

УДК: 528.8.04:633.11

Дистанційний моніторинг стану посівів озимої пшениці впродовж весняно-літньої вегетації 2016 р. за вегетаційними індексами супутника Sentinel-2A (на прикладі Лісостепової зони України)

Г. М. Жолобак*, О. М. Сибірцева, М. В. Ваколюк, Ю. В. Захарчук

ДУ "Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України", Київ, Україна

В статті проаналізовано використання спектральних вегетаційних індексів NDVI (842, 665), NDVI (740, 665) та GreenNDVI, отриманих із даних зйомки супутником нового покоління Sentinel-2A, для вивчення вегетації двох сортів озимої пшениці, вирощених на виробничих посівах під урожай 2016 р. Баришівської зернової компанії (Березань, Київська область, Україна).

Ключові слова: вегетаційні індекси, Sentinel-2A, посіви озимої пшениці, інверсія стану посівів

© Г. М. Жолобак, О. М. Сибірцева, М. В. Ваколюк, Ю. В. Захарчук. 2017

Вступ

У рамках космічної програми моніторингу Землі *Copernicus* Європейського космічного агентства в червні 2015 р. було виведено на орбіту супутник нового покоління Sentinel-2A. Його оснащено мультиспектральною камерою, яка виконує знімання земної поверхні у 13 спектральних каналах з просторовим розрізненням 10, 20 та 60 м та половою знімання в 290 км [10]. З огляду на появу нових високоякісних знімків цього супутника надзвичайно актуально дослідити їх придатність для розв'язання різноманітних наукових та народногосподарських, а також аграрних, задач. Зокрема, перевірити можливість спектральних вегетаційних індексів, обчислених за даними мультиспектрального інструменту супутника Sentinel-2A, реагувати на зміни стану поверхні агрофітоценозів впродовж вегетаційного періоду.

Мета роботи полягала у вивченні можливостей використання даних зі супутника Sentinel-2A для моніторингу вегетації рослин на прикладі двох виробничих посівів озимої пшениці (ОП).

Завдання дослідження — обчислити вегетаційні індекси для ділянки території з досліджуваними полями ОП в програмному середовищі Erdas Imagine за наявними безхмарними зніманнями зі супутника Sentinel-2A та проаналізувати їх придатність для спостереження за вегетацією двох сортів ОП, вирощених на виробничих посівах під урожай 2016 р. Баришівської зернової компанії, що розташовані на території Київської обл.

Основним припущенням для розробки і використання вегетаційних індексів (*BI*) для дослідження

надземної частини рослин є те, що алгебраїчні поєднання дистанційно-зареєстрованих коефіцієнтів відбиття у різних спектральних смугах можуть виявити цінну інформацію. Зокрема — інформацію про структуру рослинного покриву, стан рослинності, фотосинтетичний потенціал, щільність листків і вміст в них води, реакцію на зміни рівнів мінерального живлення, ураження збудниками хвороб або пошкодження їх шкідниками чи несприятливими кліматичними умовами [5]. Найбільш відомим *BI* є нормалізований різницевий вегетаційний індекс рослинності NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). Даний індекс розраховується за формулою (1) [9]:

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

Найперше повідомлення про використання NDVI було зроблене ще у 1973 році у спільній роботі директора Центру дистанційного зондування при Техаському університеті Джона Роуза та його співробітників Дональда Діринга, Роберта Хааса та математика Джона Шелла, які досліджували Великі Рівнини США за допомогою спектральних сигналів супутника Earth Resources Technology Satellite, згодом перейменованого в Landsat-1 [9]. З того часу, незважаючи на величезну кількість запропонованих інших *BI* (наприклад, див. базу даних понад 500 *BI* за адресою <http://www.indexdatabase.de>), NDVI є найуспішнішим для простого і швидкого визначення ділянок, вкритих рослинністю завдяки різному їх відображенню в червоному і ближньому інфрачервоному (БІЧ) каналах. Переважно цей індекс розраховується з використанням коефіцієнтів

* E-mail: zhgm@casre.kiev.ua, тел.: +38 044 486 11 48

відбиття на довжинах хвиль червоного діапазону — від 620 до 700 нм (близько 670 нм) і БЧ близько 800 нм. В нашій роботі він обчислювався із застосуванням спектральних каналів сенсора Sentinel-2A з центрами на 842 нм та 665 нм.

За подібною формулою із заміною відбиття в червоному каналі на відбиття в зеленій області спектру розраховується так званий зелений NDVI (формула (2)) [4]:

$$\text{GreenNDVI} = \frac{R(740) - R(560)}{R(740) + R(560)} \quad (2)$$

За повідомленням А. Гітельсона та ін. [4], він має ширший динамічний діапазон, ніж класичний NDVI, і майже в п'ять разів чутливіший до концентрації хлорофілу в рослинному покриві.

