
МЕЛІОРАЦІЯ І РОДЮЧІСТЬ ҐРУНТІВ

МЕЛИОРАЦИЯ И ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ

MELIORATION AND SOIL FERTILITY

УДК 631.45

АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ КОМПОНЕНТІВ ПРЕЦИЗІЙНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА

Зацерковний В.І. – д.т.н., професор, кафедра геоінформатики, докторант,
Навчально-науковий інститут «Інститут геології»

Київського національного університету імені Тараса Шевченка

Македонська І.О. – магістр,

Навчально-науковий інститут «Інститут геології»

Київського національного університету імені Тараса Шевченка

Трофименко П.І. – к.с.-г.н., докторант,

кафедра геоінформатики, докторант,

Навчально-науковий інститут «Інститут геології»

Київського національного університету імені Тараса Шевченка

Трофименко Н.В. – к.е.н., асистент, кафедра геоінформатики,

Навчально-науковий інститут «Інститут геології»

Київського національного університету імені Тараса Шевченка

У роботі представлено результати аналізу технологічних складників прецизійного (точного) землеробства, ефективності їх використання, основні сучасні тенденції та перспективи розвитку. На основі даних наукових та науково-технологічних досліджень провідних фахівців у сфері точного землеробства, а також результатів власних розробок виявлено переваги й рівень ефективності застосування його складових компонентів. Установлено, що впровадження систем паралельного водіння, внесення мінеральних добрив та засобів захисту рослин дозволяють заощадити до 50% матеріальних ресурсів.

Показано, що проведене на основі спектрозонального аналізу знімку Sentinel-2A дистанційне прогнозування рівня врожайності зерна і соломи пшениці озимої та побудові картосхем із високою розрізненістю забезпечило задовільні результати. В умовах значної строкатості ґрунтового покриття середня похибка апроксимації польової врожайності зерна становила $\bar{A}_{\text{зерно}} = 14,5\%$, соломи – $\bar{A}_{\text{солома}} = 15,3\%$. Коефіцієнти детермінації для врожайності зерна та соломи становили відповідно 0,64 і 0,74.

Ключові слова: геоінформаційні технології, точне землеробство, дистанційне зондування.

Зацерковный В.И., Македонская И.А., Трофименко П.И., Трофименко Н.В. Анализ подходов и эффективности использования компонентов прецизионного земледелия

В работе представлены результаты анализа технологических составляющих прецизионного (точного) земледелия, эффективности их использования, основные современные тенденции и перспективы развития. На основе данных научных и научно-технологических

исследований ведущих специалистов в сфере точного земледелия, а также результатов собственных разработок, выявлены преимущества и уровень эффективности применения его составляющих компонентов. Установлено, что внедрение систем параллельного вождения, внесение минеральных удобрений и средств защиты растений позволяют сэкономить до 50% материальных ресурсов.

Показано, что проведенное на основе спектрозонального анализа снимка Sentinel-2A дистанционное прогнозирование уровня урожайности зерна и соломы пшеницы озимой и построение картосхем с высокой разделительной способностью обеспечило удовлетворительные результаты. В условиях значительной пестроты почвенного покрова средняя ошибка аппроксимации полевой урожайности зерна составила $A_{\text{зерно}} = 14,5\%$, соломы – $A_{\text{солома}} = 15,3\%$. Коэффициенты детерминации для урожайности зерна и соломы составили соответственно 0,64 и 0,74.

Ключевые слова: геоинформационные технологии, точное земледелие, дистанционное зондирование.

Zatserkovnyi V.I., Makedonska I.O., Trofymenko P.I., Trofymenko N.V. Analysis of approaches and efficiency of the use of precision growth components

The paper presents the results of the analysis of the technological components of precision agriculture, the efficiency of their use, the main current trends and prospects of development. Based on scientific and research data of leading specialists in the field of precision farming, as well as the results of their own developments, the advantages and the level of efficiency of its component components have been identified. It has been established that the introduction of parallel driving systems, the introduction of mineral fertilizers and plant protection products can save up to 50% of material resources.

