

МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ КОМПЕНСАЦІЇ СУПУТНИКОВОЇ І НАЗЕМНОЇ ІНФОРМАЦІЇ В ЕКОЛОГО-МЕЛІОРАТИВНОМУ МОНІТОРИНГУ АГРОЛАНДШАФТІВ

О. В. ВЛАСОВА, кандидат сільськогосподарських наук,
старший науковий співробітник відділу водних ресурсів
К. Б. ШАТКОВСЬКА, науковий співробітник відділу водних ресурсів
Інститут водних проблем і меліорації НААН
E-mail: elena_vl2001@ukr.net

Анотація. Актуальність дослідження полягає в удосконаленні чинного еколого-меліоративного моніторингу за рахунок використання сучасних методів дистанційного зондування Землі. Метою досліджень є вирішення і з'ясування питання компенсації супутникових і наземних даних при вивченні процесів вологонасичення, деградації ґрунтів, росту і розвитку сільськогосподарських культур. Дослідження виконувались у межах науково-дослідних робіт Інституту водних проблем і меліорації НААН за період 2002-2017 р. на агроландшафтах степової зони України. Використано традиційні методи наземних спостережень: польові, аналітичні, статистичні, а також методи з використанням супутникової інформації: спектрального та математичного аналізу цифрових зображень, побудови тематичних карт, моделювання енергетичного та радіаційного балансів поверхні, геоінформаційний аналіз.

Доведено, що за прийняття рішення щодо поливу окремого поля для компенсування дефіциту вологи сільськогосподарських культур та за встановлення динаміки розподілу вологозапасів, необхідно враховувати біофізичні показники і без наземних даних спостережень не обійтися, а за проведення масштабних моніторингових робіт, незамінним є використання супутникової інформації, а наземна використовується лише за потреби.

Запропоновано компенсацію даних виражати у відсотках, що відповідає кількості задіяних показників та враховувати за прийняття управлінських рішень, попередньо визначивши на якому просторово-часовому рівні буде вирішуватися поставлене завдання, що, в свою чергу, суттєво забезпечить оптимізацію моніторингових робіт.

Ключові слова: компенсація, супутникові мультиспектральні дані, еколого-меліоративний моніторинг, спектральні індекси, біофізичні показники

Актуальність. Про необхідність удосконалення методики комплексної оцінки та прогнозування змін стану навколишнього природного середовища, у тому числі із застосуванням технологій дистанційного зондування Землі, наголошено в Рішенні Ради національної безпеки і оборони України від 25

квітня 2013 р. «Про комплекс заходів щодо вдосконалення проведення моніторингу довкілля та державного регулювання у сфері поводження з відходами в Україні». Цей документ доводить актуальність і важливість вирішення проблем своєчасного виявлення прояву посушливих явищ, інтенсифікації водної ерозії та дефляції ґрунтів, виявлення і оцінюванням яких покладено на еколого-меліоративний моніторинг. Застосування методів з використанням супутникових даних за здійснення моніторингових робіт дає змогу взаємозамінювати оцінювальні показники на будь-яких просторових і часових рівнях з високим ступенем оперативності, адекватності та доступності до розташування об'єктів досліджень. Особливої актуальності це питання набуває в процесі знаходження рішень, коли неповнота одного оцінювального показника, що визначається за наземною інформацією, частково або повністю буде компенсована посиленням іншого, що визначається за супутниковими даними і, навпаки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанню компенсації показників за екологічного оцінювання сільськогосподарських культур за аерокосмічними даними у 2009 році присвячено роботу Н. Godínez-Alvarez, J. E. Herrick, M. Mattocks та ін. [1, с. 1001-1008], а також розглядається у задачах метрології і стандартизації [2, с. 2]. Проте, для задач еколого-меліоративного моніторингу підхід до компенсації даних запропоновано вперше. За дослідження гідротермічних умов агроландшафтів та умов їх сільськогосподарського використання у степовій зоні України на основі використання супутникової інформації виникла проблема: коли, в яких випадках і у якому обсязі застосовувати мультиспектральні супутникові дані. Так, вивчення процесів змін стану агроландшафтів у Запорізькій та Херсонській областях потребувало застосування емпіричних і біофізичних показників. Якщо емпіричні показники, до яких відносяться спектральні ґрунтові, вегетаційні та водні індекси, визначаються у спрощеному вигляді, то біофізичні, такі як евапотранспірація (сумарне випаровування ґрунтово-рослинного покриву) і дефіцит вологи, потребували чималих ретельних розрахунків і часу. В одних випадках, за наземних обстежень, неможливо було обійтися без емпіричних показників, що розраховувалися за супутниковими даними. В інших, у разі застосування супутникових даних, необхідно було використовувати наземні – глибину, щільність та найменшу вологемність активного шару ґрунту тощо.