Область стрімкого зростання коефіцієнту відбиття в БЧ області — так званий “червоний край” — є високоінформативною стосовно стану земної зеленої рослинності [6, 11]. Виходячи з вищезазначеного за формулою відношення різниці та суми коефіцієнтів відбиття нами було розраховано ще один аналогічний *BI*, лише із заміною відбиття на довжині хвилі БЧ діапазону з 842 нм у формулі (1) на 740 нм, що відповідає ділянці “червоного краю” і є окремим каналом № 6 мультиспектрального сенсору супутника Sentinel-2A (формула (3)):

$$\text{NDVI}(740,665) = \frac{R(740) - R(665)}{R(740) + R(665)} \quad (3)$$

Подібні індекси із ближнім інфрачервоним краєм були застосовані австралійськими вченими для супутникового дослідження хвороб цукрової тростини (NDVI 750/660) за даними сенсора Nuregion зі супутника EO-1 [2] та вивчення потенціалу повітряної спектральної відеозйомки як інструменту дистанційного зондування агроресурсів, зокрема, відділення ріпаку від люпину і пшениці, визначення щільності посівів та виявлення забур'янення агроценозів та пасовищ (NDVI 750/650) [7].

Об'єкт та методи досліджень

Об'єкт досліджень — виробничі посіви ОП двох сортів Скаген і Богдана, які вирощувались під урожай 2016 р. на угіддях Баришівської зернової компанії поблизу м. Березань Баришівського району Київської області (координати центрів обох полів — 50°20'52.84" пн. ш. і 31°36'19.71" сх. д. та 50°20'01.14" пн. ш. і 31°33'47.07" сх. д.), та досліджувались дистанційними та польовими методами з подальшою статистичною (математичною) обробкою даних. Розташування цих полів представлено на рис. 1.

Загальний вигляд досліджених полів у фазу куцїння зображено на рис. 2.

В роботі використано фрагменти знімків Sentinel-2A за 18 лютого, 8 квітня, 28 квітня та 17 червня 2016 р. для ділянки розташування досліджуваних полів. Дані оброблялися за допомогою модуля *Modeller* програми *Erdas Imagine*, яким на ці дати було обчислено три нормалізовані різниці вегетаційні індекси за формулами (1)–(3) для загальної площі кожного поля. Площа поля 1 становила 170 га, а площа поля 2 — 110 га.

Посів ОП сорту Скаген здійснювався 11–13 вересня 2015 р. з нормою висіву 292 кг/га, а сорту Богдана — 09–11 вересня 2015 р. з нормою висіву 334 кг/га. Попередником на обох полях був соняшник з урожайністю відповідно 30.2 і 29 ц/га. Перед посівом виконували дискування на глибину 10 см і коткування, після посіву вносили азотні добрива — нітроамофоску та карбамід. Навесні двічі проводили азотне підживлення аміачною селітрою: на початку березня по мерзлоталому ґрунту та в другій декаді квітня. Спостереження за ходом вегетації ОП на полях здійснювали як під час наземних польових досліджень, так і під час камерального оброблення завантажених знімків Sentinel-2A програмою *Erdas Imagine*.

Під час польових досліджень впродовж весняно-літньої вегетації 2016 р. рослини ОП перебували в таких фазах розвитку:

- а) куцїння — 8 квітня (рис. 3, а);
- б) початок виходу в трубку (2-ге міжвузля) — 28 квітня (рис. 3, б);
- в) вихід в трубку — 10 травня (рис. 3, в);
- г) молочна стиглість — 17 червня (рис. 3, г).

Під час наземних польових досліджень помічено, що дослідне поле 2 (сорт ОП Богдана) характеризувалося більшою неоднорідністю, ніж поле 1, що відобразатиметься на строкатості супутникових зображень. Під час наземного обстеження 10 травня 2016 р. у фазі вихід в трубку було виявлено ураження рослин цього поля грибними фітопатогенами (рис. 4). В подальшому тут проявилось почорніння колоса та зменшення біомаси рослинності, яке призвело в кінцевому підсумку до зниження зернової продуктивності ОП сорту Богдана у порівнянні з ОП сорту Скаген.

Для дослідження наземної біомаси рослини у трикратній повторності зрізали на рівні ґрунту з площі, обмеженої рамкою розміром з внутрішньої сторони 43 × 43 см (рис. 3, а–в), на місці проводили їхнє зважування та занесення показників до робочого журналу з подальшою статистичною обробкою.