It was shown that the distance forecasting of the grain yield and wheat straw yield of winter wheat and the construction of high resolution schemers on the basis of spectroscopic analysis of the Sentinel-2A image provided satisfactory results. In conditions of significant variability of soil cover, the average error of approximation of grain yield was $A_{\text{grain}} = 14.5\%$, straw according to $A_{\text{straw}} = 15.3\%$. The determination coefficients for grain yield and straw were respectively 0.64 and 0.74.

Key words: geoinformation technologies, precision agriculture, remote sensing.

Постановка проблеми. Сільське господарство є важливою стратегічною галуззю національної економіки, яка забезпечує продовольчу безпеку та продовольчу незалежність нашої держави. Нині воно формує близько 60% фонду споживання населення, займаючи друге місце серед секторів економіки в товарній структурі експорту. При цьому сільське господарство тривалий період формує позитивне зовнішньоторгівельне сальдо України, формуючи 16–17% ВВП [1].

На відміну від інших галузей економіки, аграрно-промисловий комплекс (далі – АПК) для інвесторів лишається хоча й перспективною, але, певною мірою, ризикованою галуззю економіки. При цьому наукові дослідження з технологічного удосконалення сільськогосподарського виробництва і впровадження інноваційних технологій займають значну частину витрат в аграрній сфері.

Одним з інноваційних напрямів досліджень останніми роками є застосування геоінформаційних систем (ГІС) і дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) в прецизійному землеробстві, оснащення сільськогосподарської техніки сучасними комп'ютерними системами, технологіями супутникової навігації та автоматизації виробничих процесів.

Динамічний розвиток аграрного виробництва потребує впровадження високо-ефективної системи землеробства. Однією з найактуальніших технологій сучасності є прецизійне (точне, адаптивно-ландшафтне, precision farming, agriculture farming) землеробство.

Впровадження точного землеробства передбачає комплексний підхід до управління продуктивністю ґрунту із застосуванням технологій глобального позиціонування GPS, оцінки урожайності YMT (Yield Monitor Technologies), геоінформаційних технологій (ГІТ), дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), змінного

нормування (Variable Rate Technology, VRT), які дозволяють мінімізувати витрати ресурсів шляхом диференційованого внесення добрив, меліорантів і засобів захисту рослин (ЗЗР).

Точне землеробство ґрунтується на врахуванні диференційованості середовища перебування посівів у межах одного поля та комплексному застосуванні технологічних інновацій; передбачає перехід до цілеспрямованого управління агробіологічним потенціалом поля, а також режимами роботи сільськогосподарських машин та знарядь на окремих технологічних операціях, в залежності від місцезнаходження машин у полі, та конкретних природно-кліматичних умовах і експлуатаційної ситуації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням розроблення новітніх технологій, у тому числі прецизійного землеробства, присвячені чисельні роботи науковців, зокрема: А.М. Малієнка, М.К. Шикולי, Г.М. Підлісецького, Я.К. Білоуська, А.В. Бурилка, П.А. Денисенка, В.О. Пітулька, В.Л. Мартинса, С.Г. Митина, Н.В. Краснощекова, В.В. Россохи, Б. Рунова, В.Я. Меселя-Веселяка, П.Т. Саблука, В.Л. Товстопята, В. Сайка та інших.

Як зазначають деякі дослідники, біокліматичний потенціал в аграрному виробництві реалізується лише на третину; на виробництво одиниці продукції витрачається енергетичних ресурсів у 3–6 разів більше, пального – у 2–4, праці – у 3–5 разів більше, ніж у розвинутих країнах [2].

Підвищення врожайності сільськогосподарських культур, якості продукції, економії наявних ресурсів у ХХ сторіччі, як відомо, забезпечувалося завдяки використанню більш досконалих і економних сільгоспмашин, продуктивних сортів рослин, ефективних добрив та раціональних агротехнологічних прийомів.

На сучасному етапі застосування вищезгаданих традиційних інструментів нині не викликає сумнівів. Проте резерви підвищення потенціалу продуктивності земель та покращення якості продукції більшості з них, за виключенням технологій ноу-тілл, міні-тілл, стріп-тілл, ураховуючи сучасний рівень розвитку науки і техніки, поступово наближаються до межі можливостей щодо його збільшення [3]. А вартість ресурсів на виробництво продукції рослинництва – техніку, насіння, добрива, засоби захисту рослин – мають тенденцію до постійного зростання.

