

УДК 346.62-035.58

## РОЗРАХУНОК ДОБРИВ ЗА ІНДЕКСОМ NDVI

**С. Любченко,  
І. Гусар,  
А. Войновська**  
*УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого*

*У статті наведено результати досліджень оптичного методу діагностики запасів азоту в рослинах та запропоновано метод розрахунку дози азотних добрив для підживлення за індексом NDVI.*

**Ключові слова:** *діагностика, індекс NDVI, валовий вміст азоту.*

**Суть проблеми.** Розвиток сучасного аграрного виробництва, забезпечення споживачів якісною, безпечною та конкурентоспроможною продукцією рослинництва вимагають від виробників широкого застосування технологій керованого землеробства – системи управління сільськогосподарським виробництвом на основі передових технологій і методів отримання, обробки та використання інформації, і передбачають виконання технологічних операцій у відповідності з особливостями (агрохімічними, агрофізичними та іншими) конкретної ділянки.

**Аналіз останніх досліджень.** Одним з потужних методів отримання інформації про стан рослин є методи оптичного зондування, які базуються на високій чутливості хлорофілу рослин до дії різного роду чинників, зокрема забезпеченості азотним живленням. В свою чергу вміст хлорофілу в рослинах впливає на спектральні характеристики посівів, що дає можливість встановлювати кількісні зв'язки між біофізичними параметрами стану рослинності, що обумовлені особливостями технологій вирощування і змінами спектрального відгуку рослинного покриву. [1]

Оптичні методи оцінювання стану рослинності базуються на властивості рослинного пігменту – хлорофілу поглинати світлові хвилі у червоному (RED) видимому діапазоні частот та відбивати світло в ближньому, інфрачервоному (NIR) діапазоні частот. [2] Відношення значень яскравості в цих двох спектральних діапазонах частот дозволяє чітко оцінювати стан природних об'єктів, в тому числі і забезпеченість рослин азотом. Найбільш використовуваним показником, за яким оцінюється стан рослин, є нормалізований різницевий вегетативний індекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), який обчислюється за формулою 1:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

де NIR – інтенсивність світла в ближній інфрачервоній області спектру; RED – інтенсивність світла в червоній області спектру. Індекс NDVI є вихідним результатом комп'ютерної обробки оптичних даних, характеризує загальний стан розвитку рослинності та дозволяє з високою точністю визначати забезпеченість рослин азотом.

**Постановлення завдання.** Вирішення проблеми отримання якісної продукції полягає в створенні оптимальних умов живлення і відповідно формуванню врожаю рослин за умови високої ефективності використання добрив. При такому підході особливе місце належить діагностиці забезпечення рослин елементами живлення, а проблема визначення необхідних доз добрив є однією з найбільш важких.

Існуючі методи визначення необхідних доз добрив вимагають значних затрат праці, а суттєвим недоліком цих методів є істотні затрати часу на проведення відборів зразків та проведення аналізів, і тому отримана інформація часто втрачає свою актуальність.

Більші потенційні можливості з цієї точки зору має рослинна діагностика на основі спектрометрії у видимому діапазоні світла. Ці методи дають змогу забезпечувати швидку та низьковитратну оцінку азотного живлення рослин, яка значною мірою впливає на рівень та якість урожаю. Принцип дії таких систем вже згадувався і полягає в вимірюванні відбитого від рослин світла та по зміні його інтенсивності визначення забезпеченості рослин азотом і розрахунок дози внесення азотних добрив.

Один з ряду технічних засобів оптичної діагностики забезпеченості рослин азотом є Green Seeker HCS-100 виробництва фірми «Trimble» - вимірювальний пристрій для визначення індексу NDVI, який в свою чергу слугує індикатором при оцінюванні біомаси рослин, прийняті обгрунтованих рішень щодо забезпеченості рослин азотом і розрахунку оптимальної кількості азотних добрив. В корпусі, виготовленому з полімерного матеріалу, розміщені рідкокристалічний дисплей, блок світлодіодів, фотоелемент, джерело живлення, кнопка вмикання та руків'я.

Робота з приладом: при натисканні на кнопку вмикання прилад освітлює імпульсами червоного та інфрачервоного світла поверхню рослин і за допомогою фотоприймача вимірює кількість відбитого світла кожного діапазону. Виміряне значення інтенсивності відбитого світла обробляються і відображається на екрані ПК - дисплея у вигляді індексу NDVI, який може змінюватись в межах від 0,00 до 0,99. Відстань від приладу до поверхні рослин повинна становити 70-75 см, промені підсвічування спрямовуватись перпендикулярно поверхні посіву. Датчик продовжує проводити вимірювання і залишається увімкнений тих пір, поки натиснута кнопка

вмикання. Визначений індекс NDVI використовується для оцінювання азотного статусу рослин.

### Результати визначення індексу NDVI.

Програма досліджень передбачала визначення показників індексу NDVI в посівах озимої пшениці сортів Богдана, Чорнява, Фаворитка та кукурудзи гібриду Ріст СВ з наступним відбором рослинних зразків і визначенням в них валового вмісту азоту за методами ДСТУ 7169 [3]. За отриманими даними будувались графіки та розраховувались залежності.

