

УДК 528.813:633.11(477)

Г. М. Жолобак, З. М. Шпортюк, О. М. Сибірцева, С. С. Дугін

Державна установа «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі
Інституту геологічних наук Національної академії наук України», Київ

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЕГЕТАЦІЙНИХ ІНДЕКСІВ ЧЕРВОНОГО КРАЮ СПЕКТРІВ ВІДБИТТЯ ПОСІВІВ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ, ВИРОЩЕНОЇ У ПОЛЬОВИХ УМОВАХ СТЕПОВОЇ ЗОНИ УКРАЇНИ

Висвітлюються результати спектрометрування приладом ASD FieldSpec® 3FR дрібноділянкових посівів демонстраційно-го полігону елітного насіннєвого господарства «Золотий колос» у Миколаївській області, на підставі яких розраховано вегетаційні індекси червоного краю (REP, TCI, NDVI705) для двох різновидів (лютесценс та еритроспермум) озимої пшениці м'якої (Triticum aestivum L.) та різновиду гордеїформе озимої пшениці твердої (Triticum durum Desf.). Найнижчі значення індексів виявлено в озимій пшениці м'якої з безостим колосом різновиду лютесценс, а найвищі — в озимій пшениці твердої різновиду гордеїформе. Обговорюється питання широкого розмаху коливань значень вегетаційних індексів червоного краю для досліджених сортів озимої пшениці різновиду лютесценс.

ВСТУП

Дослідження спектрів відбиття рослинності за допомогою високоточної апаратури активно проводиться вже понад три десятиліття. Можна виокремити принаймні три напрямки використання вимірювань спектральних характеристик рослинного покриву.

1. Пошук неруйнівних методів вивчення рослин, суть яких полягає у віднайденні кореляційних залежностей між спектральними коефіцієнтами яскравості (чи розрахованими на їх основі вегетаційними індексами) та окремими біохімічними компонентами рослинних органів (пігментами, вмістом азоту чи води). Накопичений досвід у дистанційному виявленні хлорофілів, каротиноїдів та антоціанів у листках рослин, обговорення успіхів і проблем їх кількісної оцінки методами спектрометрії високої розрізненності узагальнено в огляді [16].

2. Оцінювання можливості автоматизованого виділення окремих складових частин зі змішаного посіву. Таку спробу здійснено вченими

з університету м. Кассель (Німеччина) з метою встановлення пропорції бобових (конюшини та люцерни) у бобово-злакових (з райграсом) травосумішках, вирощених у вегетаційних умовах. У цьому експерименті застосовувались методи регресії та вегетаційні індекси *SR*, *NDVI*, *EVI*, *REP*, розраховані зі спектрів відбиття різних варіантів травостоїв, отриманих спектрометром FieldSpec Pro JR [9].

3. Зіставлення даних наземних гіперспектральних вимірювань відбивальних властивостей рослинності з даними космічних апаратів. Застосування методики й техніки високоточного спектрометрування дозволяє перевірити, наскільки взаємоузгоджуються індекси, розраховані на основі гіперспектральних даних наземного оптичного дистанційного зондування (ДЗ) та аналогічні індекси, обчислені на основі даних відбиття з порівняно ширших каналів космічних сенсорів. З них варто виділити вегетаційні індекси в області червоного краю (660—780 нм), за допомогою яких можна неруйнівними методами оцінити різноманітні параметри і культурної, і природної рослинності. Роботи в цьому напрямку проведені як для космічного апарата «RapidEye», який вже функціонує на орбіті [11],

© Г. М. ЖОЛОБАК, З. М. ШПОРТЮК, О. М. СИБІРЦЕВА,
С. С. ДУГІН, 2012

так і для спеціально сконструйованих з метою дослідження рослинності й охорони довкілля мікосупутників VENμS та «Sentinel-2», запуск яких планується у 2013 р. [13].