Результати та обговорення

А) наземний моніторинг приросту біомаси рослинного покриву ОП

Впродовж весняної вегетації 2016 р. рослини ОП досліджуваних полів активно формували оптимальну густоту продуктивного стеблостою та біомасу вегетативних органів. На рис. 5 показано динаміку



Рис. 1. Схема розташування досліджених полів ОП у Баришівському районі Київської області у 2016 р. Поле 1 — ОП сорт Скаген, поле 2 — ОП сорт Богдана



а



б

Рис. 2. Загальний вигляд виробничих посівів ОП у квітні 2016 р.: а — дослідне поле 1, ОП сорт Скаген; б — дослідне поле 2, ОП сорт Богдана



а



б



в



г

Рис. 3. Фото ділянок ОП у різних фазах розвитку (весняно-літня вегетація 2016 р.): а — початок кущіння; б — кінець кущіння; в — вихід в трубку; г — молочна стиглість



а



б

Рис. 4. Фото рослин ОП сорту Богдана (дослідне поле 2, 10.05.2016 р.) з хлоротичними плямами на листках: а — вигляд збоку; б — вигляд в надрі

приросту сирої біомаси надземної частини рослин озимої пшениці досліджених полів Баришівської зернової компанії. Як бачимо, від 8 квітня до 10 травня 2016 р. рослинний покрив ОП сорту Богдана поля 2 сформував більшу біомасу зелених пагонів, ніж ОП сорту Скаген. Причиною цього може бути як більша на 14% норма висіву зерна сорту Богдана, так і те, що цей сорт більш високорослий у порівнянні зі сортом Скаген. Проте у третій декаді травня спостерігаємо інверсію стану посівів, коли ОП сорту Скаген починає випереджати ОП сорту Богдана за показником нагромадження сирої біомаси пагонів.

На дату 17 червня 2016 р. сира біомаса зелених пагонів ОП сорту Скаген разом з колоссям у фазі молочної стиглості вже на 22% вища, ніж у ОП сорту Богдана. Оскільки показники стандартного відхилення виміряних показників на дату 17 червня перебиваються, не можна стверджувати про математичну достовірність отриманої різниці, але за усним повідомленням співробітників Баришівської зернової компанії, зернова продуктивність пшениці сорту Скаген була майже на 25% вища, ніж сорту Богдана. Зниження врожайності ОП сорту Богдана найбільш вірогідно може бути пояснене поміченими під час обстеження 10 травня 2016 р. симптомами ураження рослин грибними захворюваннями (борошнеста роса, фузаріоз, септоріоз), що проявились у великій кількості дрібних хлоротичних плям на листках (рис. 4). Відомо, що грибні захворювання рослин призводять до зменшення асиміляційної поверхні листків, сприяючи їх передчасному відмиранню; викликають пригнічення процесу фотосинтезу, а отже, уповільнення асиміляції органічних речовин, що в кінцевому результаті спричиняє формування неповноцінних зернівок і зниження рівня врожайності мінімум на 10–20% від потенційної [1]. На жаль, ні біохімічне визначення вмісту хлорофілу, ні спеціальна оцінка фітосанітарного стану агроце-

нозів не проводились за відсутності в ЦАКДЗ спеціального обладнання і дипломованих фітопатологів.

Б) дистанційний моніторинг посівів ОП за допомогою ВІ зі супутника Sentinel-2

Як зазначалось в завданні дослідження, програмними засобами *Erdas Imagine* для фрагментів знімків Sentinel-2A попіксельно були обчислені три нормалізовані вегетаційні індекси за формулами (1)–(3). Далі, в межах кожного поля за допомогою інструмента *Area Of Interest (AOI) Erdas Imagine* вони були усереднені, і за отриманими їх значеннями було побудовано графіки зміни індексів під час періоду зимового спокою і впродовж весняно-літньої вегетації 2016 р. (рис. 6). Цифрові величини індексів наведено в таблиці до рис. 6. Програмними засобами *Erdas Imagine* було отримано також показники стандартного відхилення для кожного обчисленого середнього значення ВІ.

