

УДК 631:659.78:528(075)

М. О. Солоха

Національний науковий центр
«Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О. Н. Соколовського», м. Харків

ДИНАМІКА СПЕКТРАЛЬНОЇ ЯСКРАВОСТІ ПОСІВІВ М'ЯКОЇ ПШЕНИЦІ ЗА ДАНИМИ АЕРОФОТОЗЙОМКИ

На основі аналізу електронних аерофотознімків у видимій частині спектру (380–780 нм) та вимірювань спектральної яскравості (СЯ) посівів ярої пшениці показано можливість оперативної оцінки структурних змін, які відбуваються в рослинах протягом вегетаційного періоду. Етапи онтогенезу, наявність шкідників, забезпеченість вологою обумовлюють структурні зміни фотоелементів рослин (листя, стебла та ін.). Установлено залежність спектральних характеристик сорту рослин від дати зйомки. Показано, що різні СЯ можуть бути застосовані у вирішенні суто таких практичних питань землеробства, як оцінка майбутнього врожаю, санітарного стану сільськогосподарських рослин, потреби в удобренні, оцінка шкоди, завданої рослинам шкідниками. Установлено високу інформативність даних аерофотозйомки для оцінки стану сільськогосподарських рослин завдяки високій роздільній здатності знімку, для якої не було необхідності враховувати оптичну товщу атмосфери за низької (до 100 м) висоти зйомки.

Ключові слова: дистанційне зондування, спектральна яскравість, дистанційно пілотований літаючий апарат (ДПЛА), аерофотозйомка (АФЗ), аерофотознімок (АЗ), сільськогосподарські рослини.

Вступ. Визначення сортів сільськогосподарських рослин, морфофізіологічних змін, які відбуваються з рослинами, ідентифікація сільськогосподарських угідь є найважливішою метою аерокосмічного моніторингу сільськогосподарських земель. Але на цей час космічний моніторинг не має технічної можливості проводити зйомку надвисокої роздільної здатності (менш ніж 20 см). Тому проведення аерофотозйомки з такою роздільною здатністю має доповнити результати космічного моніторингу посівів сільськогосподарських культур.

Складність ідентифікації рослинних об'єктів на різних знімках (як космічних, так і аерофотознімках) полягає в значних змінах, які відбуваються з рослинами у процесі їхнього росту та розвитку. Це зумовлено зміною спектральної яскравості рослинності як у просторі, так і в часі [1]. Велика кількість сортів та видів рослин має схожі спектри яскравості, вбирання та відбиття [2]. Протягом вегетаційного періоду змінюються вміст хлорофілу, структура листа і біомаса рослин. Зміни в оптичному спектрі обумовлені, перш за все, поглинальною можливістю пігментів хлорофілу (a, b, c, d) в області фотосинтетичної активної радіації [1].

У цій статті викладено результати декількох турів аерофотозйомки посівів ярої пшениці з дистанційно пілотованого літаючого апарату (ДПЛА). Мета дослідження – проведення дистанційного вимірювання спектральної яскравості (СЯ) посіву пшениці ярої у польовому модельному досліді за допомогою аерофотознімків та виявлення динаміки процесів, які протікають у рослинах. Діаграми СЯ на основі аерофотозйомки (АФЗ) у перспективі можуть бути використані для створення електронного банку даних СЯ сільськогосподарських рослин залежно від сорту, умов зростання тощо.

Об'єкти, методи та умови досліджень. Дослідження динаміки СЯ посівів пшениці ярої на ділянках модельного дослідження проводили влітку 2011 р. Об'єктом дослідження було поле-полігон «Салівонківське» Інституту цукрових буряків (географічні координати центральної точки-полігону 50.028 N, 30.177 E). Загальна площа полігону складає 87 га. На 36 ділянках було висіяно різні сорти ярої (м'якої) пшениці, як показано на рис. 1.



Рис.1. Аерофотознімок модельного дослідження на полігоні «Салівонківське» з різними сортами ярої пшениці (13.07.2011). Умовні позначення у табл. 1

Вибір цих сортів обумовлений їх широким розповсюдженням на території України, високими характеристиками врожайності, достатньою вивченістю як із фізіологічної, так і з біологічної точки зору [3].

