



ISSN 2411–6602 (Online)

ISSN 1607–2855 (Print)

Том 15 • № 2 • 2019 С. 33 – 37

<https://doi.org/10.18372/2411-6602.15.06>

УДК 528.94 : 004

Особливості використання супутникових даних для визначення вологості ґрунтового покриття

Л.В. Гебрин-Байди, О.О. Железняк

Національний авіаційний університет, 03058, м. Київ, пр. Космонавта Комарова, 1

Удосконалено процес визначення та оцінювання показника вологості ґрунту на основі обробки мультиспектральних космічних зображень і проведення відповідних математичних обчислень за даними яскравостей спектральних каналів. Обґрунтовано застосування нормалізованого водного індексу NWI, що розраховується за даними мультиспектральної космічної зйомки на основі нормованої різниці спектрального відбиття у короткохвильовій інфрачервоній смузі спектра. Визначено доцільність застосування короткохвильових інфрачервоних каналів для моніторингу ділянок зволоження поверхневого шару ґрунту під час вирішення агротехнічних проблем.

Ключові слова: дистанційне зондування Землі; вологість; супутниковий знімок; вегетаційний індекс; математична модель.

1. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Вода є одним з основних елементів родючості ґрунтів. Максимальний врожай сільськогосподарських культур отримують лише за оптимальної кількості вологи в ґрунті. Вода необхідна рослинам протягом всього періоду життя: для набухання насіння, для різних біохімічних процесів в рослинних клітинах, для проходження стадії розвитку, для транспірації, для розчинення в ґрунті поживних речовин, які потім потрапляють в рослини, для регулювання температури ґрунту [2, 3]. Погодні умови, зрошення, осушення також мають важливе значення при оцінюванні вологості ґрунтів, проте фізичні властивості ґрунтів, а саме структурність та механічний склад, відіграють особливу роль у регулюванні водно-фізичних властивостей ґрунтів. Такі характеристики визначають не тільки загальний запас води у ґрунті в умовах конкретної ландшафтно-ї зони, але і визначають ступінь рухомості та швидкості процесу водообміну. Вплив механічного складу ґрунту проявляється в тому, що піщані ґрунти висихають швидко, втрачаючи воду через випаровування, вони не утримують стільки води, скільки суглинкові та глинисті. Значний вплив на вміст води в ґрунті виявляє характер поверхні ґрунту. Чим рівніша поверхня ґрунту, тим менше вона випаровує води, тоді як поверхня після оранки випаровує значно більше вологи [4]. Під вологістю ґрунту розуміють вміст в його порах та тріщинах певної кількості води. Уся вода, яка є в ґрунтовій породі в природних умовах, називається природною вологістю ґрунту. Здебільшого, ґрунтову вологість виражають відношенням ваги води, яка вміщується в породі, до ваги сухої породи (вагова вологість) у відсотках.

Для проведення ефективного моніторингу вологості ґрунтового покриття найкраще застосовувати методи дистанційного зондування Землі. Особливості мультиспектральних космічних зйомок полягають у тому що, по-перше, є можливість проводити класифікацію ґрунтової поверхні на основі даних спектрального відбиття в різних каналах зйомки, що дозволяє при виділенні відповідних класів оцінювати зволоженість земного покриття та виконувати узагальнену оцінку інтенсивності процесів забезпечення вологоємності. По-друге, мультиспектральна зйомка надає можливість обчислювати різні індексні значення та математичні показники, особливо так звані водні індекси, які визначаються на основі спектрального відбиття у видимій та інфрачервоній ділянках електромагнітного випромінювання, що чутливі до зволоженості земної поверхні. Таким чином, це може використовуватись для оцінювання загальної вологості ґрунту, для характеристики вологоємності, встановлення западин мікрорельєфу, перезволоженості та надмірної осушеності [1].

2. АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для оцінювання вологості ґрунтів різних ландшафних зон Закарпаття було проаналізовано матеріали дослідження за 2013 рік. Велика кількість досліджень свідчить про досить обґрунтовані передумови використання на різних етапах оцінювання вологості ґрунтів даних сучасних космічних зйомок у різних діапазонах електромагнітного спектра [1, 3]. А саме у видимому, інфрачервоному та мікрохвильовому діапазонах, що дає змогу виділити та оконтурити зони живлення та розвантаження підземних вод.

* Гебрин-Байди Лілія Василівна; ✉ liliya.gebrinbaydi@gmail.com

Тематична обробка космічних знімків дозволяє виявити ландшафтні зони для оцінки значень складових вологості ґрунту та водного балансу. Запропоновані методичні підходи на основі використання мультиспектральної космічної зйомки суттєво доповнюють традиційне ландшафтне та структурне дешифрування матеріалів, отриманих під час наземних методів [4].

На основі використання розрахункових методів можливим є визначення осередків перезволоження та надмірної вологості ґрунтового покриву на території різних ландшафтних зон Закарпаття [3]. Дешифрування матеріалів супутникових зйомок з метою оцінювання вологості ґрунтувалось в основному на апіорному аналізі з використанням деяких компонентів ландшафту, які виявляються на космічних знімках, — це і рослинність, рельєф, гідромережа, які формуються безпосередньо під впливом загальної вологості ґрунту.

3. ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Представлено підхід для оцінювання зволоженості ґрунтового покриття, що базується на застосуванні різних нормово-різницевого водних індексів. У статті розглянуто та застосовано вже існуючі різні водні індекси, чутливі до зволоженості ґрунтової поверхні, зокрема, індекс NDWI (Normalized Difference Water Index), запропонований B.Gao [7]:

$$NDWI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}, \quad (1)$$

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR}. \quad (2)$$

Розглянуто та застосовано індекс NWI (Normalized Water Index), який у роботі M.Griffin пропонується для ідентифікації снігового покриву і називається NDSI (Normalized Difference Snow Index) [8].

Проаналізовано та застосовано нормовано-різницевого водний індекс, який базується на використанні зеленого (Green) та середнього інфрачервоного (SWIR) каналу, що у роботі О.Сахацького рекомендований для оцінювання вмісту вологи у верхньому шарі відкритого ґрунту [4, 5]:

$$NWI_{Green-SWIR1} = \frac{Green - SWIR1}{Green + SWIR1}. \quad (3)$$

Проте в отриманих результатах внаслідок застосування формули (1), що запропонував О.Сахацький, прослідкована інша інтерпретація зображень. Таким чином, на отриманому за розрахунком $NWI_{Green-SWIR1}$ зображенні (рис. 1) більш зволожені місця виглядають темнішими осередками, а не світлішими, і в даному випадку темні плями на зображенні в межах полів відповідають западинам мікрорельєфу, що визначено як перезволожені. Для більш яскравої інтерпретації побудовано зображення (рис. 1, г) методом неконтрольованої класифікації. Для додаткового підтвердження було побудовано значення вегетаційного індексу NDVI, який для водних об'єктів набуває від'ємних значень.

Для оцінювання вологості ґрунтів на основі водних індексів було розраховано та побудовано видозміни індексів із застосуванням SWIR1 (1,560–1,650 мкм) та інших спектральних каналів, таких як Red (0,630–0,680 мкм), NIR (0,845–0,885 мкм), Blue (0,450–0,510 мкм) [9, 10].

Для оцінювання кількісного статистичного лінійного зв'язку між значеннями водних індексів та вмістом вологи в поверхневому шарі відкритого ґрунту (0–0,1 м), згідно з відповідними метеоумовами на час зйомки (8.03, 24.03, 9.04, 2.10, 3.11.2013) виконана оцінка статистичної лінійної кореляційної залежності між значеннями вологості у певних точках на моніторингових ділянках низовинної, передгірської та гірської ландшафтних зон (показники природної вологості ґрунтів Закарпатської області надані Басейновим управлінням водних ресурсів р. Тиса Державного агентства водних ресурсів України) [6] та значеннями пікселів, що відповідали точкам опробування:

$$NWI_n = aW + b, \quad (4)$$

де NWI_n — індекс вологості, n — відповідне співвідношення каналів, W — відсоток природної вологи у ґрунті, a та b — параметри моделей.