Аналізуючи поведінку NDVI (842, 665) за 8 і 4 каналами знімка Sentinel-2A від 18.02.2016 р. зауважимо, що для поля 2 він на 0.017 умовних одиниць більше, ніж для поля 1 (табл.). Це підтверджує, що посів ОП сорту Богдана ввійшов у зиму в дещо кращому стані, ніж посів ОП сорту Скаген. Проте, вже на початку квітня 2016 р., невдовзі після відновлення весняної вегетації, супутникові дані згідно із рис.6 свідчать, що стан посіву ОП сорту Богдана погіршується, оскільки його показники NDVI (842, 665) стають меншими у порівнянні зі сортом Скаген для кожної дати наявних знімків відповідно на 0.02; 0.03 та 0.104 умовні одиниці. На дату 17 червня 2016 р. стандартні відхилення показників NDVI навіть не перетинаються, що засвідчує стійку тенденцію погіршення стану посіву сорту Богдана у порівнянні зі сортом Скаген впродовж весняно-літньої вегетації 2016 р. Прогресивне наростання негативних чинників погіршення стану викликане, найімовірніше, розвитком симптомів грибних захворювань рослин

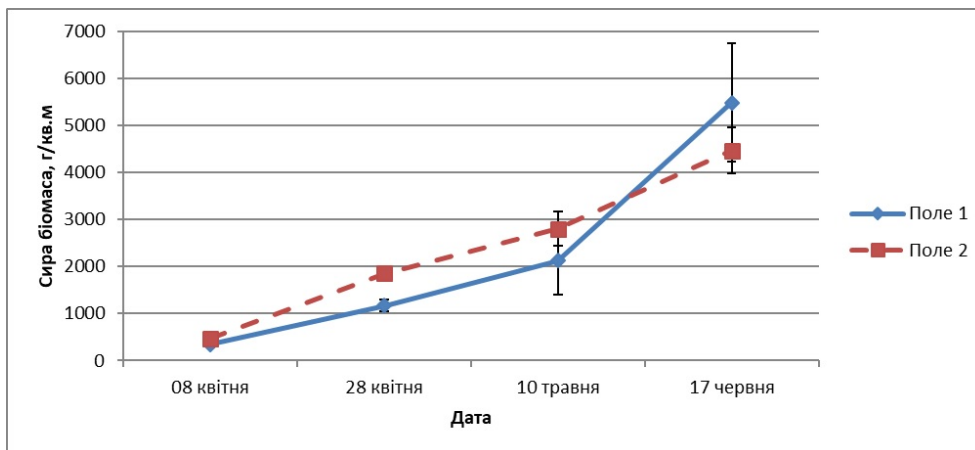


Рис. 5. Динаміка приросту сирової біомаси надземної частини рослин озимої пшениці для досліджених полів Баршівської зернової компанії у 2016 р. Вертикальні риси — показники стандартного відхилення

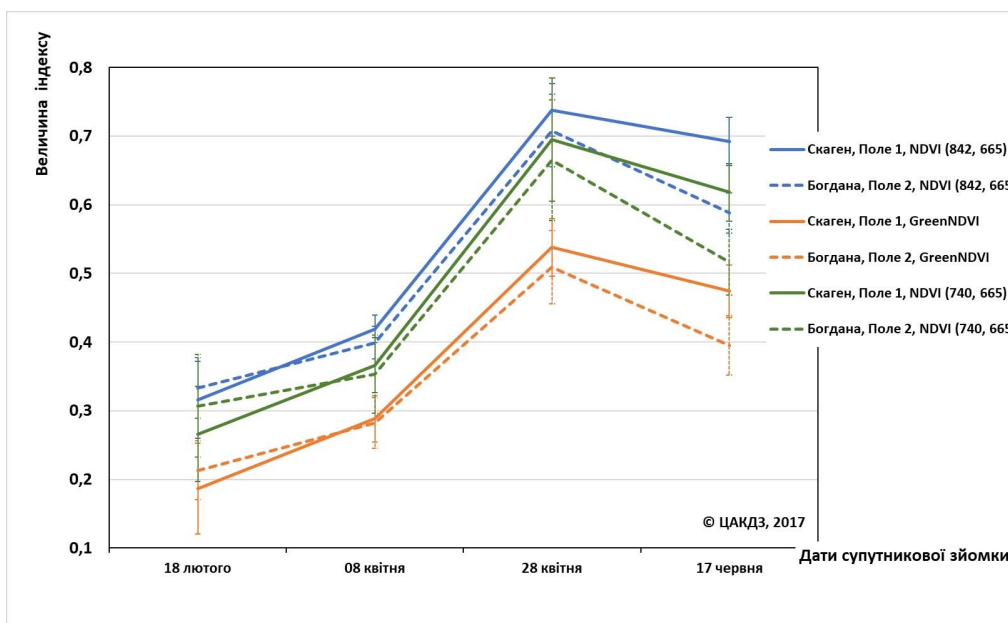


Рис. 6. Динаміка усереднених значень вегетаційних індексів досліджених полів із посівами озимої пшениці Баршівської зернової компанії у 2016 р. за даними Sentinel-2. Вертикальні риси — показники стандартного відхилення [ЦАКДЗ, 2017]

