

УДК 631:659.78:528(075)

DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.109-1.19>

ВИЗНАЧЕННЯ НОРМ АЗОТУ НА ОСНОВІ АЕРОФОТОЗЙОМКИ

Солоха М.О. – к.геогр.н., завідувач

лабораторії інструментальних методів досліджень ґрунтів,

Національний науковий центр

«Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»

Визначення азоту методом листової діагностики є вже поширеним і доволі традиційним методом, що використовується на теренах України. Але цей метод має певні недоліки: не має калібровок для широкого кола сортів, окрім зернових, на кожен сорт потрібно робити окрему калібровку для приладу, дуже великий об'єм польових робіт у полі. Дуже велика ймовірність зробити помилку в польовій частині цієї роботи. Декілька років тому була розпочата реалізація ідеї використання аерофотозйомки з безпілотною замість відповідної листової діагностики – приладу SPAD500plus для розробки методичного підходу визначення норм внесення азоту для різних рослин (зернової та технічної групи) й одночасна перевірка залежностей між приладом листової діагностики й аерофотозйомкою з безпілотною.

Для успішного вирішення цього завдання щороку, починаючи з 2016 р., було закладено відповідні дослідження для розробки універсального методичного підходу визначення норм азоту для рослин. Зазвичай кожен дослід мав контроль і модельні дослідження з різним азотним фоном по культурі та сорту, який досліджувався.

Проведенню аерофотозйомки передувало довгий період визначення термінів саме аерофотознімання. Як з'ясувалося пізніше, це мало вирішальне значення для визначення норм азоту для рослин.

Саме аерофотознімання проводилося таким чином. Робочі висоти аерофотозйомки коливалися від 100 до 300 м. Отримані аерофотознімки оброблювалися за допомогою декількох типів програмного забезпечення: AgisoftPhotoscan, AdobePhotoshop, ErdasImage. За допомогою програмного забезпечення AgisoftPhotoscan проводилися операції щодо видалення некоректних аерофотознімків, видалення дисторсії, крайового ефекту та побудова ортофотопланів. ErdasImage використовувався для посилення контрасту знімка й отримання цифрових чисел (DN) для подальшого аналізу та суміщення даних. У AdobePhotoshop проводилася перевірка DN та графічна підготовка ортофотопланів до публікації.

Ключові слова: аерофотозйомка, норми азоту на основі аерофотозйомки, безпілотною, зернові культури, дослідження.

Solokha M.O. Determination of nitrogen rates on the basis of airphotography

Nitrogen determination by leaf diagnostics is already wide spread and quite traditional method used in the territory of Ukraine. But this method has some draw backs: it does not have calibrations for a wide range of varieties other than cereals, for each variety it is necessary to make a separate calibration for the instrument, a very large amount of fieldwork in the field. It is very likely to make a mistake in the field of this work. A few years ago, the idea of using aerial photography from a drone instead of the appropriate leaf diagnostics – the SPAD500 plus device was started to develop a methodological approach for determining the rates of nitrogen application for different plants (grain and technical group) and simultaneous checking of the dependencies between the leaf aerial diagnostics device and aerofoto.

In order to successfully accomplish this task, appropriate experiments have been put in place every year since 2016 to develop a universal methodological approach for determining nitrogen for plants. Typically, each experiment had controls and model experiments with different nitrogen back grounds for the culture and variety being studied.

Aerialphotography was preceded by a long period of definition of the terms aerialphotography. As it turned out later, this was crucial in determining nitrogen levels for plants.

The aerialphotography was carried out as follows. Operating aerialphotography heights ranged from 100 m to 300 m. The obtained aerialphotographs were processed using several types of software: Agisoft Photoscan, Adobe Photoshop, ErdasImage. AgisoftPhotoscansoftware performed operations to remove incorrect aerial photographs, remove distortions, edge effect, and construct orthophotos. ErdasImage was used to enhance the contrast of the image and to

obtain digital numbers (DNs) for later analysis and data matching. AdobePhotoshop performed DN validation and graphic preparation of orthophotoplans for publications.

