосувати цю інформацію в системі точного землеробства.

Важливою складовою технології точного землеробства є своєчасне виявлення і локалізація ділянок пригнобленого стану рослинності в межах одного поля, що може бути викликане різноманітними чинниками: ураженням рослин шкідниками, забур'яненістю, дефіцитом поживних речовин тощо. На основі даних ДЗЗ складаються агротехнологічні електронні карти (АТЕК) для внесення добрив, засобів захисту й виконання інших технологічних операцій, при цьому позиціонування агрегату в гоні корегується за допомогою сучасних навігаційних систем [1]. Такий підхід дозволяє збільшити ефективність виконання технологічних операцій за рахунок точного керування агре-

гатом, що виключає потребу в маркері й інших способах орієнтації, крім того реалізація основних положень інтегрованої системи керованого землеробства, зокрема, моніторингу стану ґрунту, вне-

сення добрив, обробітку ґрунту, посіву, догляду за рослинами, не можлива без подібних систем. На основі супутникової зйомки можна, наприклад, оцінити забезпеченість рослин азотом.

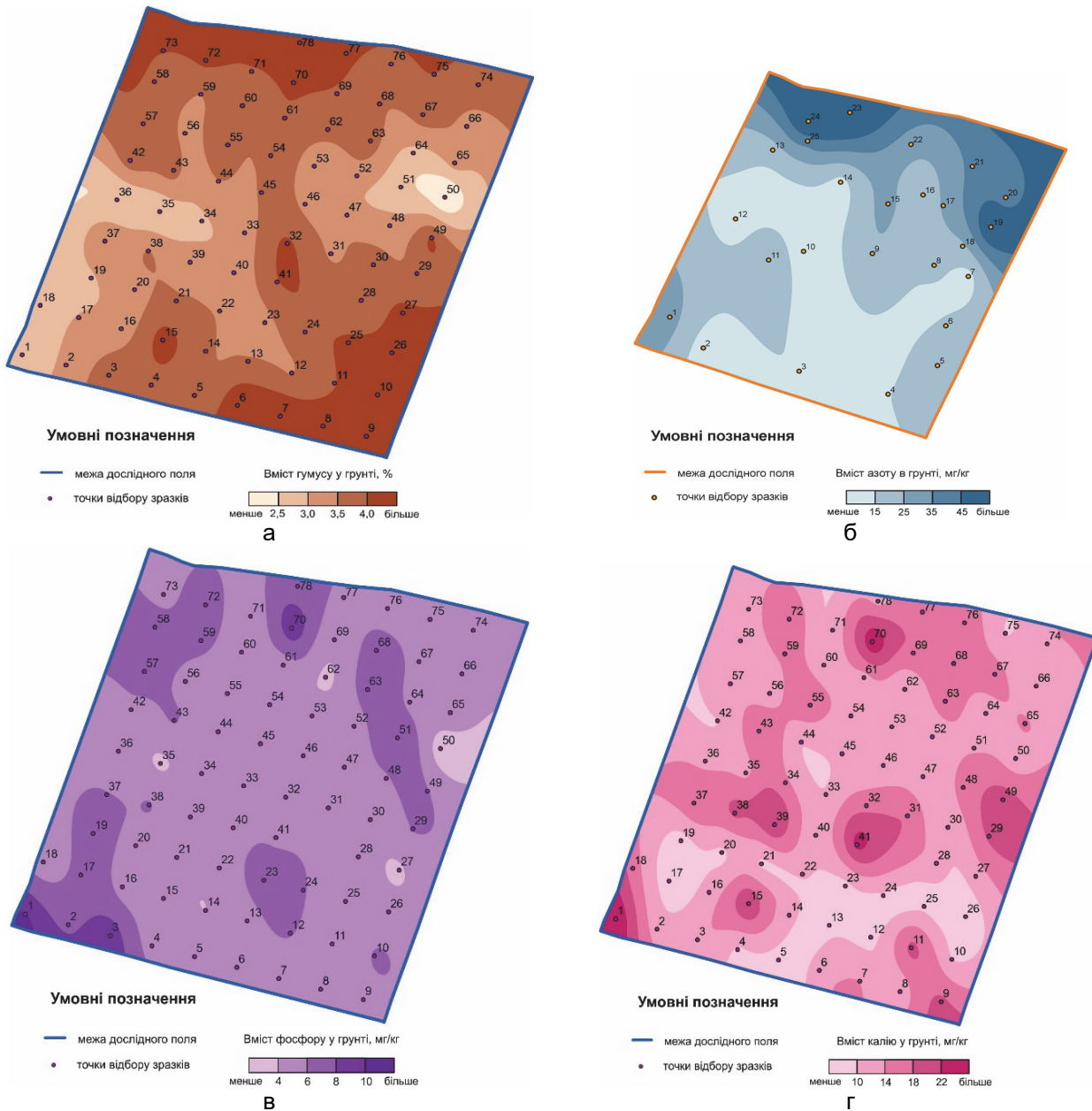


Рис. 2. Цифрові картограми вмісту поживних речовин в ґрунті:
а) гумусу; б) азоту; в) фосфору; г) калію

Метод дистанційного визначення дефіциту азоту за спектральними характеристиками листків у видимій області зводиться, по суті, до вимірювання вмісту хлорофілу, що є мірою асимільованого рослинного азоту.