Значення усереднених по площі поля вегетаційних індексів та їх стандартних відхилень (в умовних одиницях) для досліджених посівів озимої пшениці Баршівської зернової компанії у 2016 р. за даними Sentinel-2A

Назва індексу	Номер поля. сорт ОП	Дата супутникової зйомки			
		18 лютого	08 квітня	28 квітня	17 червня
NDVI (842, 665)	Поле 1. Скаген	0.316±0.069	0.419±0.04	0.738±0.09	0.692±0.042
NDVI (842, 665)	Поле 2. Богдана	0.333±0.075	0.399±0.057	0.708±0.088	0.588±0.048
GreenNDVI	Поле 1. Скаген	0.186±0.056	0.288±0.020	0.538±0.038	0.474±0.035
GreenNDVI	Поле 2. Богдана	0.213±0.044	0.282±0.024	0.509±0.053	0.395±0.029
NDVI (740, 665)	Поле 1. Скаген	0.266±0.066	0.366±0.034	0.695±0.042	0.618±0.038
NDVI (740, 665)	Поле 2. Богдана	0.307±0.043	0.353±0.037	0.665±0.053	0.516±0.043

ОП сорту Богдана, візуально зафіксованих під час весняного обстеження 10 травня.

Подібний характер змін властивий двом іншим обчисленим VI. Зокрема, з даних таблиці видно, що 18 лютого 2016 р. значення індексів GreenNDVI та NDVI (740, 665) вищі для рослин ОП сорту Богдана поля 2 відповідно на 0.027 та 0.041 умовних одиниць у порівнянні зі сортом Скаген. Це, як і у випадку з NDVI (842, 665), вказує на те, що посів ОП сорту Богдана ввійшов у зиму в дещо кращому стані, ніж посів ОП сорту Скаген. Проте в квітні–червні GreenNDVI та NDVI (740, 665) виявляють таку ж поведінку як і NDVI (842, 665): їх значення для посіву сорту Богдана зменшуються у порівнянні зі сортом Скаген.

Як бачимо, вегетаційні індекси, обчислені за лютевим знімком Sentinel-2A, свідчать про кращий стан поля 2 (сорт Богдана) під час зимового спокою у порівнянні з сортом ОП Скаген з поля 1. Але на відміну від наземного параметру сирової біомаси пагонів (рис. 5), котрий демонструє інверсію стану посівів між двома полями в третій декаді травня, дистанційні показники нормалізованих різницевоїх індексів (рис. 6) вказують, що інверсія стану відбивної поверхні посівів відбулась зразу після весняного відновлення вегетації рослин ОП. І коли в квітні відмінності між полями незначні, то на дату 17 червня 2016 р. для всіх трьох індексів спостерігається достовірне перевищення їх значень для рослин ОП сорту Скаген поля 1 порівняно з рослинами ОП сорту Богдана з поля 2. Цікаво, що на графіках добре видно відмінності в часі настання зміни стану двох досліджених посівів. Зокрема, за супутниковими даними раніше, ніж за результатами польових обстежень, зафіксовано інверсію стану відбивної поверхні посівів за допомогою найпоширенішого індексу NDVI (842, 665), де перетин двох ліній динаміки для полів 1 і 2 стався приблизно посередині між датами 18 лютого і 8 квітня, тобто в кінці першої — на початку другої декади березня. В той же час два інші нормалізовані різницевої індекси GreenNDVI та NDVI (740, 665) показують пізніший перетин відповідних ліній, засвідчуючи тим самим, що інверсія стану посівів згідно цих індексів відбулась в кінці березня — на початку квітня. Розрахунок імовірної дати переміни стану посівів із застосуванням математичних формул для обчислення точки перетину прямих на відріжку 18 лютого–08 квітня 2016 р. підтвердив, що індекс NDVI (842, 665) виявив її через 24 дні після 18 лютого, тобто 12 березня, індекси GreenNDVI та NDVI (740, 665) зреагували на цей факт відповідно через 42 дні та 39 днів, тобто на дати 31 та 28 березня.

Найбільшу різницю між полями на початку спостереження (18 лютого) та в кінці його (17 червня) демонструє індекс NDVI (740, 665), хоча за абсолютними значеннями (від 0.266 до 0.695 умовних одиниць) він займає проміжне становище між NDVI (842, 665), який коливається між 0.316–0.738 умов-

них одиниць, та GreenNDVI, останньому з яких властиві найнижчі абсолютні значення показників (від 0.186 до 0.538 умовних одиниць).