Key words: *aerial photography, nitrogen norms based on aerial photography, drones, cereals, experiments.*

Постановка проблеми. Станом на поточний рік використання аерофотозйомки для вирішення завдань сільського господарства, таких як оцінка стану рослин, ґрунтується на втіленні вегетаційних індексів NDVI та подібних. Розробка рекомендацій для внесення диференційованих норм добрив або зовсім не використовується, або використовується тільки для пошуку проблемних зон на полі. Вважаємо, що застосування таких індексів вже не доцільне. Вже є результати практичних досліджень, які доводять, що спектральні характеристики рослинності, насамперед сільськогосподарської, змінюються (наприклад, у ярої пшениці різко збільшуються) після випадіння опадів, але потім повертаються до попереднього рівня за декілька діб. Вегетаційний індекс не в змозі правильно інтерпретувати ці зміни (бо немає необхідної частоти зйомки).

Досвідчені користувачі, які активно впроваджують NDVI в оцінки сільськогосподарських культур, вже використовують його як проміжний шар для оцінки під час більш складного типу аналізу та для вирішення широкого кола наукових задач.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Спектральні характеристики сільськогосподарської рослинності вже традиційно розраховують на основі різних вегетаційних індексів. Наприклад, вегетаційний індекс NDVI – це емпіричне (розрахункове) значення, яке не має власної виміральної одиниці та розраховується як відношення різниць між інфрачервоними та червоним каналами зйомки. Під час такої оцінки зменшується вплив оптичної товщини атмосфери (водяного пилу, суспензій тощо) та інших метеорологічних і природних (у цьому разі негативних) чинників. Найбільш розповсюджений у використанні індекс NDVI (справедливо і для інших індексів), призначений для вимірювання індексу біомаси, використовується і для визначення еколого-кліматичних характеристик рослинності, але водночас може показувати значну кореляцію з деякими параметрами в інших сферах, а саме: продуктивністю (за часових змін), біомасою, вологістю, випаровуванням, об'ємом опадів, що випали, потужністю снігового покриву [1]. Більш того, залежність між цими чинниками не пряма та пов'язана як із кліматичними, так і з екологічними особливостями на дослідній території. За розрахунку NDVI спостерігається також часовий «зсув» відповідної реакції та різкої зміни стану рослинності [2–6].

Постановка завдання. Метою цієї роботи було розроблення методичного підходу з використання аерофотозйомки для повноцінної заміни методики листової діагностики. Для успішного вирішення цього завдання щороку, починаючи з 2016 р., було закладено відповідні досліді для розробки універсального методичного підходу визначення норм азоту для рослин. Зазвичай кожен дослід мав контроль і модельні досліді з різним азотним фоном по культурі та сорту, який досліджувався.

Методика дослідження виглядала таким чином. Дослідження проводилися за допомогою дистанційно керованого літаючого апарата (далі – ДКЛА) зі встановленою камерою (модель Pentax W60) з такими налаштуваннями: 1/2,3" CCD-матриця, затвор при зйомці 1/5-1/320. ISO 50-1600 в режимі Digital SR (5 Мп), в режимі серійної зйомки.

Алгоритм досліджень за допомогою ДКЛА складався з польового та камерального етапів.

Польовий етап досліджень включав у себе підготовку ДКЛА до зльоту, безпосередньо зйомку під час польоту та первинну обробку аерофотознімків.

Політ ДКЛА проводився з покриттям об'єкта дослідження аерофотознімками шляхом обльоту всієї території дослідження. Висота польоту ДКЛА над тестовими майданчиками (об'єктами) була в діапазоні від 80 до 100 м, зйомка проводилася за різних умов освітлення і хмарності. За один тур зйомки ДКЛА робив 120–200 знімків одного поля.

Виклад основного матеріалу дослідження. У 2016 р. на ячмені ярого було закладено демонстраційний дослід для визначення ефективності різних форм і видів мінеральних добрив, у т. ч. із застосуванням зростаючих норм азоту на фоні осіннього внесення 200 кг/га суперфосфату марки $N_{10}P_{32}$ (рис. 1).



Рис. 1. Результат зйомки 23 травня 2016 р. посівів ячменю ярого на демонстраційному полігоні

Проведено візуалізацію моделі RGB ячменю ярого, яка показана на рис. 2.