Для визначення індексу та відбору рослинних зразків візуально відбирались по три ділянки посівів кожного сорту, які істотно відрізнялись за забарвленням. Відстань від приладу до поверхні землі становила 70-75 см, промені підсвічування спрямовувались перпендикулярно поверхні посіву.

Визначення показників проводилось в двох етапах розвитку рослин: 16.05 – фаза початку виходу в трубку рослин озимої пшениці та 11.06 – фаза початку наливу. Посіви знаходились в задовільному стані, захворювань чи пошкоджень шкідниками рослин не виявлено. Густота рослин становила 520-560 продуктивних стебел на 1 м<sup>2</sup>.

В процесі визначення індексу в посівах озимої пшениці встановлено, що значення, отримані за допомогою приладу, змінювались відповідно до зміни відтінку кольору рослин. Результати визначення індексу та запаси азоту в рослинах наведені в таблиці 1

Таблиця 1 – Результати визначення індексу NDVI та вмісту валового азоту в рослинах

Сорт	Ділянка	Фаза розвитку рослин			
		Вихід в трубку		Налив	
		NDVI	Азот, %	NDVI	Азот, %
Чорнява	1	0,72	4,68	0,77	6,03
	2	0,78	4,95	0,74	4,74
	3	0,83	5,22	0,73	4,43
Богдана	1	0,79	5,56	0,65	4,32
	2	0,60	5,22	0,71	5,01
	3	0,69	5,31	0,68	4,81
Фаворитка	1	0,49	4,25	0,64	4,65
	2	0,80	5,50	0,67	4,75
	3	0,70	4,84	0,60	4,50
Кукурудза	1			0,79	4,72
	2			0,61	4,02
	3			0,76	4,68

Темпи зміни значення індексу в межах сорту відрізнялись. Зокрема, розмах коливань індексу NDVI сорту Богдана становив 0,10 в той час як сорту Фаворитка – 0,31. Динаміка зміни запасів валового азоту відповідала розмаху коливань індексу. При меншому розмаху коливань індексу NDVI

значення вмісту валового азоту сорту Богдана змінювались в межах 5,22 – 5,56% (0,34%), в той час же при значному коливанні значень індексу вміст валового азоту Фаворитка змінювався від 4,25 до 5,50% (1,25%). Таким чином, показники, отримані за допомогою приладу, відображали зміни вмісту азоту в рослинах.

Лінії тренду залежностей зміни індексу NDVI та вмісту азоту в рослинах різних сортів у фазу початку виходу в трубку мали лінійний характер (в межах отриманих значень), були близькими за напрямком, проте відрізнялись за відстанню від осі X (Рис. 1), і при однаковому вмістові валового азоту в рослинах для різних сортів отримано відмінні індекси NDVI.

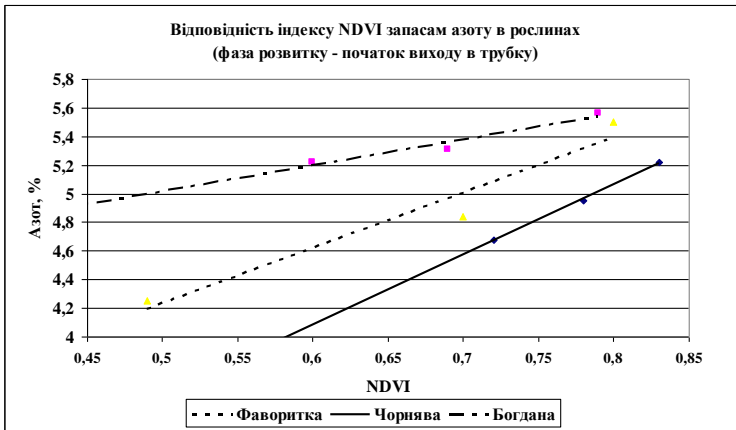


Рисунок 1 – Динаміка зміни індексу NDVI відповідно до зміни запасу азоту в рослинах у фазі розвитку – початок виходу в трубку

Розвиток рослин вніс зміни у співвідношення індексу NDVI та вмісту азоту в рослинах: на початку наливу динаміка зміни індексу носила лінійний характер, проте для кожного сорту мала різну інтенсивність (рис. 2).

Найбільш інтенсивно змінювався індекс NDVI від зміни вмісту азоту в рослинах сорту Фаворитка – на 0,1 індексу NDVI припадає 0,4% валового азоту. Для сорту Чорнява індекс NDVI змінювався в значно менших межах, і на 0,1 індексу припадає майже 4% валового азоту.

Таким чином, для отримання достовірних результатів оптичної діагностики інших сортів необхідно проводити калібрування для кожного іншого сорту.