Умови освітленості, вологості ґрунту і температури, за яких вирощувались рослини, впливають не тільки на вміст хлорофілу та азоту в листках, але і на величину накопиченої біомаси.

Розрахунок за супутниковими даними спектрального індексу зеленості (GI) надає можливість оцінити вміст хлорофілу в рослинах. Побудова картограм цього індексу слугує основою для оцінки просторового розподілення вмісту азоту в рослинах на кожному конкретному полі (рис. 3).

Спектральний індекс зеленості (Greenness Index, GI) розраховують за формулою:

$$GI = \frac{Y_3}{Y_4},$$

де Яз – значення яскравості в зеленому діапазоні;
 Яч – значення яскравості в червоному діапазоні.

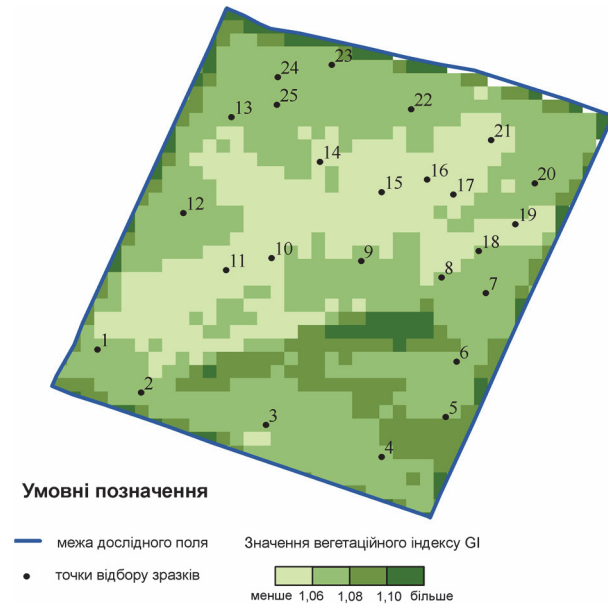


Рис. 3. Картограма індексу GI на полігоні в Харківській області

Ресурсний аспект вивчення рослинності включає в себе оцінку її продуктивності, тобто її біомаси. Оперативна оцінка біомаси рослинності базується на визначенні таких спектральних характеристик, як вегетаційні індекси (VI, NDVI, EVI), що отримують в результаті аналізу спектральної яскравості в червоній та інфрачервоній зонах. Встановлення зв'язку між біомасою рослинності та її спектральною яскравістю дозволяють використовувати карти вегетаційного індексу для оцінки біомаси посівів і стану сільськогосподарської рослинності.