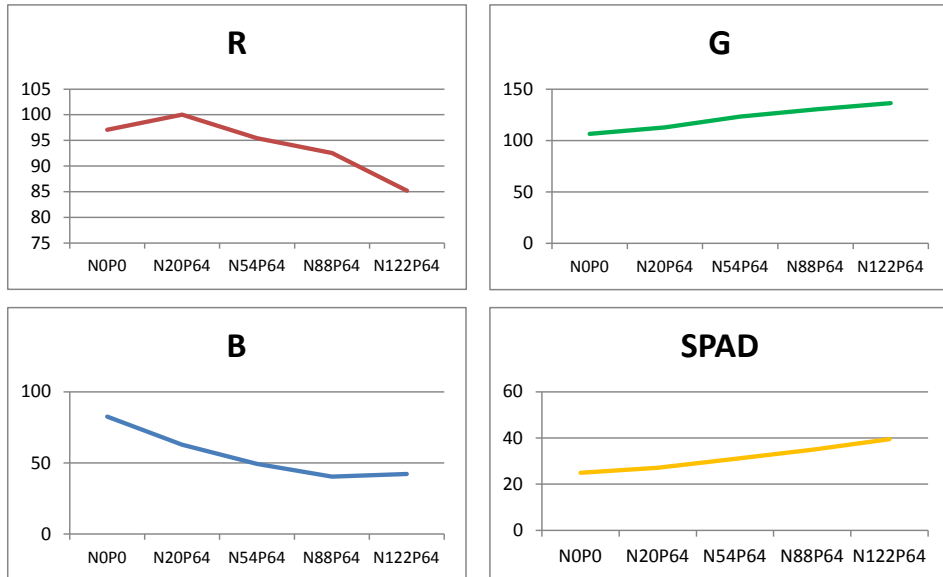


Рис. 2. Залежність між різними нормами азотного удобрення ячменю ярого та каналами моделі RGB і показниками хлорофіл-метра (робота виконана спільно з О.В. Доценко)

Отримані дані (рис. 2) свідчать про високу кореляційну залежність між зеленим каналом (G) і даними хлорофіл-метру «SPAD-502 Plus» ($r=0,995$). За іншими каналами також спостерігаються високі кореляційні залежності, але обернені: червоний канал R ($-0,850$) і синій канал B ($-0,946$). Загалом по ячменю всі канали моделі RGB можуть бути застосовані при встановленні необхідності внесення азотних добрив.

Досліди з кукурудзою були закладені в 2016 р. та 2017 р. на різних ділянках ДП ДГ «Граківське». У 2016 р. проведено 3 тури зйомок: 02 червня 2016 р. (початок вегетації кукурудзи), 11 липня 2016 р. (фаза 10–12 листків), 06 вересня 2016 р. (наприкінці вегетації).

Результати першого туру зйомки наведено на рис. 3.



Рис. 3. Аерофотознімок туру зйомки дослід з кукурудзою 02 червня 2016 р.

Ділянка, яка окреслена прямокутником, не мала ніякої розбивки на маркери. Дослід було тільки закладено, а зйомку проводили відразу після дощу для перевірки стану мікрорельєфу на цій ділянці. На аерофотознімку чітко відображається, що вода накопичується в мікрозападинах та окреслює їх. Як видно з рисунку, ніяких істотних мікрозападин або підвищень не спостерігається.

Наступний тур зйомки було проведено 11 липня 2016 р. в період активної вегетації культури (рис. 4).



Рис. 4. Тур зйомки кукурудзи 11 липня 2016 р (ортофотоплан)

Примітка: у прямокутнику – дослід кукурудзи.

Графічно поведінку каналів моделі RGB представлено на рис. 5.

Згідно з даними найбільш придатним за цих умов виявився канал R (обернений коефіцієнт кореляції становив $(-0,99)$). Кореляція між даними зеленого каналу

та даними «SPAD-502 Plus» мала обернений кореляційний зв'язок і становила (-0,96), подібне значення кореляції спостерігалось між синім каналом і даними «SPAD-502 Plus»: 0,97.