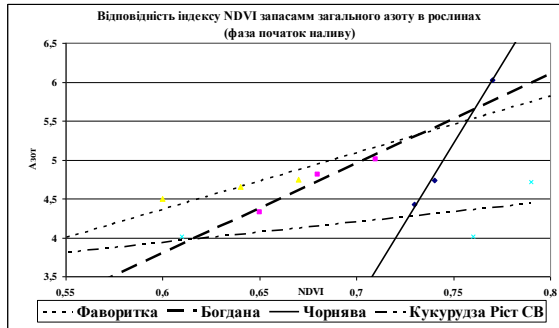


Рисунок 2 – Динаміка зміни індексу NDVI відповідно до зміни запасу азоту в рослинах у фазі розвитку – початок наливу

Адаптацію системи оптичного зондування рослин до сортового складу сільськогосподарських культур та методики розрахунку доз добрив для підживлень проведено в УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого.

Проведені дослідження довели тісний зв'язок між отриманими значеннями індексу NDVI та вмістом загального азоту в рослинах озимої пшениці і можливість застосування приладу для проведенні діагностики вмісту загального азоту в рослинах при коригування доз добрив.

Беручи до уваги сортові особливості вмісту хлорофілу в рослинах, для роботи в умовах господарства розроблено калібрувальні залежності значення індексу NDVI та вмісту валового азоту в рослинах озимої пшениці сортів Чорнява, Богдана та Фаворитка.

Дози основного допосівного добрива розраховують за результатами агрохімічних аналізів ґрунту.

Розрахунки доз добрив для підживлення проводять наступним чином.

Визначають вміст валового азоту в рослинах і зіставляють отримані величини з оптимальним вмістом елементів у тих же фазах розвитку рослин, а отриманий поправочний коефіцієнт використовують при коригуванні дози добрив для підживлення. Оптимальні показники беруть з таблиці 37 [4]. Щоб ввести поправочний коефіцієнт ( $ПК_N$ ) у дозу, розраховану за аналізами ґрунту, і забезпечити оптимальне азотне живлення рослин, застосовують такий порядок розрахунку:

- визначають поправочний коефіцієнт  $ПК_N$  за формулою (2)

$$ПК_N = \frac{N_{opt}}{N_{факт}} \quad (2)$$

де:  $N_{opt}$  – значення оптимального вмісту азоту в рослині;

$N_{факт}$  – фактичне значення вмісту азоту в рослині;

- розраховують дози азотних добрив для підживлення за формулою (3)

$$D_o = D_n ПК_N \quad (3)$$

де:  $D_0$  – оптимальна доза, уточнена за результатами рослинної діагностики;

$D_n$  – загальноприйнята доза, розрахована за аналізами ґрунту чи іншим способом без урахування даних рослинної діагностики.

У наведених формулах розрахунку  $PK_N$  у всіх випадках оптимальні значення ( $N_{opt}$ ) повинні бути в чисельнику, а фактичні ( $N_{факт}$ ) – у знаменнику. Тільки за таким розрахунком при дефіциті елемента  $PK_N$  буде більший одиниці і доза дефіцитного елемента збільшена. При надлишку елемента  $PK$  буде нижчий одиниці і відповідно доза цього елемента зменшена.

**Висновки.** Застосування оптичних методів отримання інформації про стан рослин не лише дає змогу в режимі реального часу керувати дозами добрив в залежності від стану рослин та їх потреби в елементах живлення, а й знижувати загальні витрати азотних добрив, підвищувати якість продукції та вирішувати екологічні питання.

В результаті досліджень встановлено, що показники, отримані за допомогою приладу для оптичної діагностики забезпеченості рослин азотом, HCS-100 відповідають значенням запасів азоту в рослинах.

Зміни індексу NDVI відповідно до запасів валового азоту в рослинах в межах вимірних значень носили лінійний характер. Кожен досліджений сорт мав свою, характерну лише для нього, залежність зміни індексу NDVI відповідно до змін запасів валового азоту.

На основі виявлених залежностей для сортів Богдана, Фаворитка, Чорнява та кукурудзи гібриду Ріст СВ розроблені алгоритми визначення вмісту загального азоту в рослинах за показниками індексу NDVI.

### Література

1. Рубин А. Б. Биофизические методы в экологическом мониторинге. – Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова <http://nature.web.ru/db/msg.html?mid=1159128&s=>
2. Козодеров В.В., Кондранин Т.В. Методы оценки почвенно-растительного покрова по данным оптических систем дистанционного аэрокосмического зондирования: учебное пособие. — М.: МФТИ, 2008. — 222 с.
3. ДСТУ 7169:2010 Корми, комбікорми, комбікормова сировина. Методи визначення вмісту азоту і сирого протеїну.
4. Церлінг В.В. Діагностика живлення сільськогосподарських культур: Довідник. – М.: Агропромиздат, 1990. – 235 с.

### Анотація

*В статтє приведены результаты исследований оптического метода диагностики запасов азота в растениях и предложен метод расчета дозы азотных удобрений для подкормки по индексу NDVI.*

### Summary

*The article presents the results of research of optical method for diagnostics of nitrogen reserves in plants and the method of calculating the dose of nitrogen fertilizer for top dressing according to the NDVI index.*