Аерофотозйомку проводили у три етапи: перший тур: 24.05.2011; другий тур – 23–24.06.2011; третій тур – 13–14.07.2011. Реєстрацію спектрів виконували за допомогою фотоапарату Pentax W60, який було встановлено на ДПЛА [4, 5]. Зйомку проводили з 9.30 до 17.00 години, з однієї позиції за обраного напрямку візування (на північ). Кут нахилу фотоапарату змінювався від 0° до 30°. Висота прольоту ДПЛА над модельними дослідженнями коливалася в межах від 80 до 100 м.

Знімки оброблювали з метою визначення значень СЯ за допомогою програмного забезпечення ErdasImage 9.1. Використовували кольорову модель RGB, тобто, СЯ розраховували на базі трьох каналів (Red – червоний, Green – зелений, Blue – синій). Згідно з визначенням В. І. Кравцової [6], КСЯ – це співвідношення між вимірним значенням яскравості й еталоном. Ми залишили значення спектральної яскравості, щоб потім його перерахувати під єдиний еталон з метою створення спектральної бібліотеки.

1. Середнє значення спектральної яскравості сортів ярої пшениці

№ ділянки	Назва сорту	Дати зйомки (2011 р.)			
		13.07	24.06	23.06	25.05
СЯ (Канал R)					
1	2	3	4	5	6
1	Миронівська 65	79,67±2,87	130,67±1,31	127,0±2,48	63,6±1,43
2	Мирхад	71±2,48	98,0±2,48	77,0±2,48	60±2,48
3	Сніжана	72,67±2,87	140,33±1,31	107,33±1,43	60
4	Волошкова	72.0	108,00	66,0±2,48	52,0±2,48
5	Колос Миронівщини	81,67±2,87	123,67±1,31	90,0±2,48	53,3±3,79
1	2	3	4	5	6
6	Калинова	74,00±2,48	129±2,48	92,00	60±2,48
7	Краса поліська	63±2,48	95,67±1,66	66,0±2,48	53,3±1,43
8	Етюд	43,67±1,43	62,67±1,31	39,0±2,48	96,3±1,43
9	Жизель	46,67±1,43	48±2,48	39,00	87,6±1,43
10	Елегія Миронівська	67,67±1,43	58±1,76	33,67±1,43	82,6±1,43
11	Колективна	45,67±6,25	47,67±1,31	58,67±5,17	78,0±2,48
12	Сюїга	48,67±1,43	71,00	30,67±3,79	80,0±2,48
13	Лісова пісня	71.0	59,67±1,31	23,67±3,79	80
14	Царівна	105,67±1,43	98,67±1,31	45,33±1,43	52,0±2,48
15	Елегія	102.0	127,0±2,48	55,00±2,48	67,0±2,48
16	Олеся	80,67±1,43	124,0±2,48	65,33±1,43	58,0±2,48
17	Аналог	73.0	121,00	67,00±2,48	63,67±2,87
18	Бенефіс	104,33±1,43	121±2,48	79,67±1,43	56
19	Артеміда	84,67±1,43	133,3±1,31	75,00±2,48	60,0±2,48
20	Столична	88,67±1,43	114,0±2,48	66,00	56,0±2,48
21	Поліська 90	79,67±1,43	141,33±1,31	79,0±2,48	56,3±2,87
22	Розкішна	105,0±2,48	109,0±2,48	55,0±2,48	56,6±3,79
23	Гордовита	90,67±3,79	152,3±5,03	81,67±3,79	61,3±1,43
24	Альянс	91.0	149,0±2,48	88,67±1,43	58
25	Досконала	104,0±2,48	159,33±3,75	103,67±2,87	59,3±1,43
26	Василина	113,33±1,43	135,33±3,75	84,67±1,43	52,3±1,43
27	Вікторія Одеська	90,67±3,79	143,00	78,33±1,43	51,0±2,48
28	Сирена Одеська	120,67±1,43	156,33±3,75	79,67±1,43	57,3±1,43
29	Писанка	116.0	152,0±4,97	82,00	56,0±2,48
30	Вдала	113.0	145,67±1,31	97,0±2,48	61
31	Землячка	127,33±1,43	148,67±0,83	105,67±1,43	60
32	Антонівка	114,67±1,43	178,0±2,48	125,0±2,48	59,0±2,48
33	Місія Одеська	123,33±1,43	141,0±2,48	100,67±1,43	56,6±1,43
34	Благодарка Одеська	110,33±1,43	110,0±2,48	112,0±2,48	57,6±2,87
35	Епоха Одеська	108,33±1,43	108,00	86,0±2,48	59,6±2,87
36	Технологічна ділянка				

Аналіз знімку має виконуватися за таким алгоритмом: завантаження знімку з фотоапарату та його наступне перетворення в меню Viewer (шляхом підсилення контрастності знімку), і завантаження перетвореного знімку в меню спектральної обробки знімку. Встановлення СЯ проводили за допомогою статистичних методів.