Незважаючи на велику кількість публікацій, питання підвищення ефективності землекористування ще далекі від свого розв'язання, вони є актуальними і потребують подальших досліджень.

Постановка завдання. Метою дослідження є аналіз, узагальнення, оцінка підходів ефективності під час застосування окремих компонентів технологій GPS, ГІС та ДЗЗ, що використовуються у впровадженні прецизійного землеробства.

Виклад основного матеріалу дослідження. Як відомо, висока продуктивність ґрунтів є результатом сукупної дії різних чинників (світла, тепла, повітря, вологості, щільності ґрунтів), наявності поживних речовин та ін. Суттєвий вплив на величину врожайності культур спричиняють: технології обробітку ґрунтів, сівби, внесення добрив, а також комплекс заходів із догляду та збирання врожаю. На кожній окремій ділянці площі поля умови для розвитку рослин можуть істотно відрізнятися. Для забезпечення оптимальних умов зростання і розвитку рослин необхідно володіти точною інформацією про стан поля на елементарних ділянках (кількість поживних речовин у ґрунті, вологість, щільність тощо).

В основі концепції прецизійного землеробства лежить технологія управління продуктивністю посівів, яка враховує просторово-часову варіабельність середовища вирощування рослин (рис. 1).



Рис. 1. Схематичне представлення варіабельності характеристик окремих ділянок поля для розвитку рослин [4]

Зважаючи на вищезазначене, максимально деталізоване використання добрив, засобів захисту рослин, біологічно-активних добавок, водних та енергетичних ресурсів забезпечує більш рівномірний розвиток й дозрівання культур, дозволяє мінімізувати втрати поживних речовин та, в кінцевому підсумку, призводить до підвищення якості врожаю і зменшення собівартості продукції.

Для оцінки й детектування неоднорідностей у межах поля використовуються:

- системи глобального позиціонування;
- спеціальні прилади (грунтові пробовідбірники, мобільні лабораторії) і датчики (врожайності, вологості тощо);
- спектрозональні аеро-, супутникові та знімки полів з малих літальних апаратів (дронів, квадрокоптерів тощо);
- спеціальні апаратно-програмні комплекси, створені на базі ГІС і ГІТ.

На основі супутникових і експериментальних даних складається точна карта полів із зазначенням характеристик кожної ділянки, що створює умови для раціонального перерозподілу ресурсів між ними. Крім того, ця технологія відкриває додаткові можливості для зниження навантаження на навколишнє середовище.

Основою технології прецизійного землеробства слугують системи:

- високоточного позиціонування (GPS), які забезпечують точне визначення місця розташування техніки під час обробки землі та місця відбору проб (до 2 см);
- автоматизовані системи управління (системи паралельного водіння), які дозволяють спростити виконання ряду завдань, пов'язаних з управлінням сільськогосподарською технікою, що поділяються на:

1) допоміжні системи рульового управління, які передбачають участь механізатора та дозволяють механізатору вести агрегат за заданим курсом, урахувавши рекомендації системи глобального позиціонування (GPS);

2) автоматизовані системи рульового управління, які не лише автоматизують процес переміщення агрегатів по полю, а також дозволяють переключити увагу механізатора на якість виконання технологічних процесів;

3) інтелектуальні системи наведення, що містять у своєму арсеналі різні шаблони управління і можуть використовуватися з двома вищезазначеними системами.

- геоінформаційні системи, котрі використовуються для створення карт полів, на яких відображається тип ґрунту, вміст у ньому поживних речовин, кислотність, вологість, засміченість бур'янами, ураженість хворобами, шкідниками з можливістю просторового аналізу та прогнозування [5];

- датчики дистанційного зондування, що забезпечують збір даних про стан ґрунту і сільськогосподарських культур безконтактним способом [6]. Обладнання

встановлюють не лише на літальних апаратах, а також на тракторах, обприскувачах та інших агрегатах. За допомогою супутникової зйомки та інших сучасних інформаційних технологій по кожній ділянці визначають реальні потреби культур у добривах, ЗЗР та інших чинниках формування врожаю;

4) електронні системи інтеграції компонентів – технічних пристроїв або цілих агрегатів із центральним офісом;

5) технологія внесення добрив із диференційованою швидкістю, яка використовує здатність техніки до адаптування параметрів роботи відповідно до поточних вимог рельєфу місцевості, щільності стояння рослин тощо.