Отримано розрахункові значення водних індексів та коефіцієнтів кореляції R , довірчі інтервали та значимість моделі (табл. 1). Критерієм оцінки точності виступав розрахунок середнього квадратичного відхилення

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-2} \sum_{i=1}^N ((aW_i + b) - (NWI_n)_i)^2}. \quad (5)$$

У процесі дослідження спостерігалась найтісніша регресійна статистична лінійна залежність з коефіцієнтами кореляції $R = -0,51$ та $R = -0,50$, довірчими інтервалами $r_1 = -0,77$ та $r_2 = -0,09$, значимістю коефіцієнта кореляції $|t| = 2,54 > 2,09_{19;0,05}$ та $|t| = 2,50 > 2,09_{19;0,05}$ при довірчій ймовірності $P = 0,95$ та рівні значимості $\alpha = 0,05$ та середнім квадратичним відхиленням $\sigma = 0,04$ між значенням показника водного індексу, що обчислений з використанням середнього інфрачервоного каналу, та відсотковим вмістом природної вологи у поверхневому шарі ґрунту (0–0,1 м) у жовтні та листопаді 2013 р. (рис. 2).

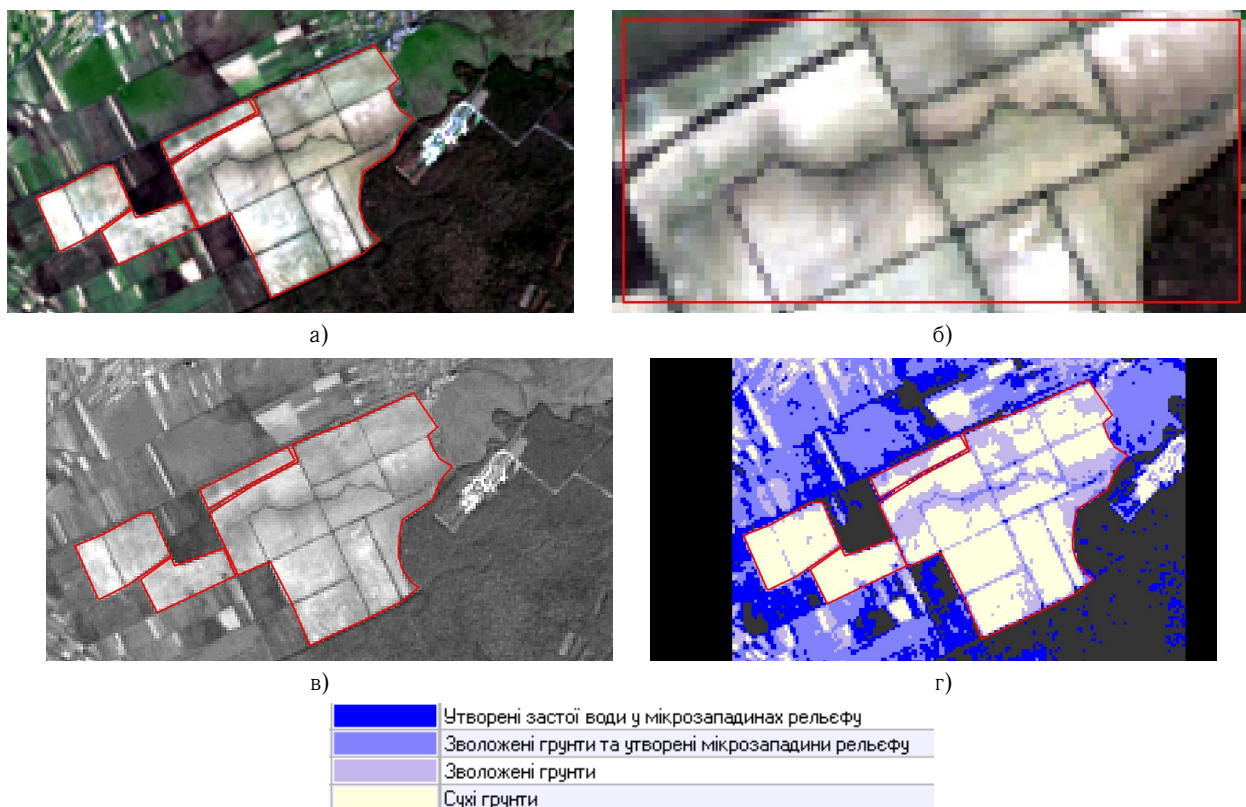


Рис. 1. Моніторингова ділянка Гать, Берегівський р-н Закарпатська область: *а* — фрагмент космічного знімка супутника Landsat 8 OLI (24.03.2013), загальний вигляд МД, синтезоване зображення за RGB 2:3:4; *б* — збільшене зображення полів на знімку, де спостерігаються западинні форми мікрорельєфу; *в* — побудоване зображення індексу $NWI_{Green-SWIR1}$, формула (3); *г* — побудоване зображення методом неконтрольованої класифікації

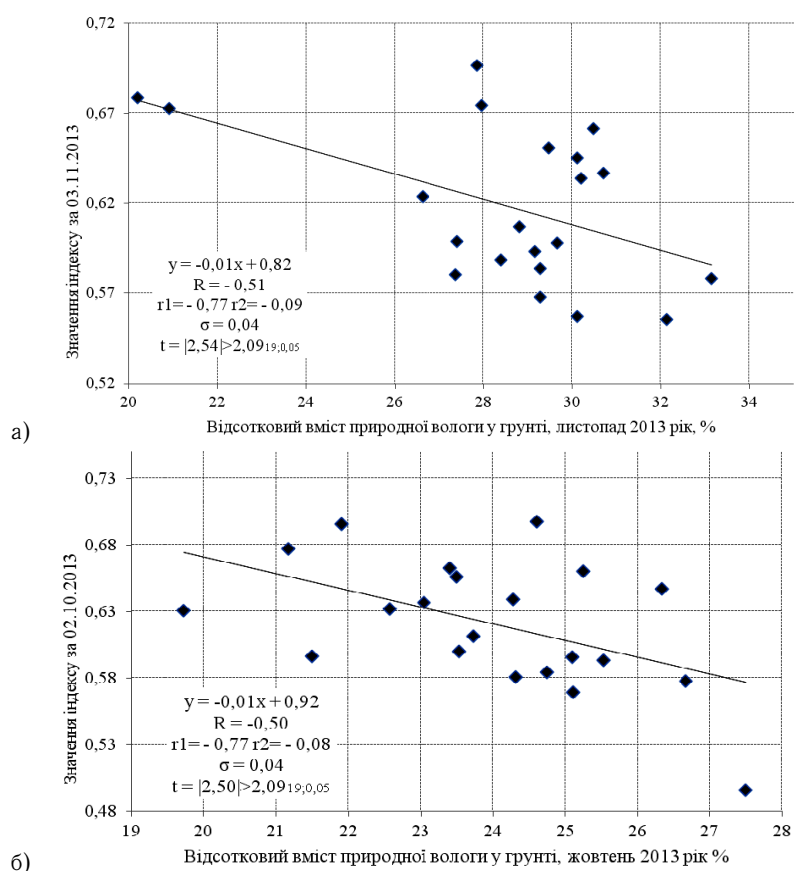


Рис. 2. Результати кількісного зв'язку між водним індексом $NWI_{SWIR1-SWIR2}$, що використовує середній інфрачервоний канал, та наземним вмістом природної вологи в поверхневому шарі ґрунту за даними супутникового знімання Landsat 8 OLI: *а* — 03.11.2013, *б* — 02.10.2013

Таблиця 1. Розраховані коефіцієнти кореляції згідно з формулою та датою дослідження