В) візуальний аналіз NDVI-зображень полів ОП впродовж вегетаційного періоду

Оскільки найвідоміший нормалізований різницевоїх вегетаційний індекс рослинності NDVI (842, 665) у нашому випадку першим серед трьох досліджених індексів відреагував на зміну стану відбивної поверхні посівів, викликану втручанням фітопатогенів, нами було виконано детальну класифікацію зображення фрагментів знімків Sentinel-2A за значеннями цього індексу, яка представлена на рис. 7.

Як бачимо, більша частина фрагменту знімка Sentinel-2A за 18 лютого 2016 р. має значення NDVI (842, 665) від 0.1 до 0.2 умовних одиниць (рис. 8 а). На цьому тлі вищими значеннями (більше 0.3 умовних одиниць) візуально добре виділяється поле 2 і південна частина поля 1, засіяні сортом Богдана і виділені нами світло-зеленим кольором. Саме при візуальному аналізі даного індексного зображення було виявлено, що в межах поля 1 вирощувалась ОП різних сортів. Північна частина цього поля, де зростав сорт Скаген, має невисокі значення NDVI. На фрагменті лютевого знімка Sentinel-2A на площі обох полів (а також на полі між ними) добре помітні численні округлі плями — заниження рельєфу (поди), в яких значно нижчі показники NDVI (коричневі округлі плями).

Навесні, в квітні (рис. 8 б, в), поди майже непомітні під пологом рослинного покриву. На початку і, особливо, наприкінці квітня добре проявляється різниця значень NDVI в межах обох полів: 28 квітня на полі 2 чітко видно світлішу ділянку гострокутної частини поля, обмежену польовою дорогою та південною лісосмугою, для якої характерні нижчі значення NDVI (0.6) у порівнянні з рештою поля. Поле 1 на цю дату 28 квітня (рис. 8 в) має більш насичений зелений колір, який відповідає високим значенням NDVI (між 0.7–0.9 умовних одиниць). Слід зауважити, що в квітні (рис. 8 б, в) майже не видно відмінностей між сортами пшениць, висіяними на полі 1. В другій декаді червня ця різниця виявляється дуже чітко: на полі 1 північна частина зі сортом Скаген має вищі показники NDVI у порівнянні з південною ділянкою. Значення цього індексу на дату 17 червня 2016 р. по всій площі поля 1 коливається між 0.6–0.8, в той час як по всій площі поля 2 — лише між 0.4–0.6 умовних одиниць.

Отже, індекс NDVI (842, 665) в нашому дослідженні підтвердив свою придатність для моніторингу стану посівів озимої пшениці. Отримані нами результати на його користь узгоджуються з висновками дослідників з університетів Арканзасу та Північної Дакоти про здатність NDVI, розрахованого за показниками відбиття на довжинах хвиль 810, 690 (які відповідають вибраним нами каналам