В зоні червоного краю (660—780 нм) спектри відбиття рослин характеризуються високими значеннями коефіцієнтів відбиття та великою швидкістю їхнього зростання [10, 14]. Швидкість зміни залежить від типу та стану рослинного покриву [15, 16], що дає можливість використовувати цю властивість при його класифікації. Особливо важливим показником є довжина хвилі, на якій швидкість зміни спектру максимальна — так звана позиція червоного краю *REP* (Red Edge Position). Вона належить до вегетаційних індексів червоного краю, які можна визначати за гіперспектральними даними ДЗ. Індекс *REP* залежить від сумарного вмісту хлорофілу, який є показником функціонального стану рослин. Другим індексом, що характеризує вміст хлорофілу в рослинному покриві, є TCI (terrestrial chlorophyll index), який вперше визначено англійськими вченими [10] для даних сенсора MERIS як мерісівський наземний хлорофільний індекс MTCI (the MERIS terrestrial chlorophyll index). Третій індекс, який характеризує зміни спектрального відбиття в зоні червоного краю залежно від вмісту хлорофілу — модифікований нормалізований різницевий індекс червоного краю *NDVI*₇₀₅, запропонований вперше в роботі [12].

Свого часу методиці визначення *REP* за даними космознімання не приділялося достатньої уваги через відсутність на супутниках відповідних спектрометрів з достатньою кількістю каналів в зоні червоного краю. Та з 2010 р. в Україні поширюється інформація з німецького супутникового угруповання «Rapid Eye», котре оснащено 5-канальними багатоспектральними оптико-електронними системами, що дозволяють вперше серед комерційних супутників отримувати знімки земної поверхні каналом «червоного краю» (690—730 нм). Тому особливої актуальності набувають наземні підсупутникові дослідження спектральних особливостей рослинних угруповань з метою їхнього подальшого зіставлення з інформацією, отриманою шляхом обробки космічних знімків.

Детальне дослідження спектрів відбиття рослин проводилось в Україні з 1987 р. вченими під керівництвом проф. С. М. Кочубей на спеціально сконструйованих для цього приладах з різними діапазонами реєстрації та кроками відбору інформації [3, 8, 17]. Було створено кілька варіантів експериментальних зразків спектрометричного апаратурно-програмного комплексу для дистанційного визначення вмісту хлорофілу у рослинності в натуральних умовах та проведено їхнє випробування на дослідних ділянках Інституту фізіології рослин і генетики Національної академії наук України та на дослідних полях інституту у Васильківському районі Київської області [1].

З появою першого в Україні цифрового спектрорадіометра ASD FieldSpec® 3FR з'явилась можливість здійснювати спектрометрування наземного покриву у польових виробничих умовах для розв'язання різноманітних прикладних задач. Дані вимірювань спектральних характеристик рослинного покриву використано як еталонні для зіставлення з даними космознімання сенсора «Hyperion» [4] та для визначення впливу просочування природного газу на спектральні характеристики пшениці над Глібовським газоконденсатним родовищем [5].

Мета нашої роботи — дослідження вегетаційних індексів червоного краю окремих різновидів озимої пшениці, обчислених за даними вимірювань спектрорадіометром ASD FieldSpec® 3FR на дрібноділянкових сільськогосподарських посівах демонстраційного полігону елітного насінневого господарства «Золотий колос» поблизу м. Миколаєва задля подальшого їхнього зіставлення з аналогічними індексами, розрахованими за космічними знімками.

Об'єкти та методика досліджень. Експеримент зі спектрометрування сільськогосподарських культур було здійснено 16 червня 2010 року польовим спектрометром ASD FieldSpec® 3FR у степовій зоні України на дрібноділянкових посівах демонстраційного полігону елітного насінневого господарства «Золотий колос» поблизу м. Миколаєва. На рис. 1 світлим кольором позначено поле, на якому був розташований цей полігон.

На зазначену дату тут на ділянках довжиною 40 м та шириною півтора, три й шість метрів вирощувались різні сорти 14 сільськогосподарських культур, характерних для степової зони України. Об'єктом досліджень були посіви різновидів озимої пшениці м'якої або звичайної (*Triticum aestivum* L.) та озимої пшениці твердої (*Triticum durum* Desf.), які під час спектрометрування перебували у фазі молочно-воскової стиглості. Для отримання спектрів відбиття поверхні посівів озимої пшениці оптична насадка приладу встановлювалась скраю посіву на центральній поздовжній осі ділянки.

Під час вимірювань 16 червня 2010 р. о 7 год ранку та в післяобідню пору погода була ясною, сухою й сонячною, лише у полудень спостерігалася мінлива хмарність. Температура повітря вранці була 30 °С, вдень піднялась до 36 °С. Спектрометрування посівів озимої пшениці здійснювалось від 13 до 14 год при ясному небі.