Результати. Деякі дослідники [2] відмічають високу інформативність

інфрачервоного каналу та використовують його найчастіше у практичних дослідженнях. Здобутий досвід засвідчив, що за допомогою аерофотознімків у діапазоні довжин хвиль 380–780 нм (оптичний діапазон) за надвисокої роздільної здатності можна спостерігати фізіологічні та морфологічні зміни рослин. Так, у межах 500–565 нм (канал G) відзначено найбільші зміни хлорофілу впродовж вегетаційного періоду, які суттєво залежать від хлорофілу «а» [2]. Слід погодитись з А. Ф. Сидько та ін. [2], що зміна вмісту азоту у фотоелементах посівів ярої м'якої пшениці пов'язана, перш за все, з умістом хлорофілу. Зміни вмісту хлорофілу і азоту спостерігаються також у червоному діапазоні (R). На рис. 2 показано зміни СЯ сортів ярої пшениці протягом вегетаційного періоду. Проведення туру зйомки 24.05 дозволило розпізнати сорти пшениці за фазами фізіологічного розвитку (фаза цвітіння) та показниками якості зростання (проективне покриття знімку в межах дослідів $95 \pm 1,5$).

Установлено, що такі сорти, як «Етюд», «Жизель», «Елегія Миронівська», «Колективна», «Сюїта» і «Лісова пісня» відстають у зростанні від інших сортів ($p \approx 60$) та, як наслідок, мають більш високу СЯ ($p \approx 78-96$) на момент зйомки.