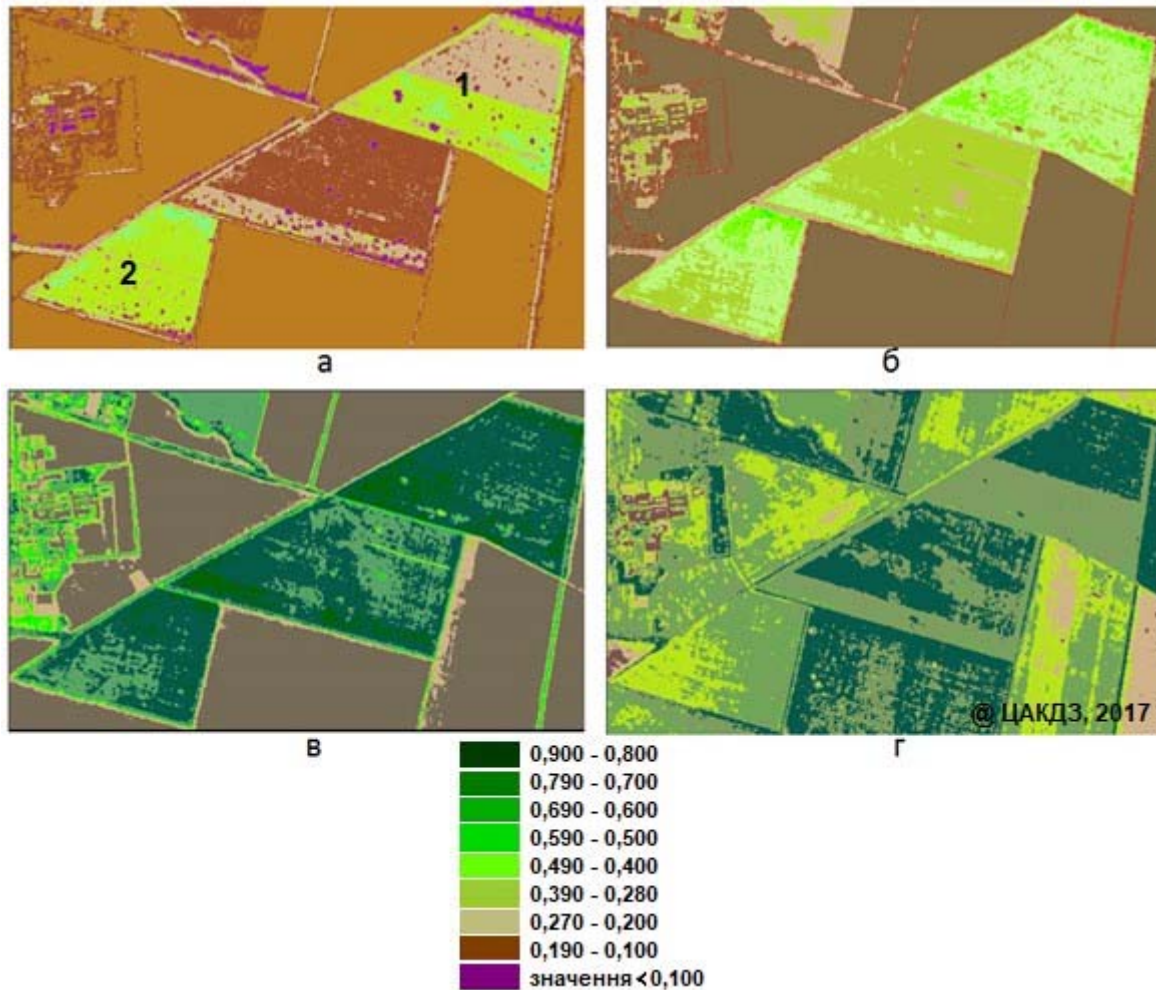


Рис. 7. NDVI (842, 665) — зображення фрагментів знімків Sentinel-2A для досліджених полів озимої пшениці Баришівської зернової компанії за датами: а — 18 лютого 2016 р., б — 08 квітня 2016 р., в — 28 квітня 2016 р., г — 17 червня 2016 р. Поле 1 — ОП сорт Скаген, поле 2 — ОП сорт Богдана [ЦАКДЗ, 2017]

Sentinel-2A), бути потенційним індикатором ураження рослин сої збудниками захворювань, зокрема *Fusarium virguliforme* (гриб-паразит) та *Heterodera glycines* (шкодочинна нематода) [3]. За останні кілька десятиліть численні дослідження підтвердили потенційну ключову роль супутникового NDVI в макроекології та моніторингу довкілля, що знайшло своє відображення в однойменній монографії [8].

Висновки

1. Проаналізовано поведінку трьох нормалізованих різницевого вегетаційних індексів NDVI (842, 665), NDVI (740, 665) та GreenNDVI, розрахованих за супутниковими даними Sentinel-2A, в межах двох виробничих посівів ОП Баришівської зернової компанії впродовж періоду зимового спокою та весняно-літньої вегетації 2016 року.
2. Встановлено, що подібність між цими індексами полягає в аналогічному ході ліній їх динаміки відповідно до зміни стану обох посівів, а відмінність — у абсолютній величині показників (найвищі характерні для NDVI (842, 665), а найнижчі для GreenNDVI).
3. Обчислені за дистанційними даними показники досліджених нормалізованих різницевого індексів вказують, що інверсія стану посівів відбулась зразу після весняного відновлення вегетації рослин ОП. Час фіксації інверсії стану посівів відрізняється в залежності від довжини хвилі, обраної для розрахунку індексу: найраніше вона вловлюється NDVI (842, 665), а NDVI (740, 665) та GreenNDVI засвідчують про неї на 2–3 тижні пізніше.
4. Наземний моніторинг стану обох посівів ОП 17 червня 2016 р. виявив достовірне зниження сирової біомаси зелених пагонів сорту Богдана на 22% у порівнянні зі сортом Скаген, що найбільш вірогідно, викликане поміченими під час обстеження 10 травня 2016 р. симптомами ураження рослин грибними захворюваннями (*борошниста роса, фузаріоз, септоріоз*).
5. Таким чином, показники VI, обчислені за супутниковими даними Sentinel-2A, в нашому дослід-

женні виявляють інверсію стану посівів раніше (28 квітня 2016 р.), ніж візуальні (17 червня 2016 р.) наземні обстеження, що може бути використано під час створення моделей прогнозування продуктивності зернових культур.

Подяка

Автори вдячні співробітникам Баришівської зернової компанії, зокрема Є. В. Загладі, за сприяння у проведенні досліджень.