Технічні характеристики спектро радіометра FieldSpec®3 FR. ASD FieldSpec® 3FR — польовий портативний переносний спектро радіометр, який охоплює діапазон реєстрації від 350 до 2500 нм. Весь спектр 350—2500 нм відображається в реальному часі на дисплеї. Деякі інші характеристики спектро радіометра наведено нижче:

- інтервал відліку — 1.4 нм у діапазоні довжин хвиль 350—1000 нм і 2.0 нм у діапазоні довжин хвиль 1000—2500 нм,
- спектральна розрізненність (повна ширина на половині максимуму) — 3.0 нм при 700 нм та 10 нм при 1400 нм і 2100 нм,
- яскравість, еквівалентна шуму (NeDL), для стандартного волоконно-оптичного кабеля довжиною 1.5 м становить 1.4, 2.4, 8.8 нВт·см⁻²·нм⁻¹ для довжин хвиль λ = 700, 1100 і 2100 нм відповідно.

З іншими технічними параметрами приладу можна ознайомитись на сайтах <http://www.asdi.com/products/fieldspec-3-portable-spectroradiometer> та <http://www.asdi-rus.ru/catalog/25/>.

Кут огляду використаного об'єктива — 1°, тримач пістолетного типу з оптичною насадкою закріплювався на стандартному штативі з висотою 1.2 м над поверхнею ґрунту, віддаль від об'єктива до ділянки спектрометрування посі-



Рис. 1. Розташування демонстраційного полігону елітного насінневого господарства «Золотий колос» (світлий прямокутник між точками GPS 194 та 291), на якому 16 червня 2010 р. здійснювалось спектрометрування сільськогосподарських культур

ву складала 5 м, площа посіву, яка потрапляла у поле зору, складала 80 см², кут нахилу оптичної осі об'єктива до вимірюваної площі 14°. Калібрування до білого проводилось перед кожним вимірюванням на ділянці. Одне місце поверхні посіву кожного сорту вимірювалось десять разів. Отримані десять спектрів програмно усереднювались і надалі використовувались для обчислення вегетаційних індексів червоного краю.

Обчислення вегетаційних індексів *REP* [14], *TCI* [10] та *NDVI*₇₀₅ [12] здійснювалось за формулами

$$REP = 701 + 41 \frac{(\bar{R} - R(701))}{(R(742) - R(701))}, \quad (1)$$

$$\bar{R} = \frac{R(671) + R(783)}{2},$$

$$TCI = \frac{R(754) - R(708)}{R(708) - R(681)}, \quad (2)$$

$$NDVI_{705} = \frac{R(750) - R(705)}{R(750) + R(705)}, \quad (3)$$

де $R(\lambda)$ — значення спектрометричного коефіцієнта відбиття на довжині хвилі λ .

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХНЕ ОБГОВОРЕННЯ

Рід пшениці *Triticum* L. поліморфний за видовим складом. На демонстраційному полігоні зростали різні сорти двох озимих культурних голозер-

них видів: пшениці м'якої (ширина цих ділянок становила 3 м) та пшениці твердої (ширина ділянок — 1.5 м). Ми досліджували 23 сорти, що належать до трьох різновидів. Різновид лютесценс (*Tr. aestivum*) об'єднував сорти Служниця, Безоста, Подолянка, Фаворитка, Херсонська безоста; різновид еритроспермум (*Tr. aestivum*) — сорти Ліона, Селянка, Зміна, Ніконія, Кірія, Турунчук, Шестопаловка, Отаман, Подяка, Пошана, Куяльник, Тітона, Кохана та Херсонська 99, різновид гордеїформе (*Tr. durum*) — сорти: Аргонавт, Лагуна, Дельфін та Алий парус.

Всі проаналізовані сорти озимої пшениці належать до групи середньоранніх із тривалістю вегетаційного періоду у межах 270—280 днів, за винятком сорту Фаворитка (різновид лютесценс), який належить до групи середньостиглих, та сорту Шестопалівка (різновид еритроспермум), що входить до групи ранньостиглих сортів.

За даними спектрометра ASD FieldSpec®3 FR було розраховано значення трьох вегетаційних індексів червоного краю, які характеризують фотосинтетичний потенціал рослин (таблиця).