Як свідчить закордонний і вітчизняний досвід [7], застосування технології прецизійного землеробства дозволяє щонайменше вдвічі збільшити ефективність внесення добрив. Завдяки дискретному внесенню добрив зменшуються непродуктивні витрати ресурсів і підвищується продуктивність ділянок поля з низьким потенціалом ґрунтової родючості.

Крім того, технологія точного землеробства дозволяє в режимі реального часу:

- відстежувати місцезнаходження техніки на карті поля або в будь-якій іншій місцевості (рис. 2);

- відстежувати маршрут, напрям прямуювання техніки, її швидкість, рівень палива та інші показники (рис. 3).

- формувати для механізаторів перелік завдань на день, кілька днів або тижень, які вони отримують на свій смартфон, під'єднаний до системи управління;

- здійснювати моніторинг-маршрут роботи виконавця по карті;

- аналізувати виконану роботу, а також витрати палива, потужність двигуна, швидкість машини протягом різних проміжків часу та загалом;

- налагодити автоматичне сповіщення в разі, якщо техніка виїжджає за межі робочої зони або зазнала пошкодження.

Термін окупності трекерів і систем GPS-моніторингу – до 1 року.



Рис. 2. Відстеження місцезнаходження комбайна на карті поля та на місцевості

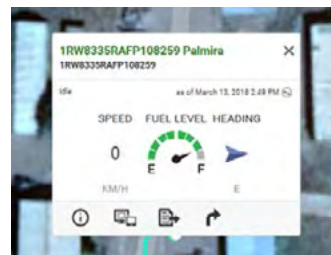


Рис. 3. Відстеження маршруту, напрямку руху, швидкості та рівня палива трактора

Отримана інформація використовується для аналізу та оцінки роботи оператора, механізатора, менеджера у випадках виходу з ладу техніки, а також під час розрахунку витрат добрив та інших ресурсів.

Враховуючи сучасний рівень розвитку прецизійного землеробства, в ході досліджень ідентифіковано найбільш важливі його компоненти (рис. 4). Слід зауважити, що використання технологічних інновацій сільськогосподарськими підприємствами здійснюється залежно від їхніх фінансових можливостей, термінів оренди наявних земельних ділянок та їх площі, реальних перспектив щодо введення повноцінного ринку земель тощо. Загалом, інвестування матеріально-фінансових ресурсів у розвиток прецизійного землеробства значною мірою залежить від цілої низки причин та сукупності існуючих чинників, які впливають на прийняття рішення керівництвом.



Рис. 4. Компоненти технології точного землеробства

Завдяки використанню технічних та програмних засобів реалізується можливість виконання необхідних технологічних операцій цілодобово з мінімальними зонами перекриття й дублюючою обробкою. Це дозволяє заощаджувати робочий час, паливо-мастильні матеріали, насіння, добрива, засоби захисту рослин та інші матеріально-технічні й фінансові ресурси.

Застосування технології точного землеробства передбачає створення комплексної інформаційної системи, де ґрунтовий аналіз є невід'ємним та дуже важливим компонентом (рис. 5).