Спектральний нормалізований вегетаційний індекс (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) розраховують за формулою:

$$NDVI = \frac{Y_{бiч} - Y_{ч}}{Y_{бiч} + Y_{ч}}$$

де $Y_{бiч}$ – значення яскравості в ближньому інфрачервоному діапазоні; $Y_{ч}$ – значення яскравості в червоному діапазоні.

Побудова картограм індексу вегетації слугує основою для оцінки стану культури, її біомаси в різних частинах поля, прогнозу її врожайності (рис. 4).

Для достовірності просторової оцінки стану сільськогосподарських культур не менш важливим показником є індекси вологозабезпеченості рослин. Це так звані водні індекси. Спектральний нормалізований водний індекс

(Normalized Difference Water Index, NDWI) розраховують за формулою:

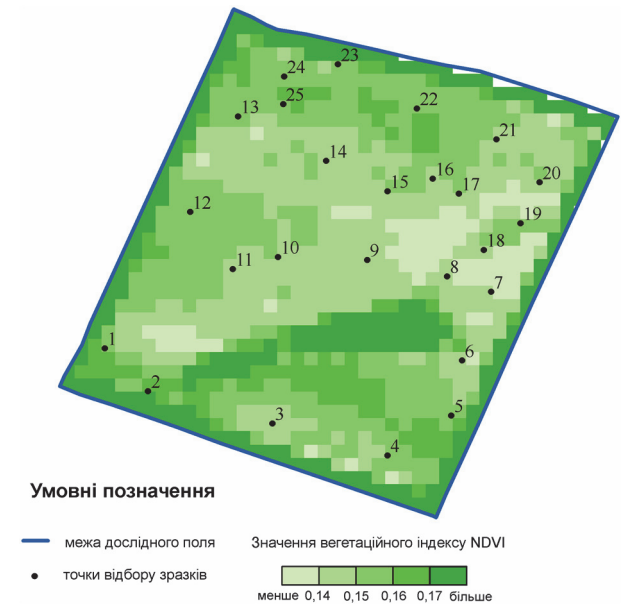


Рис. 4. Картограма вегетаційного індексу NDVI на полігоні в Харківській області

$$NDWI = \frac{Y_{бiч} - Y_{ciч}}{Y_{бiч} + Y_{ciч}}$$

де $Y_{бiч}$ – значення яскравості в ближньому інфрачервоному діапазоні; $Y_{ciч}$ – значення яскравості в середньому інфрачервоному діапазоні.

Спектральний індекс водного стресу (Moisture Stress Index, MSI) розраховується за формулою:

$$MSI = \frac{Y_{ciч}}{Y_{бiч}}$$

де $Y_{бiч}$ – значення яскравості в ближньому інфрачервоному діапазоні; $Y_{ciч}$ – значення яскравості в середньому інфрачервоному діапазоні.

Для оцінки вологозабезпеченості розраховано водні індекси для поля в Харківській області (рис. 5, 6).

Оцінка стану посівів по знімкам в тепловому діапазоні та радіолокаційним знімкам дозволяє робити висновки про ступінь зрідженості посівів, дефіцит вологи в рослинах. Наприклад, оперативне картографування стану посівів в Європі за знімками зі супутника SPOT використовується для вирішення питання про виділення фінансової допомоги фермерам. Встановлення зв'язку між біомасою рослинності та її спектральною яскравістю дозволяють використовувати динамічні карти вегетаційного індексу для оцінки біомаси посівів і пасовищної рослинності.