За даними таблиці найнижчі значення всіх розрахованих індексів червоного краю характерні для озимої пшениці різновиду лютесценс. Зокрема, значення *REP* для цих пшениць майже на 7 нм, а значення *TCI* та *NDVI*₇₀₅ достовірно майже удвічі нижчі, ніж у пшениць різновиду гордеїформе. Така різниця, вірогідно, зумовлена тим, що відбивні поверхні посівів пшениць лютесценс в умовах степової зони України до середини червня 2010 р. помітно втратили фотосинтетичні пігменти (про це свідчить найменший хлорофільний індекс *TCI*) і візуально видавались жовтішими порівняно з іншими різновидами пшениці. Серед остистих пшениць для різновиду еритроспермум були властиві, як правило, колос зеленого кольору, а остюки — жовтуватого, в той час як у *Tr. durum* гордеїформе зеленими були і колос, і остюки, і більша частина листків. Про це свідчать і отримані спектри відбиття посівів, які демонструють відмінності в конфігурації кривих відбиття на довжинах хвиль 350—750 нм та різну позицію точки початку підняття спектру на довжині хвилі $\lambda \approx 680$ нм (один з максимумів поглинання хлорофілу) (рис. 2).

Отже, під час спектрометрування посівів 16 червня 2010 р. ми зафіксували як достовірні відмінності значень проаналізованих індексів між двома видами озимої пшениці *Tr. aestivum* та *Tr. durum*, так і тенденцію до дещо вищих значень індексів для пшениць різновиду еритроспермум у порівнянні з лютесценс. Слід зазначити, що ця несхожість між вегетаційними індексами різновидів озимої пшениці не суперечить виявленим Т. А. Казанцевим зі співроб. [2] сортовим відмінностям у формі динамічних кривих зміни деривативного вегетаційного індексу D_{725}/D_{702} , розрахованого за спектрами відбиття посівів двох сортів озимої пшениці Смуглянка і Переяславка, вирощених на різних рівнях мінерального живлення в умовах мікропольового дослідження лісо-степової зони України. Вищезазначене свідчить про неоднорідність спектрального відгуку посівів озимої пшениці молочно-воскової стиглості в зоні червоного краю, що слід брати до уваги при подальшому аналізі відповідних індексів, розрахованих за супутниковими даними.

Для досліджених ділянок пшениці різновиду лютесценс властиві найбільші варіації отриманих вегетаційних індексів (наприклад, *REP* — від 705.77 нм до 722.26 нм), про що свідчать високі значення похибок середнього для кожного з них (див. таблицю). Внаслідок цього відмінність середніх значень *REP* для пшениць лютесценс та гордеїформе лише у 2.4 рази перевищує помилку середнього арифметичного для сортів різновиду лютесценс. Водночас коефіцієнт варіації індексів для *REP* найменший із усіх трьох коефіцієнтів варіації. Постає логічне запитання, чому сортам пшениць з безостим колосом притаманна доволі сильна варіативність індексу *REP*, у той час як мінливість його варіаційного ряду можна вважати незначною (адже вона не сягає навіть 1 %)?

Як засвідчили наші розрахунки, найвищі показники індексу *REP* пшениць різновиду лютесценс були властиві сортам Подолянка (719.69 нм) і Фаворитка (722.26 нм). Це короткостеблові високоінтенсивні сорти озимої пшениці, які належать до нового покоління сортів, що забезпечують отримання рекордних урожаїв. Як зазначалось вище, сорт Фаворитка належить до групи середньостиглих, тож у порівнянні з іншими