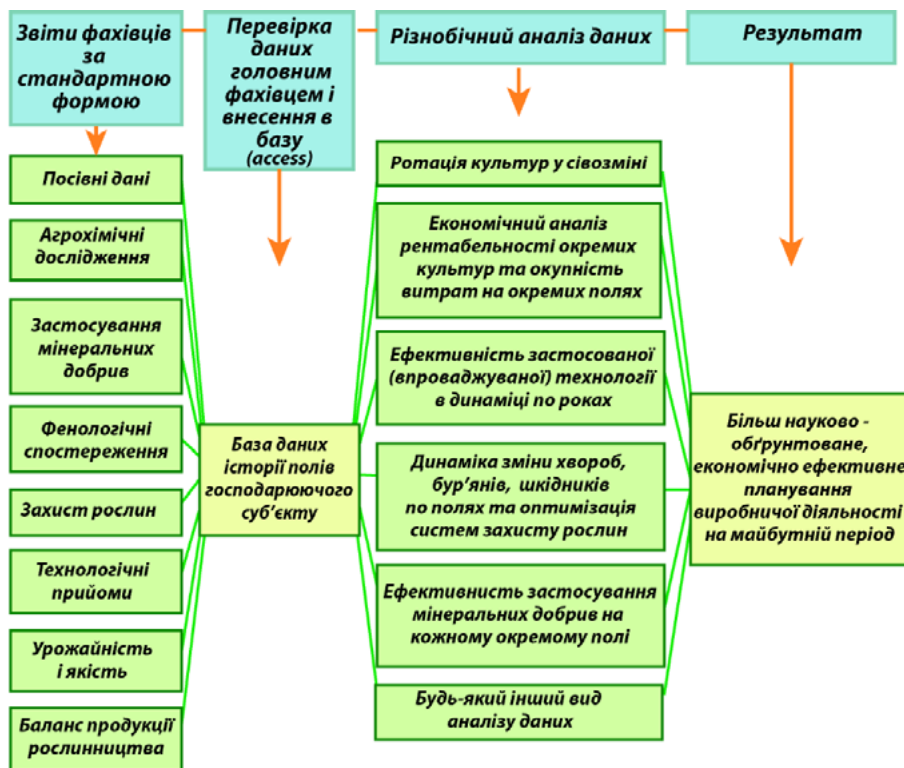


Рис. 5. Функціональна схема інформаційної системи прецизійного землеробства

Традиційне обстеження ґрунтів в Україні здійснюється у відповідності до «Методики агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення» [10], яка передбачає чітку диференціацію за рівнем детальності проведення, залежно від природно-кліматичної зони, виду угіддя та їх меліоративного стану, розміру поля та ступеня деградованості. Загалом, у відповідності до означеної методики розмір елементарної ділянки коливається від 8 до 1 га, що, безумовно, не завжди віддзеркалює реально існуючу просторову диференціацію рівня ґрунтової родючості.

Методика агрохімічного обстеження в технології прецизійного землеробства передбачає прив'язку кожної взятої проби ґрунту до єдиної системи позиціонування за допомогою навігаційної системи. Це дає можливість точно оцінити результати послідовно проведених турів обстеження, здійснити детальний облік рівня родючості ґрунтів у просторі і часі.

Ґрунтово-хімічний аналіз, як відомо, включає три стадії:

- відбір проб ґрунтів;
- ґрунтово-хімічний аналіз;
- рекомендації щодо внесення добрив.

Для диференційованого внесення добрив важливо встановити закономірності просторової неоднорідності ґрунтової родючості. Нині більшість існуючих ГІС мають алгоритм інтерполювання результатів аналізу ґрунту на основі точок і елементарних ділянок (штучно утворених або отриманих у результаті дистанційного

зондування ґрунтової поверхні на основі багатоспектральних знімків). Приклад розроблених картосхем з використанням функції інтерполювання дискретно розташованих величин ґрунтової родючості, отриманих шляхом виконання наземного агрохімічного обстеження полів, представлений на рис. 6.