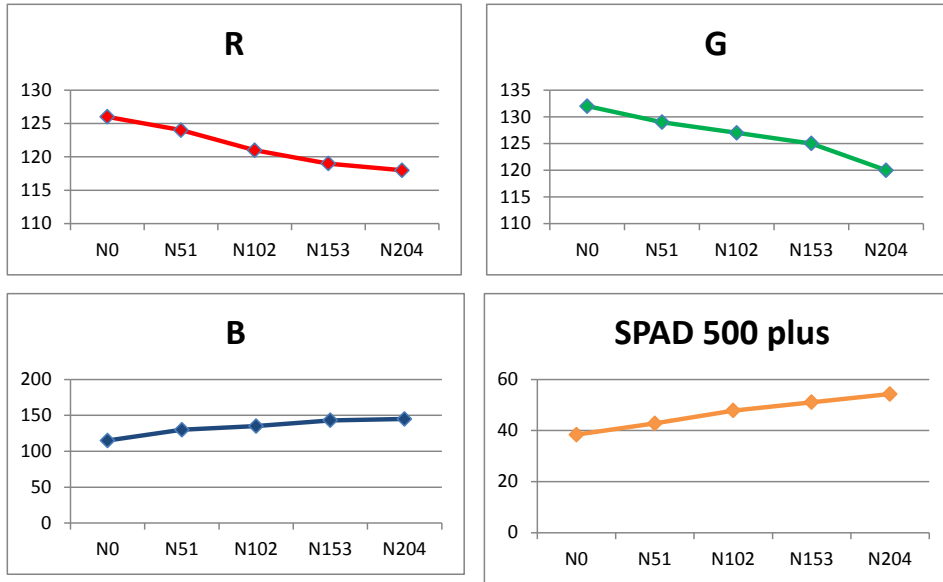


Рис. 5. Залежність між різними нормами азотного удобрення кукурудзи та цифровими каналами моделі RGB і показниками хлорофіл-метру, 11 липня 2016 р. (робота виконана спільно з О.В. Доценко)

Наступний тур зйомки було проведено 06 вересня 2016 р. (рис. 6) наприкінці вегетації кукурудзи, коли культура перебувала на стадії дозрівання, головним чином для проведення оцінки наслідків буревію, що стався напередодні. Зйомка на пізньому етапі органогенезу позначилася на даних каналів моделі RGB (рис. 7), а саме практично відсутністю диференціації зеленого каналу незалежно від внесення азотних добрив.



Рис. 6. Тур зйомки кукурудзи 06 вересня 2016 р.

Через вплив буревію у 2016 р. не вдалося одержати достовірні врожайні дані. Відповідно неможливо було встановити кореляційний зв'язок між врожайністю

кукурудзи та показниками яскравості каналів моделі RGB у середині вегетації. Цей факт послугував відправною точкою для закладки наступного досліді 2017 р.

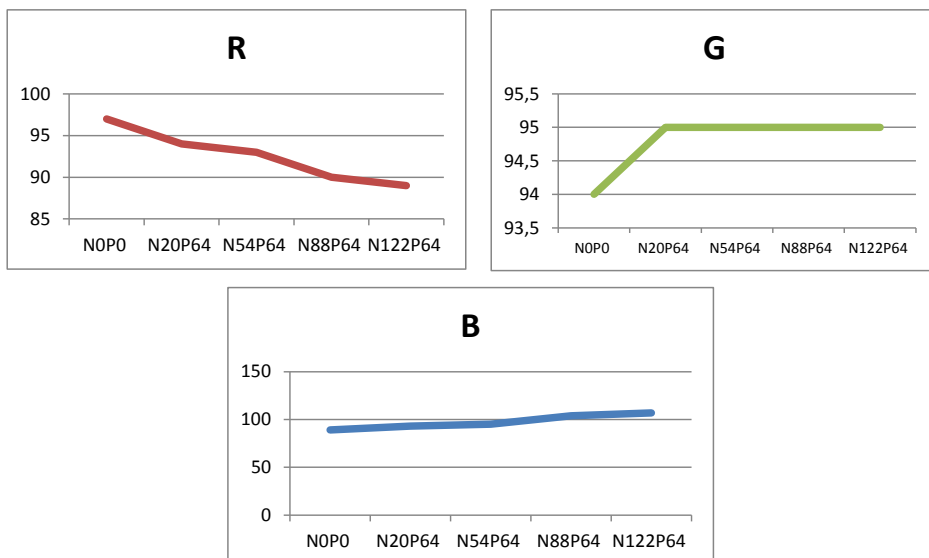


Рис. 7. Залежність між різними рівнями азотного удобрення та каналами моделі RGB кукурудзи, 06 вересня 2016 р.