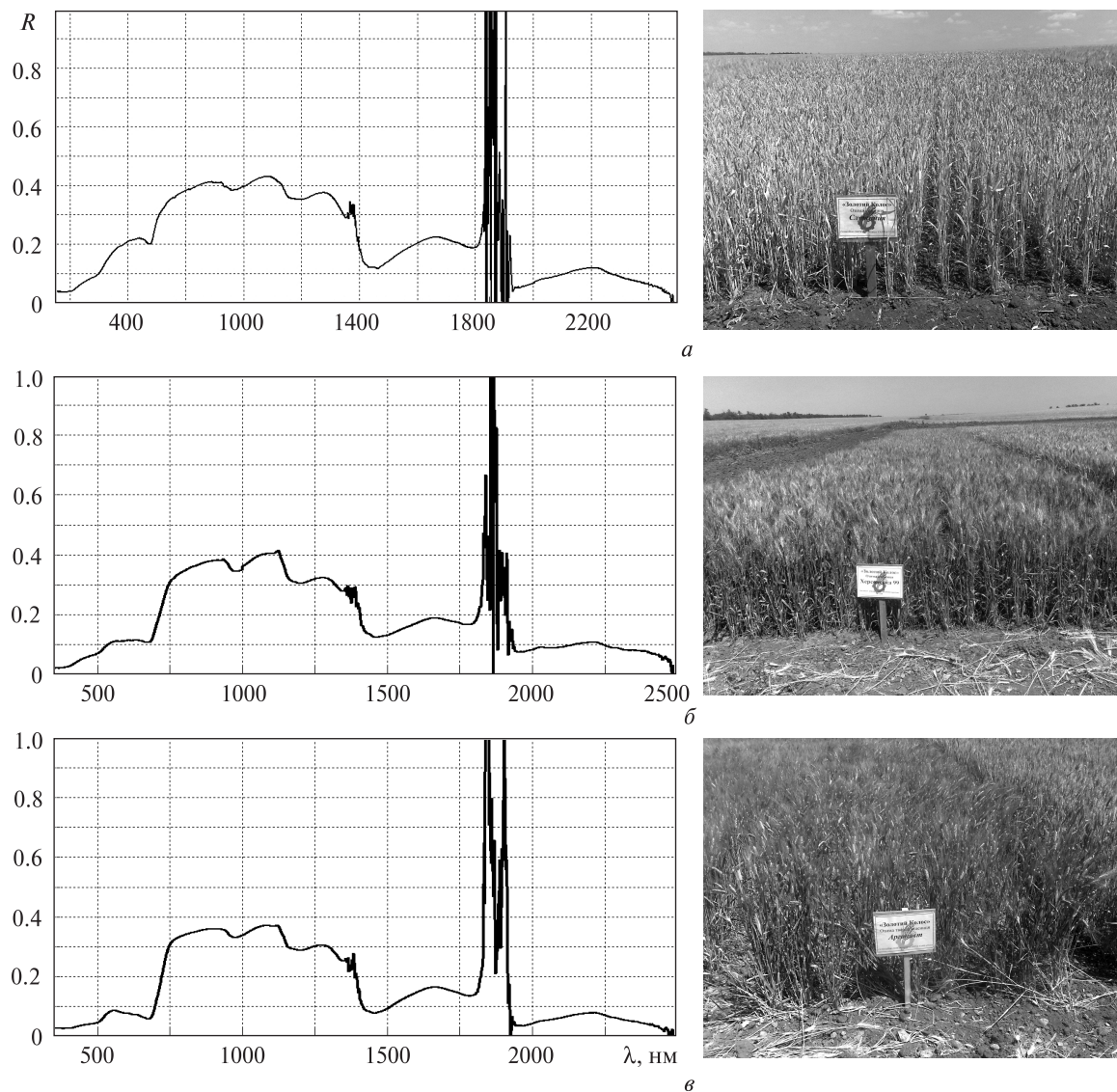


Рис. 2. Спектри відбиття дрібноділянкових посівів озимої пшениці у Миколаївській області, отримані спектрорадіометром ASD FieldSpec® 3FR 16 червня 2010 р. та фото цих посівів: *а* – озима пшениця м'яка, різновид лютесценс, сорт Служниця; *б* – озима пшениця м'яка, різновид еритроспермум, сорт Херсонська 99; *в* – озима пшениця тверда, різновид гордеїформе, сорт Аргонавт

Значення вегетаційних індексів червоного краю та коефіцієнтів ϵ їхньої варіації для різновидів озимої пшениці на дрібноділянкових посівах Миколаївської області за даними спектрорадіометра ASD FieldSpec® 3FR від 16 червня 2010 р.

Різновид	Кількість сортів	REP , нм	TCI	$NDVI_{705}$	ϵ_{REP} , %	ϵ_{TCI} , %	ϵ_{NDVI} , %
Лютесценс	5	715.21 ± 2.93	1.31 ± 0.28	0.22 ± 0.05	0.91	48.11	54.45
Еритроспермум	14	719.81 ± 0.35	1.76 ± 0.07	0.26 ± 0.01	0.18	15.59	19.14
Гордеїформе	4	722.14 ± 0.36	2.43 ± 0.06	0.43 ± 0.01	0.10	4.92	3.34

середньоранніми сортами рослини цього сорту на час спектрометрування, ймовірно, містили більше хлорофілу, що підтверджується високим значенням хлорофільного індексу TCI , яке майже вдвічі перевищувало значення TCI для інших пшениць цієї групи. За даними Г. О. Прядкіної [6] цей сорт характеризується більшою тривалістю активної роботи листової поверхні в репродуктивний період розвитку, що забезпечується підтриманням функціональної активності листків усіх ярусів рослини. Вченими ІФРГ НАНУ для прапорцевих листків сорту Фаворитка у період наливу зерна було виявлено такі особливості обміну речовин, які сприяють підтриманню функціонального стану фотосинтетичного апарату на вищому рівні, ніж для традиційного сорту Миронівська 808 [7].