Мета досліджень полягає у вирішенні і з'ясуванні актуального питання компенсації супутникової і наземної інформації в еколого-меліоративному моніторингу, для чого необхідним є проведення аналізу результатів досліджень у межах виконання науково-дослідних робіт з фундаментальної тематики Інституту водних проблем і меліорації НААН за період 2002-2017 р.

Матеріали та методи досліджень. Дослідження процесів вологонасичення та деградації ґрунтів, росту і розвитку сільськогосподарських культур з використанням супутникових даних проводились на території господарства ПАТ «Племзавод «Степовий»

Кам'янсько-Дніпровського району Запорізької області, території ДП «Дослідне господарство «Асканійське» АДСГДС ІЗЗ НААН, зрошуваних землях ДП «ДГ «Брилівське» ІВПіМ НААН та в межах Петрівського поду, Херсонської області. У дослідженнях були задіяні супутникові знімки IRS та Landsat 5, 7 та 8 на різні періоди часу, починаючи з 1991 по 2017 роки та дані наземних польових спостережень.

Використано традиційні методи наземних спостережень за ведення еколого-меліоративного моніторингу – польові маршрутні обстеження, візуально-аналітичний метод, камеральні роботи, статистична обробка даних, а також методи з використанням супутникової інформації – методи спектрального та математичного аналізу цифрових зображень, методи автоматизованої обробки багатоспектральних супутникових даних для побудови тематичних карт, моделювання енергетичного та радіаційного балансів поверхні та розрахунків їх елементів, геоінформаційний аналіз.

Результати досліджень та їх обговорення. В ході досліджень росту і розвитку культур на території господарства ПАТ «Племзавод «Степовий» за супутниковими даними було розраховано розподіл спектрального нормалізованого диференційного вегетаційного індексу (*NDVI*) у межах кожного поля, відібрано зразки ґрунту з восьми свердловин на тестовій ділянці поля кукурудзи, визначено аналітичну залежність дефіциту вологи від глибини активного шару ґрунту за опорними даними. За супутниковим знімком IRS, станом на липень місяць 2002 року було побудовано карту розподілу *NDVI* та розраховано зональну статистику, аналіз якої дав змогу встановити залежність дефіциту вологи рослин від *NDVI* за окремими полями за запропонованою формулою [3, с. 62]:

$$m = m_{max} (1 - NDVI_{сер} / NDVI_{max}), \text{ м}^3/\text{га} \quad (1)$$

де $m_{max} = 100 \text{ га} \cdot (\beta_{НВ} - k \cdot \text{кр} \cdot \beta_{НВ})$, $\text{м}^3/\text{га}$ [4, с. 17] – розрахункове значення максимально допустимої поливної норми;

h_a – глибина активного шару ґрунту, м;

γ – щільність ґрунту у цьому шарі, $\text{т}/\text{м}^3$;

$\beta_{НВ}$ – найменша (польова) вологоємність ґрунту, %;

$NDVI_{сер}$ – середнє значення *NDVI* по полю;

$NDVI_{max}$ – максимальне значення *NDVI* по полю.

Апробацію запропонованої залежності (1) додатково проведено з використанням супутникового знімку Landsat 5, станом на липень місяць 2002 року. Розрахункові дані за знімком звіряли з даними графіків поливів господарства та інформацією управління Північно-Рогачицької зрошувальної системи. Розбіжність розрахункових даних та наземної інформації коливалася від 2 до 5 %.

Наступним прикладом незамінності використання наземної інформації є дослідження просторово розподіленої зміни вологозапасів агроландшафту у межах зрошувальної системи на основі аналізу радіаційного, енергетичного