За результатами турів зйомок і неповними даними було зроблено припущення, що найбільш прийнятним для аналізу на цьому етапі онтогенезу кукурудзи є канал R моделі RGB, який має доволі високу строкатість даних між варіантами досліді, але здійснити перевірку цього було заплановано на наступний рік. Для систематизації даних у 2017 р. було проведено дистанційне та наземне обстеження посівів кукурудзи на демонстраційному досліді з визначенням ефективності різних форм і видів добрив, у т. ч. із застосуванням зростаючих норм азоту на фоні передпосівного внесення 200 кг/га суперфосфату марки $N_{10}P_{32}$. Дослід розташовувався на двох паралельних ярусах, варіанти зі зростаючими нормами азоту ($N_{20}P_{64}$, $N_{54}P_{64}$, $N_{88}P_{64}$, $N_{122}P_{64}$, $N_{156}P_{64}$, $N_{190}P_{64}$) знаходилися у верхньому відносно господарської будівлі ярусі з першої по шосту ділянку зліва направо (рис. 8).



Рис. 8. Тур зйомки демонстраційного досліді з кукурудзою 05 липня 2017 р.

Дані щодо спектральних характеристик каналів моделі RGB у 2017 р. було отримано за несприятливих метеорологічних умов (посуха), що відобразилося на незначній диференціації даних, а точніше призвело до мінімізації різниці між ними.

Згідно з даними найбільш придатним за цих умов виявився канал R (обернений коефіцієнт кореляції становив (-0,839)) і загалом повторював дані «SPAD-502 Plus». Кореляція між даними синього каналу та врожайними даними становила тільки 0,710, що практично унеможливило експрес-аналіз по цьому каналу в посушливий період.

Висновки і пропозиції. Модель RGB достовірно відтворює залежність значень цифрових чисел (DN) від вмісту азоту (азотних добрив), які внесені на різних модельних ділянках одного й того самого модельного дослідження навіть у різні роки.

Для розрахунку рекомендацій по внесенню доз азотних добрив по зерновим потрібно використовувати канал R та B, а потім G тільки для перевірки. Кукурудза має найбільш тісний зв'язок із каналом B. Канал R має менш тісний зв'язок, тому для розрахунку норм азотних добрив слід використовувати тільки два канали моделі RGB: R та B. Загалом найбільш інформативні канали моделі для прогнозу врожайності та розрахунку добрив за результатами досліджень 2012–2018 рр. визначено канали R і B.

За результатами прямих вимірювань значень цифрових чисел (DN) можна прогнозувати врожайність культури, кількість внесених добрив і стан цієї культури на полі шляхом порівняння отриманих даних із графіком цієї культури, побудованим у відповідний період вегетації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Казаков С.Г. Использование данных гиперспектрметра MODIS при изучении географии сельского хозяйства Курской области. *Учёные записки. Электронный научный журнал Курского гос. ун-та*. 2011. № 17. С. 266–270.
2. Пугачева И.Ю., Шевырнов А.П. Изучение динамики NDVI посевов сельскохозяйственных культур на территории Красноярского края и республики Хакасия. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2008. Т. 5. № 2. С. 347–351.
3. Спивак Л.Ф., Терехов А.Г., Витковская И.С., Батырбаева М.Ж. Использование многолетних спутниковых данных различного разрешения для комплексной оценки состояния растительного покрова территории Казахстана. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2009. Вып. 6. Т. 2. С. 450–458.
4. Терехин Э.А. Информативность спектральных вегетационных индексов для дешифрирования сельскохозяйственной растительности. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2012. Т. 9. № 4. С. 243–248.
5. Тулохонов А.К., Цыдыпов Б.З., Волошин А.Л., Батуева Д.Ж., Чимэддорж Ц. Пространственно-временные характеристики растительного покрова аридной и семиаридной климатических зон Монголии на основе индекса вегетации NDVI. *Аридные экосистемы*. 2014. Т. 20. № 2 (59). С. 19–29.
6. Doraiswamy P.C., Sinclair T.R., Hollinger S., Akhmedov B., Stern A., Prueger J. Application of MODIS derived parameters for regional crop yield assessment. *Remote Sensing of Environment*. 2005. Vol. 97. № 2. P. 192–202.