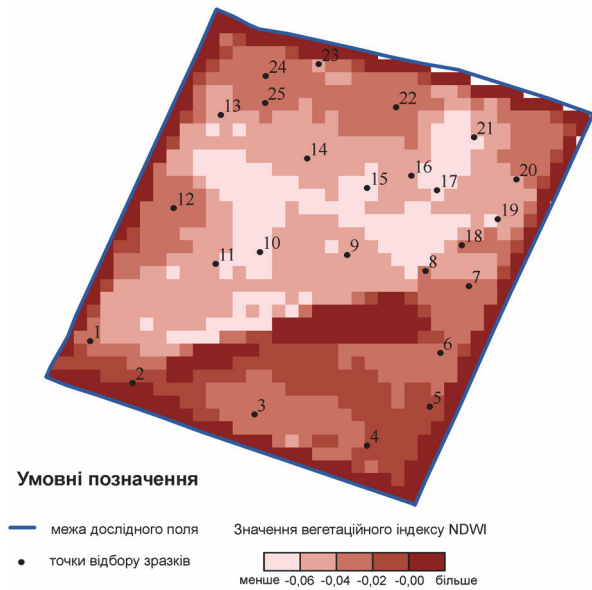


Рис. 5. Картограма вегетаційного індексу NDWI на полігоні в Харківській області

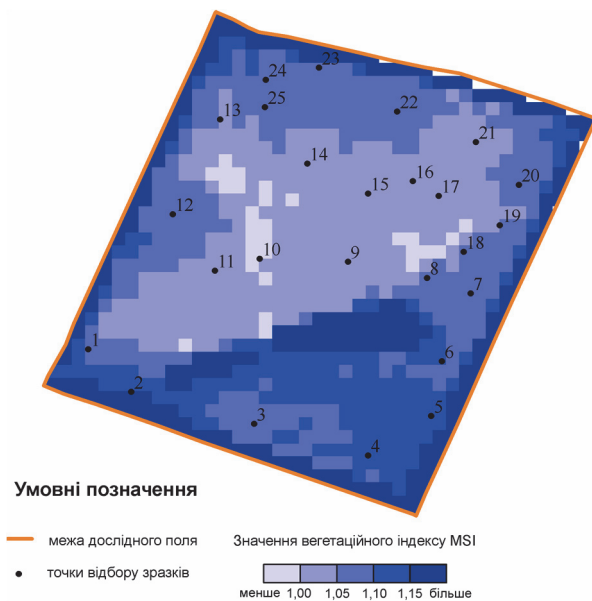


Рис. 6. Картограма вегетаційного індексу MSI на полігоні в Харківській області

Висновки. Супутникові знімки можуть слугувати надійною оперативною основою для отримання цифрових картограм вмісту певних ґрунтових показників для кожного окремого поля, що необхідно для впровадження принципів системи точного землеробства.

Таким чином, сучасне землеробство є однією з основних галузей, в яких відбувається постійне впровадження новітніх наукових розробок. Одними з найважливіших напрямків є покращення контролю якості ґрунтів, впровадження комп'ютерних технологій та автоматизація обладнання.

Системи точного землеробства дозволяють інтенсифікувати сільськогосподарське виробництво, збільшити продуктивність, рівень оплати і престижність професій у сільському господарстві, підвищити ефективність використання виробничих фондів та оборотних коштів. Впровадження новітніх технологій дає змогу підвищити врожайність за рахунок дозованого внесення добрив, меліорантів і пестицидів, тим самим покращуючи екологічну ситуацію.

Дослідженнями встановлено можливість використання супутникових знімків не лише для оцінки стану агробіоценозу конкретного господарства та поля, а й вперше застосувати ДЗЗ і ГІС технології в системах точного землеробства через складання цифрових карт для окремих полів та практичного використання цих карт під час польових робіт і агротехнічних заходів шляхом оптимізації експлуатації агрегатів для конкретних польових умов господарства, оцінених просторово-геометричною конфігурацією за супутниковими зображеннями.