Водні індекси	Коефіцієнти кореляції згідно з датою дослідження				
	08.03	24.03	09.04	02.10	03.11
$NWI_{NIR-SWIR1} = \frac{NIR - SWIR1}{NIR + SWIR1}$	0,18	0,32	0,10	-0,11	-0,39
$NWI_{Blue-NIR} = \frac{Blue - NIR}{Blue + NIR}$	0,09	0,15	0,06	0,02	0,23
$NWI_{Green-SWIR1} = \frac{Green - SWIR1}{Green + SWIR1}$	0,40	0,36	-0,13	-0,12	0,23
$NWI_{Red-SWIR1} = \frac{Red - SWIR1}{Red + SWIR1}$	0,46	0,32	-0,11	0,05	0,04
$NWI_{SWIR1-SWIR2} = \frac{SWIR1 - SWIR2}{SWIR1 + SWIR2}$	-0,32	-0,45	-0,46	-0,50	-0,51
$NWI_{Blue-SWIR1} = \frac{Blue - SWIR1}{Blue + SWIR1}$	0,29	0,28	0,16	-0,10	0,20
$NWI_{Green-SWIR2} = \frac{Green - SWIR2}{Green + SWIR2}$	-0,14	-0,24	-0,42	-0,48	-0,08
$NWI_{Red-SWIR2} = \frac{Red - SWIR2}{Red + SWIR2}$	-0,07	0,17	-0,41	-0,33	-0,37
$NWI_{Blue-SWIR2} = \frac{Blue - SWIR2}{Blue + SWIR2}$	-0,24	0,10	-0,21	-0,40	-0,17
$NWI_{NIR-SWIR2} = \frac{NIR - SWIR2}{NIR + SWIR2}$	-0,31	-0,07	-0,21	-0,31	-0,39

NIR — ближній інфрачервоний канал з довжиною хвилі (0,845–0,885 мкм);

SWIR1 — короткохвильовий інфрачервоний канал з довжиною хвилі (1,560–1,660 мкм);

SWIR2 — короткохвильовий інфрачервоний канал з довжиною хвилі (2,100–2,300 мкм).

Використовуючи вибрані спектральні канали, отримано також значимі коефіцієнти кореляції між значеннями водних індексів та відсотковим показником природної вологості ґрунту на рівні: у квітні $R = -0,46$ та у березні $R = -0,45$ (табл. 1) ($r_1 = -0,75$, $r_2 = -0,06$; $|t| = 2,51 > 2,09_{19;0,05}$; $\sigma = 0,04$) при $P = 0,95$ та $\alpha = 0,05$.

Дослідження статистичних регресійних лінійних кількісних зв'язків між показником природної вологості ґрунту та індексами, що вираховуються за даними інших каналів знімка, визначило незадовільні результати, попри те, що зображення є наочно інформативними.

4. ВИСНОВКИ

1. Проведено удосконалення оцінювання зволоженості ґрунтового покриву, яке полягає в тому, що виконаний аналіз різних показників та проведена математична обробка значень індексів дозволяє застосувати для поставлених завдань нормалізовані водні індекси NWI, що розраховуються за даними мультиспектральної космічної зйомки супутника Landsat 8 OLI на основі нормованої різниці спектральної яскравості.

2. Визначено можливість їх використання для оцінювання зволоженості ґрунтового покриву при вирішенні агротехнічних проблем у сільськогосподарстві Закарпатської області.

3. Обґрунтовано доцільність використання індексу $NWI_{SWIR1-SWIR2}$, що розраховується на основі нормованої різниці спектрального відбиття в середній інфрачервоній зоні SWIR1 (1,560–1,650 мкм) та SWIR2 (2,100–2,300 мкм) електромагнітного спектра шляхом встановлення лінійної регресійної статистичної залежності між розрахованими індексними величинами та показниками природної вологості ґрунтів для оцінювання вологості ґрунтів на землях різних ландшафтних зон Закарпаття.

