

УДК 631.81:631.821; 155.5  
© 2013

*Т.В. Ільєнко*

*Інститут агроєкології  
і природокористування  
НААН*

*\* Науковий керівник —  
академік НААН  
О.Г. Тараріко*

## **МОДЕЛЮВАННЯ ВМІСТУ ВОЛОГИ В РОСЛИНАХ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ ЗА СУПУТНИКОВИМИ ДАНИМИ\***

*Розглянуто можливість використання даних космічного знімання радіометра MODIS супутників Terra і Aqua для визначення вологовмісту рослин пшениці озимої. За супутниковими даними розраховано вегетаційні індекси. Показано, що найкращу кореляцію з кількістю гігроскопічної вологи в зеленій масі рослин має нормалізований різницею водний індекс. Проведено моделювання вологовмісту і отримано емпіричні залежності між оптичними характеристиками пшениці озимої і вологовмістом її зеленої маси.*

**Ключові слова:** вологовміст, гігроскопічна волога, супутникові знімки, вегетаційний індекс, моделювання, регресійний аналіз.

Стан вологозабезпеченості сільськогосподарських культур є дуже важливим для їх розвитку та формування врожаю. Вміст води в рослинах, або ступінь вологовмісту характеризує їхній фізіологічний стан і має велике значення під час оцінки якості врожаю сільськогосподарських культур. Глобальні зміни клімату в світі спричиняють перебудову глобальних процесів перенесення тепла та вологи на всіх континентах, що характеризується різким збільшенням природних катаклізмів, зокрема посух, і впливає на стан вологозабезпеченості сільськогосподарських територій [8]. Вологовміст зеленої маси рослин досить добре відображає умови їх ґрунтового вологозабезпечення [5] і може бути використаний як критерій функціонального стану рослин за умов гідротермічного стресу [6].

Наявні методи визначення стану вологозабезпеченості сільськогосподарських територій [4] не дають змоги оперативно його оцінювати та контролювати через дискретність вимірювань у просторі та часі. Саме тому актуальною є розробка нових методів виявлення посух із застосуванням сучасних геоінформаційних технологій і дистанційного зондування Землі з космосу (ДЗЗ), які є підставою для корегування агротехнології в напрямі оптимізації умов вологозабезпеченості.

Значний прогрес у використанні матеріалів ДЗЗ для визначення стану і моделювання продуктивності сільськогосподарських культур було досягнуто за останні два десятиріччя [1–3, 7, 9–14]. Зокрема було показано вплив на-

воднення рослин на їх спектральну відбивну здатність [1].

**Мета досліджень** — виявлення емпіричних залежностей між оптичними характеристиками пшениці озимої і вологовмістом її зеленої маси.

**Матеріали та методи досліджень.** В основі досліджень — матеріали експериментальних робіт у межах території Миронівського району Київської області і Канівського району Черкаської області 6–7.04.2012 р. та мультиспектральних космічних знімків радіометра MODIS супутників Terra і Aqua в каналах: 0,62–0,67 мкм (1, червоний); 0,841–0,876 мкм (2, ближній інфрачервоний); 0,545–0,565 мкм (4, зелений); 1,23–1,25; 1,628–1,652; 2,105–2,155 мкм (відповідно 5, 6, 7, середні або короткохвильові інфрачервоні канали), тематичні картографічні матеріали.

Етапи дослідження включали відбір рослинних зразків безпосередньо в польових умовах за вибірковою мережею, проведення лабораторних досліджень з визначення кількості гігроскопічної вологи (вологовмісту, %) в пшениці озимій, відбір безхмарних супутникових знімків відповідно до термінів експериментальних робіт, розрахунок за ними вегетаційних і водних індексів, вибір індексу з найкращою кореляцією з даними наземних досліджень, моделювання вологовмісту.

Відповідно до термінів експериментальних робіт з бази даних GLOWIS, було відібрано 3 безхмарних супутникових знімки за 4, 5 та 11.04.2012 р., для яких з переліку продуктів Modis було обрано продукти MOD09GA,

**Коефіцієнти парної кореляції між значеннями кількості гігроскопічної вологи та водного індексу  $ndwi6$**

Дані	Апроксимація	
	лінійна	поліноміальна
Спосіб розрахунків:		
1-й	0,428	0,431
2-й:		
Лінійна апроксимація	0,98	0,987
Поліном 2-го порядку	0,834	0,873
» 3-го порядку	0,812	0,938

MYD09GA (просторове розрізнення — 500 м), оскільки в ці типи продуктів входять зазначені вище канали.