Література

1. Мюллер Э. Микология / Э. Мюллер, В. Лёффлер. Пер. с нем. — М.: Мир, 1995. — 343 с.
2. Arpan A. Formulation and assessment of narrow-band vegetation indices from EO-1 Hyperion imagery for discriminating sugarcane disease [Електронний ресурс] / A. Arpan, A. Held, S. Phinn, J. Markley // Spatial Sciences Institute Biennial Conference (SSC 2003): Spatial Knowledge Without Boundaries. SSC 2003 conference paper. — 2003. — 13 p. — Режим доступу: https://eprints.usq.edu.au/8061/1/Arpan_Held_Phinn_Markley_SSI_2003_PV.pdf. — Назва з екрану.
3. Bajwa S. G. Soybean Disease Monitoring with Leaf Reflectance [Електронний ресурс] / S. G. Bajwa, J. C. Rupe, J. Mason // Remote Sens. — 2017. — Vol. 9, № 2. — P. 127–133. — Режим доступу: <http://www.mdpi.com/2072-4292/9/2/127/htm>. — Назва з екрану.
4. Gitelson A. A. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS / A. A. Gitelson, Y. J. Kaufman, M. N. Merzlyak // Remote Sensing of Environment. — 1996. — Vol. 58, № 3. — P. 289–298.
5. Jensen J. R. Remote sensing of the environment: an Earth resource perspective: 2nd (second) Edition — Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, Inc. — 2007. — 592 p.
6. Kiang N. Y. Spectral signatures of photosynthesis. I. Review of Earth organisms / N. Y. Kiang, J. Siefert, Govindjee, R.E. Blankenship // Astrobiology. — 2007. — Vol. 7. — № 7 — P. 222–251.
7. Metternicht G. Vegetation indices derived from high-resolution airborne videography for precision crop management / G. Metternicht // International Journal of Remote Sensing. — 2003. — Vol. 24, № 14. — P. 2855–2877.
8. Pettorelli N. The Normalized Difference Vegetation Index / N. Pettorelli. — New York: Oxford University Press, 2013. — 208 p.
9. Rouse J.W. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation / J. W. Rouse, Jr., R. H. Haas, J. A. Schell, D. W. Deering // Prog. Rep. RSC 1978-1. — 1973. — 93 p.
10. SENTINEL-2 User Handbook. European Space Agency: ESA Standard Document [Електронний ресурс] — 2015. — 64 p. / Режим доступу: https://earth.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook. — Назва з екрану.
11. Ustin S. L. Retrieval of foliar information about plant pigment systems from high resolution spectroscopy / S. L. Ustin, A. A. Gitelson, S. Jacquemoud, M. Schaepman, G. P. Asner, J. A. Gamon, P. Zarco-Tejada // Remote Sensing of Environment. — 2009. — V. 113, Supplement 1 (Imaging Spectroscopy Special Issue). — P. S67–S77.

ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ПОСЕВОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В ТЕЧЕНИЕ ВЕСЕННЕ-ЛЕТНЕЙ ВЕГЕТАЦИИ 2016 ГОДА ПО ВЕГЕТАЦИОННЫМ ИНДЕКСАМ СПУТНИКА SENTINEL-2A (НА ПРИМЕРЕ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ УКРАИНЫ)

Г. М. Жолобак, О. Н. Сибирцева, М. В. Ваколюк, Ю. В. Захарчук

В публикации проанализировано использование спектральных вегетационных индексов NDVI (842, 665), NDVI (740, 665) и GreenNDVI, полученных по данным съемки спутником нового поколения Sentinel-2A, для изучения вегетации двух сортов озимой пшеницы, выращенных на производственных посевах под урожай 2016 года Барышевской зерновой компании (Березань, Киевская область, Украина).

Ключевые слова: вегетационные индексы, Sentinel-2A, посевы озимой пшеницы, инверсия состояния посевов

REMOTE MONITORING OF THE STATE OF WINTER WHEAT DURING THE SPRING-SUMMER VEGETATION OF 2016 YEAR, BY USING VEGETATION INDICES OF SENTINEL-2A SATELLITE (CASE STUDY BY FOREST-STEPPE AREA OF UKRAINE)

G. M. Zholobak, O. M. Sibirtseva, M. V. Vakolyuk, Yu. V. Zakharchuk

The spectral vegetation indices NDVI (842, 665), NDVI (740, 665) and GreenNDVI received from the survey data of new generation satellite Sentinel-2A, were analyzed in publication for studying the vegetation of two cultivars of winter wheat, grown up of crops production for the harvest in 2016 year of Grain Alliance Ukraine (Berezan, Kyiv oblast, Ukraine).

Keywords: vegetation indices, Sentinel-2A, winter wheat crops, inversion of the state of crops