1. Гебрин-Байди Л.В. Застосування різницевого водних індексів для оцінювання вологості ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення // Матеріали XVII міжнар. наук.-практ. конф. "Політ. Сучасні проблеми науки", 6–8 квітня 2017. — К., 2017. — С.6–7.
2. Гален В.Г. Ґрунти Закарпатської області. — Ужгород: Вид-во "Карпати", 1969. — 72 с.
3. Муратова Н.Р., Терехова А.Г. Опыт оценки весенних запасов почвенной влаги на основе спутниковой информации и наземных обследований // Сб. науч. стат. Всероссийской конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»; под ред. О.Ю. Лавровой, Е.А. Лупяна. — М.: Полиграф сервис, 2004. — С.191–196.
4. Сахацький О.І. Досвід використання супутникових даних для оцінки стану ґрунтів з метою розв'язання природоресурсних задач // Доповіді Національної академії наук України. — 2008. — № 3. — С.109–115.

5. Сахачький О.І. Методологія використання матеріалів багатоспектральної космічної зйомки для вирішення гідрогеологічних задач: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. геол. наук: спец. 05.07.12 «Дистанційні аерокосмічні дослідження». — К., 2009. — 40 с.
6. Статистична інформація щодо показників природної вологості ґрунтів Лабораторія моніторингу вод та ґрунтів Закарпатської гідрогеолого-меліоративної партії Виноградівського МУВГ. — Виноградів: Вид-во «Карпати», 2014. — 91 с.
7. Gao B.C. NDWI — A normalized difference vegetation index for remote sensing of vegetation liquid water from space // Remote Sensing of Environment. — 1996. — Vol. 58. — P.257–266.
[https://doi.org/10.1016/s0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/s0034-4257(96)00067-3)
8. Griffin M.K., Hsu S.M., Burke H.K., Orloff S.M., Upham C.A. Examples of EO-1 Hyperion Data Analysis // Lincoln Laboratory journal. — 2005. — Vol. 15, № 2. — P.271–298.
9. Schmugge T. Soil moisture sensing with micro wave techniques // Proc. 14th Int. Symp “Remote Sensing Environ” (San Jose, 1980). — Vol. 1. — P.487–505.
10. South S., Qi J., Lusch D.P. Optimal classification methods for mapping agricultural tillage practices // Remote Sensing of Environment. — 2004. — № 91. — P.90–97.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.03.001>

Особенности использования спутниковых данных для определения влажности почвенного покрова

Гебрин-Байды Л.В., Железняк О.А.

Национальный авиационный университет, 03058, г. Киев, пр. Космонавта Комарова, 1

Усовершенствован процесс определения и оценки показателя влажности почвы на основе обработки мультиспектральных космических изображений и проведения соответствующих математических вычислений по данным ярких спектральных каналов. Обосновано применение нормализованного водного индекса NWI, рассчитываемый по данным мультиспектральных космической съемки на основе нормированной разности спектрального отражения в коротковолновой инфракрасной полосах спектра. Определена целесообразность применения коротковолновых инфракрасных каналов для мониторинга участков увлажнения поверхностного слоя почвы при решении агротехнических проблем.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли; влажность; спутниковый снимок; вегетационный индекс; математическая модель.

Peculiarities of using satellite data for determining the humidity of soil cover

Hebryn-Baidy L.V., Zheleznyak O.A.

National Aviation University, Kosmonavta Komarova Avenue 1, 03058 Kyiv, Ukraine

The process of identifying and evaluating of the soil moisture indicator was improved by way of applying processing of multi-spectral aerospace images and conducting mathematical calculations on the data of spectral brightness of channels. Usage of the normalized index of NWI which is calculated on data from multi-spectral aerospace imaging on the basis of normalized difference of the spectral reflection in short-wave infrared spectral band is justified. Efficiency of this index in application to soil moisture evaluation for solving agrotechnical problems is proved.

Keywords: remote sensing; humidity; satellite image; vegetation index; mathematical model.

Надійшла до редакції / Received	23.11.2019
Виправлена авторами / Revised	28.12.2019
Прийнята до друку / Accepted	30.12.2019