За отриманими даними розраховано водні індекси як їх математичні комбінації:

1) нормалізований різницевий водний індекс (Normalized differential water index) [11]  
 $ndwi5 = (b2 - b5) / (b2 + b5)$ ;  $ndwi6 = (b2 - b6) / (b2 + b6)$ ;  $ndwi7 = (b2 - b7) / (b2 + b7)$ ;

2) індекс водного стресу (Moisture stress index); [12]

$msi5 = b5 / b2$ ;  $msi6 = b6 / b2$ ;  $msi7 = b7 / b2$ ,

де  $b2$ ,  $b5$ ,  $b6$ ,  $b7$  — відповідно 2-, 5-, 6-, 7-й канали радіометра MODIS супутників Terra і Aqua.

**Результати досліджень.** Було виконано перевірку кореляції кількості гігроскопічної вологи за даними наземних обстежень і водних індексів, отриманих за даними аерокосмічного знімання з низьким просторовим розрізненням. Кореляційний аналіз свідчить, що найбільші значення коефіцієнтів кореляції ( $r$ ) спостерігаються за даними знімання на 5.04 для групи індексів  $ndwi$  ( $r_{ndwi6} = 0,428$ ,  $r_{ndwi7} = 0,42$ ) та  $msi$  ( $r_{msi6} = -0,426$ ,  $r_{msi7} = -0,40$ ) порівняно із 4.04.2012 р. ( $r_{ndwi7} = 0,358$ ,  $r_{ndwi6} = 0,356$  та  $r_{msi7} = -0,347$ ,  $r_{msi6} = -0,342$ ). Для подальшої математико-статистичної обробки було обрано індекс з найкращою кореляцією  $ndwi6$  за 5.04.2012 р.

Моделювання значень вологовмісту на основі водних індексів проводили на основі регресійного аналізу. Реалізацію цього аналізу здійснено двома підходами [9]: методом прямої регресії, за яким дані використовувались безпосередньо, без будь-якої попередньої обробки; методом, який передбачає попередню обробку вхідної інформації, наприклад, її фільтрацію чи згладжування з подальшою регресією.

Для обрахування регресії було використано результати прямої апроксимації даних, отрима-

них на дату супутникового знімання 5.04.2012 р. Рівняння регресій, отримані за першим підходом, мають вигляд: лінійна регресія —  $V1 = 9,6298x + 82,008$ ; поліноміальна —  $V1 = -7,6162x^2 + 6,9566x + 81,8843$ , де  $V1$  — розраховані за першим підходом математичної обробки значення кількості гігроскопічної вологи на основі водного індексу  $ndwi6$ ;  $x$  — індекс  $ndwi6$ .

За другим підходом проводиться попереднє згладжування вхідних даних, що дає змогу відфільтрувати систематичні та випадкові похибки. Після ранжування даних  $ndwi6$  було відфільтровано ті значення, які дають найбільші похибки, в результаті чого кореляція становила  $r = 0,748$ , порівняно з наведеним вище  $r_{ndwi6} = 0,428$ .

Наступним етапом було згладжування отриманих на попередньому етапі даних. Вивчали 3 варіанти згладжування: 1) апроксимацію лінійну:  $0,0236x - 0,3828$ ; 2) поліномом 2-го порядку:  $0,0036x^2 - 0,027x - 0,2562$ ; 3) поліномом 3-го порядку:  $0,0005x^3 - 0,0072x^2 + 0,038x - 0,3427$ .

Рівняння регресій, отримані 2-м способом математичної обробки даних на 5.04.2012 р., для трьох наведених вище варіантів мають вигляд:

1-й варіант — апроксимація: лінійна —  $V2 = 0,2812x + 0,8518$ ;

поліноміальна —  $V2 = -0,3334x^2 + 0,1361x + 0,8387$ ;

2-й варіант — апроксимація: лінійна —  $V2 = 0,2144x + 0,8375$ ;

поліноміальна —  $V2 = -0,8267x^2 - 0,0643x + 0,824$ ;

3-й варіант — апроксимація: лінійна —  $V2 = 0,2258x + 0,842$ ;

поліноміальна —  $V2 = -1,5626x^2 - 0,2823x + 0,8201$ ,

де  $V2$  — розраховане за 2-м способом значення вологовмісту. Якість проведеного моделю-

вання можна оцінити за значеннями коефіцієнтів кореляції між показниками кількості гігроскопічної вологи та водного індексу  $ndwi6$ . Най-

кращу кореляцію (0,98; 0,987) отримано за 2-го способу розрахунків за лінійної апроксимації відфільтрованих вхідних даних (таблиця).