та водного балансів і поступовому розв'язанні їх складових. Метод розроблено і апробовано за даними Landsat 7, станом на серпень місяць 2011 року для умов зрошення на пілотній території ДП «Дослідне господарство «Асканійське» АДСГДС ІЗЗ НААН, Каховського району Херсонської області. В результаті досліджень було встановлено, що зв'язок між енергетикою атмосфери, надходженням вологи до земної поверхні і її витратами можна представити у вигляді [5, с. 39]:

$$P + I = (R_n - G_0 - H) / \Lambda + q + \Delta V, \quad (2)$$

де ΔV – зміна вологозапасів, яку пропонується розраховувати за наведеною нижче формулою [5, с. 39]:

$$\Delta V = P + I - q - (R_n - G_0 - H) / \Lambda, \text{ мм/добу}, \quad (3)$$

У формулі (3) зміни вологозапасів I – відомі з таблиці кількості поданої на зрошення води за даними господарства. Інші складові формули отримано з тематичних карт, що побудовані на основі супутникових даних: R_n – сумарна радіація, G_0 – тепловий потік у ґрунті, H – видимий тепловий потік, Λ – приховане тепло від випаровування з ґрунту. В результаті розрахунків було отримано карту зміни вологозапасів, яка дала відповідь на питання: чи дотримано строки і норми поливу.

Для встановлення закономірностей формування спектральних характеристик та визначення просторово-часових змін під впливом зрошення на зрошуваних (меліорованих) землях ДП «ДГ «Брилівське» ІВПіМ НААН, Херсонської області були задіяні супутникові знімки Landsat 5, 7 та 8 станом на серпень місяць 1991, 2006, 2011 та 2016 років. За виявлення змін у рослинному покриві, що відбулися за двадцять п'ять років, використано показник $NDVI$. За результатами досліджень було встановлено, що екологічний стан території покращився за рахунок збільшення рослинного покриву, а як наслідок, збільшилася зволоженість агроландшафту. Для виявлення зміни родючості ґрунту, що відбулися на території господарства, було задіяно показник оксиду заліза IO , який визначено за супутниковими даними. Значення показника характеризує ґрунт як слабо гумусний. Зміна його розподілу у межах дослідної території складає 1,24-1,28 %. Ґрунтове наземне обстеження території було проведено Каховською гідрогеолого-меліоративною експедицією, результати якого показали, що величина вмісту гумусу у ґрунті складає 0,82-1,22 %, що характеризує його як слабогумусний, темно-каштановий залишково-солонцюватий. Потужність гумусованого горизонту становить 55-62 см.

Вивчення розвитку деградаційних процесів ґрунтів проведено на прикладі об'єкту зі складними гідротермічними та сільськогосподарськими умовами – Петрівському поді, який розташований на границі Іванівського і Генічеського районів Херсонської області у межах Каховської зрошувальної мережі. Ґрунтовий покрив поду представлено лучно-темнокаштановими глеюватими солонцюватими осолоділими ґрунтами з

солонцями в мікрокомплексі. За даними метеостанції Стрілкове, Генічеського району відбувається зростання кількості опадів, коефіцієнту зволоженості та температури повітря, що має зараз та в майбутньому незворотні наслідки для природних та господарських об'єктів.

За вивчення процесу деградації ґрунтів Петрівського поду за розрахункові взято мультиспектральні супутникові знімки Landsat 5, 7 періоду серпень-вересень місяць 1991, 2000, 2006, 2007 років, коли різниця між оголеним ґрунтом і рослинністю присутня, але не значуща на відміну від раннього весняного періоду та наприкінці осені. Використання супутникових даних за різні роки дала змогу отримати просторово-часові зміни, що відбулися у поді. До показників за ведення моніторингу були залучені: Нормалізований диференційний вегетаційний індекс (*NDVI*) для оцінювання рослинного покриву та ідентифікації границь сільськогосподарських полів; Нормалізований диференційний індекс зволоження (*NDWI*) для виявлення найбільш зволоженої поверхні, що відповідає відміткам рівня ґрунтових вод; Нормалізований диференційний індекс засолення (*NDSI*) для встановлення ступеня засолення території; Індекс вмісту оксиду заліза (*IO*) для встановлення родючості ґрунту, Індекс вмісту мінералів глини (*CM*) для локального обстеження. Кореляційний аналіз результатів обстеження показав, що у 1991 р. щільний зв'язок мали показники *CM* та *NDVI*, який становив 0,992; у 2000 р. – *NDWI* та *NDVI*, 0,825; у 2007 р. – *CM* та *NDWI*, 0,985, що вказувало на несприятливість гідротермічних та сільськогосподарських умов 2000 року. Незначні величини *IO* та *NDSI* вказували на неродючість ґрунтів і відсутність засолення. У наведеному прикладі дослідження використання спектральних індексів було незамінним і компенсувало традиційні наземні спостереження.