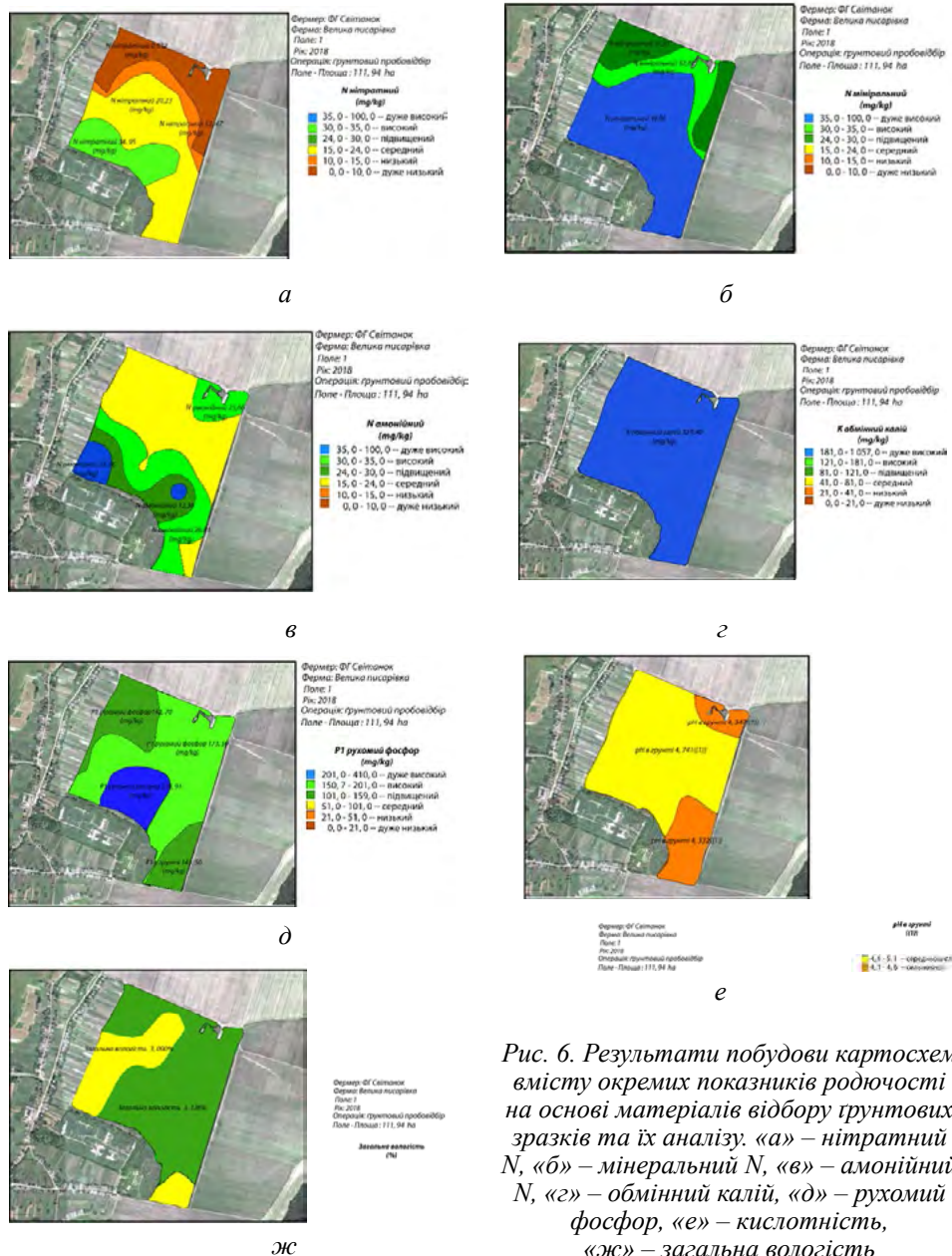


Рис. 6. Результати побудови картосхем вмісту окремих показників родючості на основі матеріалів відбору ґрунтових зразків та їх аналізу. «а» – нітратний N, «б» – мінеральний N, «в» – амонійний N, «г» – обмінний калій, «д» – рухомий фосфор, «е» – кислотність, «ж» – загальна вологість

Як свідчать результати аналізу, в умовах фермерського господарства «Світланок» с. Велика Писарівка Броварського району Київської області навіть у межах однієї ґрунтової відміни існують значні просторові відмінності агрохімічних

показників ґрунту. Розроблені картосхеми дали змогу обґрунтувати просторово-диференційоване застосування добрив.

Складання електронних карт може відбуватися за різними методиками. Існують основні методи збору вихідних даних для створення цих карт:

- обмір полів за допомогою високоточного GPS-приймача в польових умовах (найточніший і коректний метод);
- обробка космічного зображення з високою розрізненістю (менш точний, але найчастіше більш оперативний і дешевший метод);
- обмір полів за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА) (гірше, ніж обмір полів по точності, але краще, ніж супутникова зйомка, оскільки дискретна розрізненість камери дуже висока).