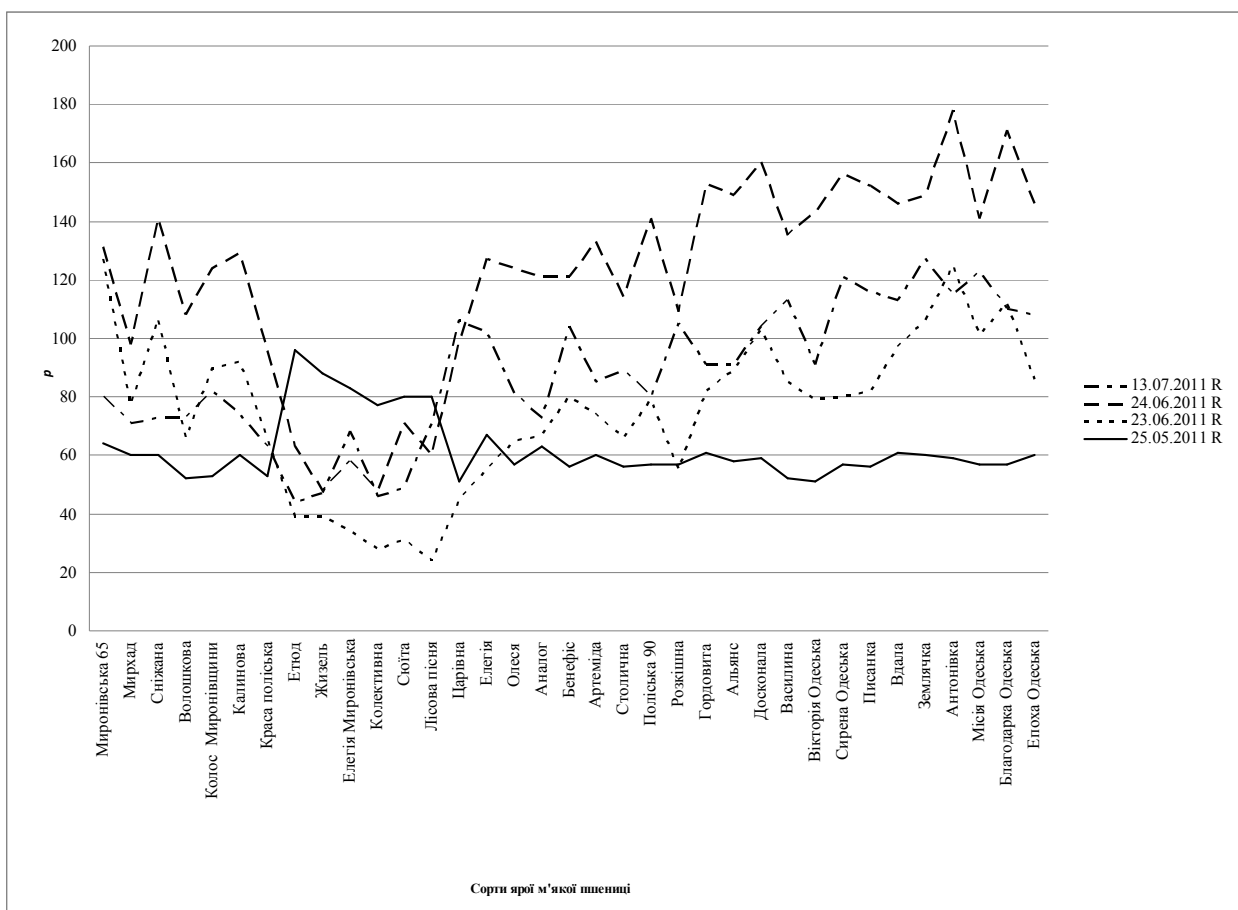


Рис. 2. Динаміка спектральної яскравості (СЯ, канал R) сортів ярої м'якої пшениці

Згідно з нашими спостереженнями, зміна хлорофілу коливається навіть протягом однієї доби. Щоб підтвердити, це АФЗ планово проводили 23.06 і 24.06 одразу після дощу (за добу випало 15,8 мм), о 13 годині. Тобто за добу змінилися суха маса рослин та листковий індекс [1]. СЯ 24.06 в цілому повторює коливання

23.06, крім декількох невеликих згладжувань. Так, сорти «Жизель» і «Миронівська» не повторюють коливання попередньої дати зйомки, бо знаходяться в мікрорельєфному пониженні, яке на момент зйомки (24.06) було зволожено. Пшениця в пониженні була перезволожена, що завадило їй зростати згідно з відповідною фізіологічною фазою.

Аналіз результатів третього туру зйомки (23–24.07.2011) підтверджує висновки попередніх досліджень щодо зниження СЯ, починаючи з середини липня. У цей період спостерігається різке зниження на графіку, навіть іноді нижче травневого рівня, СЯ таких сортів, як «Краса поліська», «Етюд», «Жизель», «Елегія Миронівська», «Колективна», «Сюїта», бо вони мають довший період фази колосіння.

Таким чином, визначено, що зміна СЯ відбувається протягом вегетаційного періоду, причому кожний сорт пшениці має певні фізіологічні особливості (власну динаміку СЯ). Якщо використати ці особливості як індикаторні, то існує можливість розпізнавання та діагностики стану сортів під час оперативного моніторингу шляхом АФЗ.

Факти залежності СЯ від фізіологічних характеристик рослини (суха та волога маса, листовий індекс з одиниці площі, що вивчається) описані в роботах [3, 6] та частково (рослини індикатори) підтверджуються нашими дослідженнями.

Аналіз рис. 2 свідчить, що ті сорти, які мали 25.05 високу СЯ $p = 80-100$ («Етюд», «Жизель», «Елегія Миронівська»), поступово знижували СЯ, зростало вбирання фотоактивної радіації (ФАР) по мірі накопичення хлорофілу. Спостерігалось різке зниження СЯ після дощу (рис. 2), потім підвищення СЯ. Факт різкої зміни СЯ ще потребує додаткового дослідження та обґрунтування змін, що протікають у цей момент у рослинах. А. Ф. Сидько та інші [1] пояснюють цей факт, зменшенням умісту хлорофілу в рослинах (руйнування хлорофілу як пігменту). Наприкінці вегетаційного періоду, хлорофіл у рослинах практично відсутній, що відображається на знімку (рис. 1). Тобто ці сорти мають більш довгий період вегетації та більш пізній її початок.

Проаналізувавши СЯ (рис. 2) стверджуємо, на прикладі ярої м'якої пшениці, що найбільш інформативним є канал R. По-перше, тільки в червоному каналі спостерігаються найбільші зміни, у період, коли коливається волога в ґрунті, бо на цей канал припадає одна з зон поглинання води, зміни в інших каналах неінформативні, тому не брались до уваги.

Зазначимо, що динаміка СЯ посівів ярої пшениці дозволяє фіксувати зміни у фотоелементах (листках) цієї культури. Зафіксовані зміни СЯ після опадів, дозволяють припустити, що в період активного росту накопичення хлорофільних зерен також залежить від опадів. Тому проводити тури зйомки після опадів з метою визначення СЯ нераціонально.