1. Компенсація супутникової і наземної інформації в еколого-меліоративному моніторингу

Агроландшафти	Показники		Компенсація даних , %	
	емпіричні	біофізичні	супутникових	наземних
ПАТ «Племзавод «Степовий»	<i>NDVI</i>	η_a , м, γ , т/м ³ , $\beta_{\text{нв}}$, %	25	75
ДП «Дослідне господарство «Асканійське»	–	I , мм	90	10
ДП «ДГ «Брилівське»	<i>NDVI</i> , <i>IO</i>	Вміст гумусу, %	70	30
Петрівський під	<i>CM</i> , <i>IO</i> , <i>NDVI</i> , <i>NDWI</i> , <i>NDSI</i>	–	100	–

У дослідженнях задіяні адаптовані до природних умов зони спектральні індекси, що розраховані за супутниковими даними та результати наземних спостережень. У випадках, коли необхідно було приймати рішення щодо поливу окремого поля для компенсування

дефіциту вологи сільськогосподарських культур за допомогою штучного зволоження, а також встановлювати динаміку розподілу вологозапасів, необхідно було враховувати біофізичні показники і без наземних даних спостережень неможливо було обійтися. У випадках проведення масштабних моніторингових робіт, незамінним стало використання супутникової інформації і не потребувало наземної просторово зосередженої інформації (лише за потребою у якості завіркової). Таку компенсацію даних можна виразити у відсотках, що відповідає кількості задіяних показників, як наведено у таблиці 1.

Висновки і перспективи. Встановлено, що наземні дані є необхідними і незамінними у разі визначення за супутниковою інформацією (біофізичні показники) поливної норми у межах окремого поля для компенсування дефіциту вологи сільськогосподарських культур за допомогою штучного зволоження (75 %), просторового розподілу вологозапасів (10 %), вмісту оксиду заліза у ґрунті (30 %).

Встановлено, що непараметричні супутникові показники є необхідними і незамінними за проведення масштабних моніторингових робіт (100 %) у важкодоступній місцевості (поди), а наземні дані використовуються за потреби.

Запропоновану методично обґрунтовану компенсацію необхідно враховувати за прийняття управлінських рішень, попередньо визначивши на якому просторово-часовому рівні буде вирішуватися поставлене завдання, що суттєво забезпечить оптимізацію моніторингових робіт.

Список використаних джерел

1. Godínez-Alvarez H., Comparison of three vegetation monitoring methods: Their relative utility for ecological assessment and monitoring / H. Godínez-Alvarez, J.E. Herrick, M. Mattocks, D. Toledo, J. Van Zee // *Ecological indicators*. 2009. № 9. P. 1001-1008.
2. Гольгин Н. Х., Педь С. Е. Взаимозаменяемость. Учебное пособие для вузов. Москва: МИИГАиК, 2009. 183 с.
3. Дефіцит вологи кукурудзи за даними дистанційного зондування Землі / О. В. Власова та ін. // *Меліорація і водне господарство*. 2009. № 96. С. 58–64.
4. Методичні рекомендації з оперативного планування режимів зрошення / О. І. Жовтоног, та ін. Київ: Інститут гідротехніки і меліорації Української академії аграрних наук, 2004. 49 с.
5. Мультидисциплінарний аналіз аерокосмічної і наземної інформації при оцінці стану водних екосистем на основі методів системного аналізу / О. Д. Федоровський та ін. // *Український журнал дистанційного зондування Землі*. 2015. № 7. С. 27–42.

References

1. Godínez-Alvarez, H., Herrick, J. E., Mattocks, M., Toledo, D., & Zee, J. V. (2009). Comparison of three vegetation monitoring methods: Their relative utility for ecological assessment and monitoring. *Ecological Indicators*, 9 (5), 1001–1008. doi:10.1016/j.ecolind.2008.11.011.
2. Golygin, N. Kh., Ped' S.E. (2009). *Vzaimozamenyaemost'* [Interchangeability]. Moscow: MIIGAIK, 183.

3. Vlasova, O. V., Samoilenko, L. I., Pidhorodets'ka, L. V., Kolos, L. M. (2009). Defitsyt volohy kukurudzy za danymy dystantsiinoho zonduvannia Zemli [Corn's moisture deficit according to Earth remote sensing data]. Land Reclamation and Water Management. V.96, 58–64.

4. Zhovtonoh, O. I., Kovalchuk, P. I., Pysarenko, V. A., Filipenko, L. A., Mykhalska, T. O., et al. (2004). Metodichni rekomendatsii z operatyvnoho planuvannja rezhyziv zroshennja [Methodical recommendations on operational planning of the irrigation's regimes]. Kyiv: Institute of Hydrotechnical Engineering and Land Reclamation NAAS, 49.