Далі, використовуючи дані деталізованих картосхем та, за можливості, супутникової навігації, технічні агрегати в автоматизованому режимі максимально точно враховують кількість внесених добрив, меліорантів, насіння та інших матеріальних ресурсів на кожній ділянці поля. При цьому практично виключаються огріхи між обробленими ділянками.

Електронна карта полів об'єднує можливості просторової візуалізації об'єктів (поле, точка відбору проби ґрунту, дорога, лісосмуга тощо) і атрибутивної інформації (площу, показники родючості ґрунту, врожайність, дози добрив, назву ґрунту тощо). Вона є зручним і ефективним інструментом системи управління виробничим процесом сільськогосподарського підприємства.

Кожен об'єкт на такій карті має свої географічні координати, зокрема, фіксуються місця відбору проб ґрунту, що слугує запорукою реального і об'єктивного моніторингу родючості ґрунту. На основі цієї інформації з високою точністю фіксуються не лише агрохімічні характеристики полів, а й місце розташування всіх супутніх об'єктів (доріг, населених пунктів, річок, лісосмуг, ліній електропередач тощо) (рис. 7).

Крім того, на цьому етапі відбувається порівняння контурів полів за даними об'їзду і за даними інших джерел. Отримані контури полів можна редагувати, а в подальшому використовувати як основу для створення карт місцевості (рис. 8).



Рис. 7. Визначення маршруту і місць відбору проб на полі

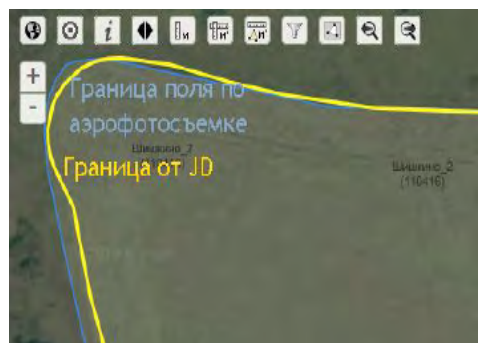


Рис. 8. Порівняння контурів полів за даними об'їзду комбайном та за даними космічного знімка

Зібрані протягом певного періоду часу дані дозволяють виконати аналіз та одержати статистичні дані у вигляді карт полів. Ці карти можуть відображати такі показники:

Рівень вологості врожаю на різних ділянках поля, що дає змогу відділяти вологе зерно, яке потребує досушування, від сухого. Кількість вологого врожаю, що вимірюється за допомогою встановлених ваг на дні бункеру, куди потрапляє зібраний врожай, та швидкості збору і втрат зерна ячменю (рис. 9, 10).



Рис. 9. Аналіз кількості зібраного вологого ячменю



Рис. 10. Аналіз швидкості збору та втрат зерна ячменю

2. Швидкість збору врожаю, яка дає можливість проаналізувати та встановити оптимальну швидкість, що запобігає втратам врожаю, та проаналізувати вплив швидкості на якість врожаю.

Застосовуючи навігаційні карти, ГІТ та дані з комп'ютеру комбайну під час збирання ячменя (barley), були отримані показники: площа поля (area worked) – 8.01 га; вага врожаю з урахуванням вологості (wet weight) – 175.92 т; вага сухого врожаю (dry weight) – 175.92 т; середня вага вологого врожаю на гектар (avg. wet weight) – 21.96 т/га; середня вага сухого врожаю на гектар (avg. dry weight) – 21.96 т/га; середня вологість (avg. msr) – 11.39%; середня швидкість машини (avg. speed) – 2.96 км/год.