Отже, можна припустити, що найбільший діапазон відхилень від середніх значень вегетаційних індексів червоного краю різновиду лютесценс спричинений тривалішою фотосинтетичною активністю нових високоінтенсивних сортів на противагу іншим сортам пшениць з безостим колосом. Звісно, вивчення виявленої особливості потребує більшої кількості дистанційних спектрометричних вимірювань і подальших досліджень на ширшому обсязі рослинного матеріалу.

Зіставляючи коефіцієнти варіації, розраховані для трьох досліджених індексів, відзначимо, що для REP властива незначна мінливість варіаційного ряду (менше 1 % для всіх досліджених різновидів озимої пшениці), для TCI й $NDVI_{705}$ — незначна та середня (за винятком високоінтенсивних сортів, які демонстрували високі показники строкатості цих індексів через причини, описані вище). Можливо, це пов'язано з методиками обчислення даних індексів, адже розрахунок значень REP ведеться на підставі відбиття покриву на чотирьох довжинах хвиль, TCI — трьох, а $NDVI_{705}$ — лише двох. Оскільки більшість коефіцієнтів варіації за абсолютним значенням не перевищує 20 %, можна стверджувати про порівняно незначну строкатість досліджуваних індексів червоного краю, а отже, про подальшу доцільність їхнього використання для вивчення особливостей відбиття рослинного покриву.

ВИСНОВКИ

1. За даними спектрорадіометра ASD FieldSpec® 3FR, отриманими у польових умовах на дрібноділянкових посівах демонстраційного полігону елітного насінневого господарства «Золотий колос» на Миколаївщині, розраховано вегетаційні індекси області червоного краю для двох різновидів (лютесценс та еритроспермум, 19 сортів) озимої пшениці м'якої *Triticum aestivum* та різновиду гордеїформе (4 сорти) озимої пшениці твердої *Triticum durum*.

2. Виявлено відмінності значень вегетаційних індексів червоного краю (REP , TCI , $NDVI_{705}$) для проаналізованих різновидів озимої пшениці: найнижчими ці індекси були у озимої пшениці м'якої різновиду лютесценс, а найвищими — у озимої пшениці твердої різновиду гордеїформе.

3. Відносно незначні величини коефіцієнтів варіації досліджених вегетаційних індексів червоного краю свідчать про порівняно незначну строкатість їхніх значень, а отже, — про подальшу доцільність їхнього використання для вивчення особливостей відбиття рослинного покриву та зіставлення з аналогічними індексами, розрахованими за космічними знімками.

Автори вдячні співробітникам елітного насінневого господарства «Золотий колос» м. Миколаєва за відмінний стан демонстраційного полігону № 7 і можливість проведення вимірювань, а також О. О. Стасику за корисні поради.

1. Донець В. В. Обґрунтування структури апаратно-програмного комплексу для дистанційного зондування рослинності в польових умовах: Автореф. ... дис. канд. техн. наук. — К., 2010. — 22 с.
2. Казанцев Т. А., Туменок Л. В., Кочубей С. М. Дистанционные измерения динамики содержания хлорофилла в посевах озимой пшеницы // Физиол. и биохим. культ. растений. — 2010. — 42, № 6. — С. 544—549.
3. Кочубей С. М., Казанцев Т. А., Донець В. В. и др. Гиперспектральный аппаратно-программный комплекс и его информативные возможности в дистанционном зондировании растительности // Казахско-укр. конф. «Современные космические технологии», Алматы, 7—9 октября 2008 г. — Сб. мат. — Алматы, 2008. — С. 28—30.
4. Лялько В. І., Шпортюк З. М., Сахацький О. І. та ін. Зіставлення супутникових та наземних гіперспект-