## Висновки

Отримані результати експериментів з використання матеріалів космічного знімання низької роздільної здатності (500 м) радіометра MODIS супутників Terra, Aqua засвідчили можливість їх використання під час моделювання вологовмісту в рослинах пшениці озимої. Найкращу кореляцію з кількістю гіг-

роскопічної вологи має водний індекс  $ndwi6$ . Важливим інструментом моніторингу стану вологозабезпечення посівів зернових культур є матеріали космічного знімання. Отримані результати можна використати в процесі корегування агротехнології впродовж вегетації, зокрема у разі зміни погодних умов.

## Бібліографія

1. Антоненко В.С. Агрометеорологічний моніторинг посівів сільськогосподарських культур в Україні аерокосмічними засобами (теоретичне обґрунтування, методи реалізації): автореф. дис. на здобуття наук. ступ. д-ра географ. наук. — Одес. держ. екол. ун-т. — Одеса, 2002. — 32 с.
2. Власова О.В. Використання дистанційного зондування Землі для оцінки стану зрошуваних земель/О.В. Власова//Меліорація і водне господарство: міжвід. темат. наук. зб. — Вип. 92. — К.: Аграр. наука, 2005. — С. 36–41.
3. Войнов О.А. Моніторинг состояния агроценозов аэрокосмическими методами/О.А. Войнов. — К., 2004. — 392 с.
4. Гридасов В.Ф. Оценка влагообеспеченности сельскохозяйственных культур с помощью агрогидрологических свойств почв/В.Ф. Гридасов//Труды ВНИИСХМ. — Вып. 33. — СПб.: Гидрометеиздат, 2000. — С. 178–184.
5. Емельянов Л.Г. Водообмен и стресс-устойчивость растений/Л.Г. Емельянов, С.А. Анкуд. — Минск: Наука и техника, 1992. — 144 с.
6. Зайцева І.О. Моделювання стану оводненості тканин листків різних за посухостійкістю деревних рослин/І.О. Зайцева//Наук. доповіді НУБІП, 2010-2 (<http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nd/2010-2/10ziodd.pdf>)
7. Ільєнко Т.В. Застосування супутникових та наземних даних для визначення евапотранспірації на прикладі степової зони України/Т.В. Ільєнко//Агро-еколог. журн. — 2009, червень. — Спеціальний випуск. — С. 122–126.
8. Ромащенко М.І., Собко О.О., Савчук Д.П., Куль-

біда М.І. Про деякі завдання аграрної науки у зв'язку зі змінами клімату. Наукова доповідь-інформація/М.І. Ромащенко, О.О. Собко, Д.П. Савчук, М.І. Кульбіда. — К.: Ін-т гідротехніки і меліорації УААН, 2003. — 46 с.

9. Сиротенко О.В. Моделювання посівів озимої пшениці за даними космічного знімання сканером «МСУ-Э» штучного супутника Землі «Метеор-3М»/О.В. Сиротенко, В.М. Чернін//Проблеми статистики: 36. наук. праць. — К.: ВЦ Держкомстату України, 2005. — Вип. 7. — С. 249–253.

10. Bastiaanssen W.G.M. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL), part 1: formulation/W.G.M. Bastiaanssen, A. Menenti, R.A. Feddes, and A.A.M. Holtslag//Journal of Hydrology, 1998. — P. 198–213.

11. Gao B. NDWI—a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space/B. Gao//Remote Sensing of Environment, 1996. — 58. — P. 257–266.

12. Hunt E.R. Detection of Changes in Leaf Water Content Using Near- and Middle-Infrared Reflectances/E.R. Hunt, B.N. Rock//REMOTE SENS. ENVIRON. — 1989. — 30. — P. 43–54.

13. Kogan F.N. Vegetation index for areal analysis of crop conditions/F.N. Kogan/Preprints, Proc. 18th Conf. Of Agricultural and Forest Meteorology, West Lafayette, IN, Amer. Meteor. Soc., 1987. — P. 103–107.

14. Lui W.T., Kogan F.N. Monitoring regional drought using the vegetation condition index/W.T. Lui, F.N. Kogan//International Journal of Remote Sensing. — 1996. — 17. — P. 2761–2782.

Надійшла 3.09.2013.