Література

1. Сербій В. Дистанційне зондування землі [Електронний ресурс] / Віталій Сербій // Агробізнес сьогодні. Режим доступу: <http://www.agrobusiness.com.ua/agrobusiness/technology/568-dystantsiine-zonduvannia-zemli.html>.
2. Сенько С.П. Точне землеробство на основі GPS/GIS [Електронний ресурс] / С.П. Сенько // SlideShare. Режим доступу: http://www.slideshare.net/udau_admin/gpsgis-44716413.
3. Погоріла А. Використання GPS Та GIS Систем У Точному Землеробстві. Перспективи Розвитку В Україні [Електронний ресурс] / Анна Погоріла // FgroMonitor Режим доступу: <http://a.gromonitor.pro/?p=226>
4. Трускавецький С.Р. Використання багатоспектрального космічного сканування та геоінформаційних систем у дослідженні ґрунтового покриття Полісся України // Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня канд. біол. наук. – Харків, 2006. – 23 с.
5. Трускавецький С.Р. Створення в ГІС електронних картограм деяких параметрів ґрунтів житомирського Полісся на основі космічної зйомки / С.Р. Трускавецький. – Вісник ЖНАЕУ. – Житомир. – 2011. – № 1. – С. 27- 35.
6. Виноградов Б.В. Аэрокосмический мониторинг экосистем / Б.В. Виноградов. – М.: Наука, 1984. – 320 с.
7. Кондратьев К.Я. Спектральная отражательная способность и распознавание растительности / К.Я. Кондратьев, П.П. Федченко. – Л.: Гидрометеоиздат, 1982. – 216 с.

Аннотация

Использование данных спутниковой съёмки в системах точного земледелия

С.Р. Трускавецкий, Т.Ю. Биндич, Л.П. Коляда, К.В. Вяткин, А.И. Шерстюк

Статья посвящена вопросу использования данных космической съёмки в целях реализации систем точного земледелия. Акцентируется внимание на необходимости имплементации данных дистанционного зондирования и геоинформационных принципов в системе агротехнических мероприятий и современных агрегатов. Данные спутниковой съёмки уже используются передовыми странами мира для целей дозированного внесения удобрений и мелиорантов, что позитивно отражается на экологической безопасности и экономит средства на затраты при проведении агромероприятий. В статье отмечено, что неоднородность и структуру почвенного покрова каждого конкретного поля можно оперативно и достоверно оценить на основе спутникового снимка, если во время съёмки поверхность поля не была укрыта растительностью, или сельскохозяйственная растительность находилась на первых стадиях вегетативного развития. Неоднородность пространственного распределения питательных элементов на полях можно также оценивать по состоянию сельскохозяйственной растительности, дешифрируя особенности изображения спутникового снимка. Содержание питательных веществ в почве (количество азота, фосфора, калия, гумуса, железа) и их горизонтальное перераспределение в пределах отдельных полей можно оценивать не только по космическим изображениям, а и на основе цифровых картограмм этих элементов, которые составлены по лабораторно-аналитическим данным, цифровым моделям рельефа и другой начальной информации.

Ключевые слова: почвенный покров, неоднородность, точное земледелие, дистанционное зондирование, цифровые модели рельефа, цифровое картографирование.

Abstract

Data Use of Satellite Imagery in Precision Farming

S.R.Truskavetskyi, T.Yu.Byndych, L.P.Kolyada, K.V.Vyatkin, O.I.Sherstyuk

The article focuses on the use of space imagery data in order to implement precision farming systems. It should be noted about the need to implement the remote sensing and geographic information system principles in agricultural activities and modern aggregates. The satellite imagery data have already been used by the advanced countries of the world for the purpose of dosing fertilization and that has a positive effect on the environmental safety and saves money on expenses during agronomic activity. The article notes that you can quickly and reliably estimate the heterogeneity and the structure of soil cover of each field with the help of satellite images, if during the shooting the field surface was not covered with vegetation, or agricultural vegetation was in the first stages of vegetative development. The heterogeneity of the spatial distribution of nutrients in the fields can also be assessed by agricultural vegetation with decoding features images of satellite imagery. The nutrient content of the soil (amount of nitrogen, phosphorous, potassium, humus, iron) and their horizontal redistribution within the individual fields can be evaluated not only by space images, and on the basis of digital cartogram of these elements, which are made on laboratory analytical data, digital elevation models and other information.

Keywords: soil cover, heterogeneity, precision agriculture, remote sensing, digital elevation models, digital mapping.

Представлено від редакції: А.Н. Алтибаєв / Presented on editorial: A.N. Altybajev

Рецензент: М.О. Циганенко / Reviewer: M.O. Циганенко

Подано до редакції / Received: 19.10.2016