5. Fedorovskyi, O. D., Khyzhniak, A. V., Tomchenko, O. V., Zub, L. M., Pidhorodetska, L. V., Diachenko, T. M., et al. (2015) Multydystsyplinarnyi analiz aerokosmichnoi i nazemnoi informatsii pry otsyntsi stanu vodnykh ekosystem na osnovi metodiv systemnoho analizu [Multidisciplinary analysis of aerospace and soil's information in assessing of the status of water ecosystems on the basis of systems analysis methods]. Ukrainskyi zhurnal dystantsiinoho zonduvannja Zemli - Ukrainian journal of the remote sensing of the Earth, V. 7, 27–42. Retrieved from <http://ujrs.org.ua/ujrs/article/view/61>.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОМПЕНСАЦИИ СПУТНИКОВОЙ И НАЗЕМНОЙ ИНФОРМАЦИИ В ЭКОЛОГО-МЕЛИОРАТИВНОМ МОНИТОРИНГЕ АГРОЛАНДШАФТОВ

О. В. Власова, К. Б. Шатковская

Аннотация. Актуальность исследования заключается в совершенствовании действующего эколого-мелиоративного мониторинга за счет использования современных методов дистанционного зондирования Земли. Целью исследований является решение и выяснение вопроса компенсации спутниковых и наземных данных при изучении процессов влагонасыщения, деградации почв, роста и развития сельскохозяйственных культур. Исследования выполнялись в рамках научно-исследовательских работ Института водных проблем и мелиорации НААН за период 2002-2017 г. на агроландшафтах степной зоны Украины. Использовались традиционные методы наземных наблюдений: полевые, аналитические, статистические, а также методы с использованием спутниковой информации: спектрального и математического анализа цифровых изображений, построения тематических карт, моделирования энергетического и радиационного балансов поверхности, геоинформационный анализ.

Доказано, что при принятии решения о поливе отдельного поля для компенсации дефицита влаги сельскохозяйственных культур и при установлении динамики распределения влагозапасов, необходимо учитывать биофизические показатели и не обойтись без данных наземных наблюдений, а при проведении масштабных мониторинговых работ, незаменимым является использование спутниковой информации, а наземная – используется только по необходимости.

Предложено компенсацию данных выражать в процентах, что соответствует количеству задействованных показателей, и

учитывать при принятии управленческих решений, предварительно определив на каком пространственно-временном уровне будет решаться поставленная задача, что, в свою очередь, обеспечит существенную оптимизацию мониторинговых работ.

Ключевые слова: компенсация, спутниковые мультиспектральные данные, эколого-мелиоративный мониторинг, спектральные индексы, биофизические показатели

METHODOLOGICAL BASIS OF THE COMPENSATION OF REMOTE SENSING AND IN SITU DATA'S INFORMATION FOR THE ECOLOGICALLY-AMELIORATIVE MONITORING OF CULTIVATED LANDS

O. V. Vlasova, K. B. Shatkovska

Abstract. *The relevance of the research is to improve the current ecologically-ameliorative monitoring's system through the use of modern methods of the remote sensing of the Earth.*

The aim of the researches is to solve and clarify the issue of compensation for satellite and in situ data under investigations of the processes of moisture saturation, soil degradation, growth and development of agricultural crops. The researches were conducted within the fundamental researches of the Institute of Water Problems and land reclamation of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine for the period 2002-2017 on the cultivated areas of the steppe zone of Ukraine.

Traditional methods of terrestrial observations were used: field, analytical, statistical, as well as methods with usage of satellite's information: spectral and mathematical analysis of digital images, creation of thematic maps, modeling of energy and radiation balances of the surface, GIS analysis.

It is proved that the biophysical indicators and the surface data are mandatory indicators for making decisions concerning the irrigation of the separate field for the compensation of the crops' moisture's deficit and for the investigations of the dynamics of moisture's content distribution. Conduction of the large-scales monitoring works requires the use of satellite information, surface data is not mandatory and used if situation so requires.

It is suggested to present the data's compensation in percentages, what corresponds to the number of indicators involved, and to take into account for managerial decisions with a preliminary determining on which the spatio-temporal level will be solve the task, which, in turn, will substantially ensure the optimization of monitoring works.

Keywords: *compensation, satellite multispectral data, ecologically-ameliorative monitoring, spectral indices, biophysical indicators*