Характер зміни СЯ залежить від факторів, які можуть впливати на фізіологію рослини, на її листову масу. Це можуть бути шкідники, опади, антропогенний фактор (застосування добрив). АФЗ у видимому діапазоні надає можливості проведення моніторингу на якісно новому рівні, якщо проводити його з використанням мікробезпілотної авіації.

Висновки. СЯ посівів пшениці ярої змінюється залежно від періоду вегетації

та умов зволоження і різко збільшується (на декілька десятків одиниць у каналі R) одразу після опадів. Аналіз динаміки СЯ дозволяє розпізнавати сорти пшениці ярої та ступінь їхнього дозрівання.

Бібліографічний список: 1. ГИС-ЛАБ. Спектральные библиотеки – источники данных по спектрам. – 2012 р. – С. 1–10. – [Електронний ресурс]. Режим доступу до журналу: <http://gis-lab.info/qa/spectrum-lib.html>. 2. Сидько А. Ф. Исследование динамики спектральной яркости посевов сельскохозяйственных культур в период вегетации на территории Красноярского края / А. Ф. Сидько, И. Ю. Пугачева, А. П. Шевырнов // Доклады АН. – 2008. – Т. 419, № 3. – С. 417–420. 3. Терехин Э. А. Информативность спектральных вегетационных индексов для дешифрирования сельскохозяйственной растительности / Э. А. Терехин // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. – Т. 9, № 4. – С. 243–248. Режим доступу до журн.: d33.infospace.ru/d33_conf/sb2012t4/243-248.pdf. 4. Солоха М. О. Моніторинг нерівностей поля на основі аерофотозйомки з дистанційно пілотованого літального апарату (ДПЛА) / М. О. Солоха // Вісник аграрної науки. – 2011. – Вип. 6(698). – С. 37–38. 5. Солоха М. О. Аерофотозйомка з дистанційно керованого літального апарату (ДПЛА), як основа точного землеробства / М. О. Солоха // Таврійський наук. зб. – 2010. – Вип. 71. – С. 41–45. 6. Кравцова В. І. Космические методы исследования почв / Валентина Ивановна Кравцова. – М.: Аспект Пресс, 2005. – С. 9–11.

М. О. Солоха

ДИНАМИКА СПЕКТРАЛЬНОЙ ЯРКОСТИ ПОСЕВОВ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ ПО ДАННЫМ АЕРОФОТОСЪЕМКИ

На основе анализа электронных аэрофотоснимков в видимой части спектра (380–780 нм) и измерений спектральной яркости (СЯ) посевов пшеницы показана возможность оперативной оценки структурных изменений, происходящих в растениях в течение вегетационного периода. Этапы онтогенеза, наличие вредителей, обеспеченность влагой обуславливают структурные изменения фотозлементов растений (листья, стебли т.д.). Установлена зависимость спектральных характеристик сорта растений от даты съемки. Показано, что различные СЯ могут быть применены в решении сугубо практических вопросов земледелия, таких как оценка будущего урожая, санитарного состояния сельскохозяйственных растений, потребности в удобрении, оценка ущерба, причиненного растениям вредителями. Установлена высокая информативность данных аэрофотосъемки для оценки состояния сельскохозяйственных растений благодаря высокому разрешению снимка, для которой не было необходимости учитывать оптическую толщину атмосферы при низкой (до 100 м) высоте съемки.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, спектральная яркость, дистанционно пилотируемый летательный аппарат (ДПЛА), аэрофотосъемка (АФЗ), аэрофотоснимок (АС), сельскохозяйственные растения.

М. О. Solokha

DYNAMICS OF SPECTRAL BRIGHTNESS OF SOFT WHEAT SOWING ON THE BASIS OF FINE-SCALE AERIAL PHOTOGRAPHY

The analysis of electronic airphotos is conducted in visible part of spectrum (380–780 nm). Measuring coefficients of spectral brightness (CSB) of wheat sowing are conducted. Possibility for estimation of structural changes which take place in plants during a vegetation period is rotined. Stages of ontogenesis, presence of wreckers, material well-being by moisture, the structural changes of photocells of plants stipulate. Connection spectral descriptions, sort of plants and different CSB is set from the date of survey. It is rotined that different CSB can be applied in the decision of especially practical questions of agriculture. High authenticity information (aerial photography) is set, for lack of necessity of atmospheric correction and cloudiness.

Keywords: remote sensing, spectral coefficient of brightness, Unmanned aerial vehicle (UAV), aerial photography, airphoto, agricultural plants.