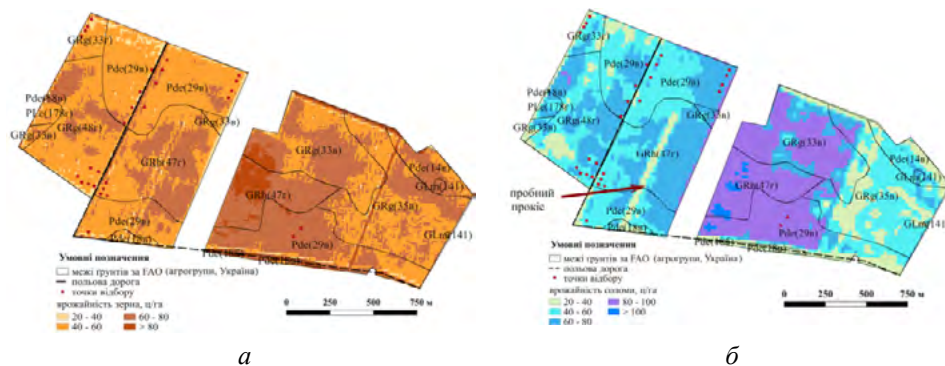


Рис. 11. Картосхеми врожайності пшениці озимої (а) та маси соломи (б) (ц/га) на основі знімку Sentinel-2A до збору врожаю. Детальність картосхем: врожайності пшениці 10 x 10 м, маси соломи 20 x 20 м.

Достатньо інформативним є використання спектрозональних знімків з метою отримання необхідних даних про рівень урожайності сільськогосподарських культур та кількості рослинних решток для обрахунку балансу органічної речовини в ґрунтах [8, 9] (рис. 11).

Дослідження проведене на території Осівської сільської ради, Брусилівського району, Житомирської області на площі у 2017 році на площі 223,34 га. Результати обрахунків свідчать про достатній рівень точності побудови картосхем із використанням регресійних моделей, отриманих на основі проведення наземних визначень із подальшою верифікацією отриманих даних.

Висновки і пропозиції. Як свідчить досвід країн із розвинутим землеробством, застосування технології прецизійного землеробства дозволило істотно підняти врожайність культур та значно зекономити ресурси. Нині, коли Україна за рівнем використання агрохімікатів суттєво відстає від розвинутих країн, упровадження прецизійного землеробства являє собою важливий резерв щодо можливостей з його інтенсифікації та не вимагає суттєвих додаткових витрат. Багатовекторний ефект досягається переважно за рахунок перерозподілу і більш адресного внесення матеріальних ресурсів.

Точна навігація до мінімуму скорочує пропуски і перекриття за суміжних проходах агрегатів, що, в кінцевому підсумку, призводить до економії посівного матеріалу, добрив, хімікатів і ПММ.

Впровадження технологій прецизійного землеробства дозволяє економити на кожному з етапів виробництва. Так, економія добрив і ЗЗР становить від 30% до 50%. Ефективність впровадження паралельного водіння додатково заощаджує від 5% до 10% паливно-мастильних матеріалів. Економічний ефект лише від застосування GPS-обладнання сягає 50–60 євро на гектар.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Валова продукція усіх категорій господарства України : статистичний збірник. URL: www.ukrstat.gov.ua
2. Розвиток секторів і товарних ринків України: НАН України / за ред. проф., д.е.н. В.О. Точиліна. Київ : Ін-т екон. прогнозів. НАНУ, 2001. 400 с.
3. Як впроваджувати інноваційні технології, щоб вони підвищили ефективність сільського господарства. URL: <https://aggeek.net/ru-blog/chto-takoe-strip-till-plusy-i-minusy-schadyaschej-obrabotki-pochvy>
4. Precision Agriculture Solution. URL: <https://spaceeyelao.com/solutions/precision-agriculture-solution/>
5. Геоінформаційні системи в науках про Землю / В.І. Зацерковний та ін. Ніжин : НДУ ім. М. Гоголя, 2016. 510 с.
6. Зацерковний В.І. Дистанційне зондування Землі. Фізичні основи : навчальний посібник. Ніжин : НДУ ім. М. Гоголя, 2018. 380 с.
7. Циганенко М., Макаренко М. Система точного землеробства економить ваші гроші. *Пропозиція*. 2017. № 2. С. 56–60.
8. Remote diagnostics of grain straw yield based on soil areal scenarios / P.I. Trofymenko et al. *16th International Conference Geoinformatics - Theoretical and Applied Aspects, Geoinformatics 2018, 14-17 May 2018, Kiev, Ukraine*.
9. Использование данных дистанционного зондирования для оценки продуктивности озимой пшеницы в условиях Житомирского Полесья / П.И. Трофименко и др. *Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*. Горки, 2018. № 2. С. 161–168.
10. Методика агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення / за ред. С.М. Рижук, М.В. Лісового, Д.М. Бенцаровського. Київ, 2003. 64 с.