- ральних даних при визначенні позиції червоного краю спектрів відбиття // Космічна наука і технологія. — 2010. — **16**, № 3. — С. 39—45.
5. Лялько В. І., Шпортюк З. М., Сибірцева О. М. та ін. Дослідження варіацій індексів червоного краю спектрів відбиття пшениці над газовим родовищем // Космічна наука і технологія. — 2010. — **16**, № 6. — С. 5—10.
 6. Прядкіна Г. О. Онтогенетична динаміка параметрів фотосинтетичного апарату посівів озимої пшениці різних за зерновою продуктивністю генотипів // Особливості фотосинтезу і продукційного процесу у високоінтенсивних генотипів озимої пшениці. — К.: Основа, 2011. — С. 64—73.
 7. Соколовская-Сергиенко О. Г., Кириций Д. А. Углекислотный газообмен и активность супероксиддисмутазы флаговых листьев различных сортов озимой пшеницы // Вісник Укр. тов-ва генетиків і селекціонерів. — 2010. — **8**, № 1. — С. 46—50.
 8. Яценко В. А., Кочубей С. М., Хандрига П. А. и др. Новый метод дистанционного оценивания содержания хлорофилла в растительности и его программно-аппаратная реализация // Космічна наука і технологія. — 2007. — **13**, № 3. — С. 35—44.
 9. Biewer S., Erasmi S., Fricke T., Wachendorf M. Prediction of yield and the contribution of legumes in legume-grass mixtures using field spectrometry // Precision Agriculture. — 2009. — **10**, № 2. — P. 128—144.
 10. Dash J., Curran P. J. The MERIS terrestrial chlorophyll index // Int. J. Remote Sens. — 2004. — **25**. — P. 5403—5413.
 11. Eitel J. U. H., Long D. S., Gessler P. E., Smith A. M. S. Using *in-situ* measurements to evaluate the new RapidEye™ satellite series for prediction of wheat nitrogen status // Int. J. Remote Sens. — 2007. — **28**, N 18. — P. 4183—4190.
 12. Gitelson A. A., Merzlyak M. N. Spectral reflectance changes associated with autumn senescence of *Aesculus hippocastanum* L. and *Acer platanoides* L. leaves. Spectral features and relation to chlorophyll estimation // J. Plant Physiology. — 1994. — **143**. — P. 286—292.
 13. Herrmann I., Pimstein A., Karnieli A., et al. LAI assessment of wheat and potato crops by VENμS and Sentinel-2 bands // Remote Sens. Environ. — 2011. — **115**, N 8. — P. 2141—2151.
 14. Horler D. N. H., Dockray M., Barber J. The red edge of plant leaf reflectance // Int. J. Remote Sens. — 1983. — **4**. — P. 273—288.
 15. Kiang N. Y., Siefert J., Govindjee, Blankenship R. E. Spectral signatures of photosynthesis. I. Review of Earth organisms // Astrobiology. — 2007. — N 7. — P. 222—251.
 16. Ustin S. L., Gitelson A. A., Jacquemoud S., et al. Retrieval of foliar information about plant pigment systems from high resolution spectroscopy // Remote Sens. Environ. — 2009. — **113**. — Supplement 1 (Imaging Spectroscopy Special Issue). — P. S67—S77.
 17. Yatsenko V., Kochubey S., Donets V., Kazantsev T. Hardware software complex for chlorophyll estimation in phytocenoses under field conditions // Proc. of SPIE. — 2005. — **5964**. — P. 267—270.

Надійшла до редакції 11.07.11

G. M. Zhlobak, Z. M. Shportiuk,
O. N. Sibirtseva, S. S. Dugin

STUDY OF VEGETATION RED EDGE INDICES OF REFLECTANCE SPECTRA FOR CROPS OF WINTER WHEAT CULTIVATED IN THE STEPPE ZONE OF UKRAINE

We give some results of spectrometry surveying with ASD FieldSpec®3FR for small-plot crops of the demonstration test site of the elite seminal enterprise «Zoloty Kolos» in the Mykolaiv Region. On the basis of these results, vegetation red edge indices (REP, TCI, NDVI₇₀₅) are calculated for 19 cultivars of hard red winter wheat (*Triticum aestivum* L.) and 4 cultivars of winter durum wheat (*Triticum durum* Desf.). The lowest values of indices are detected for awnless hard red winter wheat var. *lutescens* and the highest ones are seen for winter durum wheat var. *hordeiforme*. We discuss a wide range of oscillations of values for vegetation red edge indices in the case of winter wheat var. *lutescens*.