

МОДЕЛІ ФОРМУВАННЯ СПЕКТРАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕЛІОРОВАНИХ ЗЕМЕЛЬ

О.В. Власова

Інститут водних проблем і меліорації НААН

Розроблено картографічні моделі стану рослинної та ґрунтової поверхонь на основі спектральних індексів. Визначено зміни стану рослинності за індексами NDVI, NDWI, MSI та родючості ґрунту за індексами ІО, СМ, МС. Встановлено закономірні зміни спектральних характеристик меліорованих земель залежно від впливу гідротермічних умов на спектральне відбиття ґрунтової і рослинної поверхонь, ведення господарської діяльності на основі вегетаційних та ґрунтових картографічних моделей.

Ключові слова: спектральні індекси, супутникові дані, зміна вологості, родючість ґрунту, картографічні моделі.

Неконтрольоване вилучення з меліоративного освоєння зрошуваних та осушуваних земель, значне антропогенне навантаження та зміна кліматичних умов є актуальними проблемами сьогодення, які потребують нагального розв'язання. Розробка науково-методичних підходів з оцінювання еколого-меліоративних ситуацій на основі супутникової оперативної, адекватної та доступної користувачам інформації має забезпечувати прийняття ефективних управлінських рішень для розв'язання вказаних проблем [1].

Супутникова інформація дає змогу встановлювати просторово-часову динаміку змін характеристик складових довілля та відтворювати негативні процеси, що їх спричиняють, у вигляді моделей. Питанню моделювання за супутниковою інформацією присвячено роботи В.І. Лялька [2], де розглянуто фізико-математичні моделі спектральних характеристик для ведення екологічного моніторингу, С. Грюнвальда та Г. Васкуеса [3] з моделювання властивостей ґрунту за спектральним відбиттям, Й. Зенга [4], у яких відображено моделі перенесення вологи в агролісових господарствах. Моделюванню спектральних харак-

теристик різних типів рослинності і ґрунту присвячено роботу Е. Пінхейро [5]. Серед існуючих моделей, що використовуються для відтворення певних процесів за супутниковими даними, найбільш оптимальними є електродинамічні моделі з такими параметрами, як спектральна яскравість, тепловий режим ґрунту, вологість, спектральні характеристики поверхні. Тому головною ідеєю під час розробки методичних підходів до опрацювання моделей є виявлення закономірностей формування спектральних характеристик ґрунтового і рослинного покривів за просторово розподіленими супутниковими даними та їх використання для діагностування й оцінювання екологічного стану меліорованих земель. Метою досліджень є удосконалення методів оцінювання екологічного стану меліорованих земель за просторово розподіленими супутниковими даними.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження процесів вологонасичення, визначення стану меліорованих земель з використанням супутникових даних проводили на зрошуваних землях Державного підприємства «Дослідне господарство «Брилівське» (ДП «ДГ Брилівське») ІВПіМ НААН і типових об'єктах у межах

Ірпінської осушувально-зволожувальної системи (ОЗС) (рис. 1). У дослідженнях використовували методи наземних спостережень (натурне обстеження), аналітичні та математичної статистики. Ґрунтовий покрив території представлено темно-каштановим залишково-солонцюватим легкосуглинковим ґрунтом на лесі – типовим для південної частини степової зони України [6].

Натурні обстеження території Ірпінської ОЗС у межах Білогородської сільської ради Києво-Святошинського р-ну Київської обл. полягали у визначенні стану ґрунтового і рослинного покривів, рівневого режиму ґрунтових вод, елементів меліоративної системи та проведенні спостережних робіт на ділянці, що зазнала торфової пожежі у 2015 р. [7]. Ґрунтовий покрив території представлено торфоболотними та лучними ґрунтами.

Для досліджень екологічного стану територій вказаних об'єктів були використані мультиспектральні супутникові знімки Landsat 5, 7 та 8, зроблені в різні періоди часу впродовж 1991–2017 рр. Під час їх оброблення використовували спектральний, математичний та геоінформаційний

аналізи, розрахункові моделі спектральних індексів.

Зміни кількісних та якісних показників рослинного та ґрунтового покривів на супутникових знімках об'єктів досліджень визначали за спектральними індексами (табл. 1).

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Стан рослинності на зрошуваних землях ДП «ДГ «Брилівське» оцінювали за побудованими картографічними моделями нормалізованого диференційного вегетаційного індексу (NDVI) [8]. Зміни значень індексу NDVI впродовж вегетаційного періоду (серпень – вересень 2017 р.) дали змогу спостерігати за динамікою збору врожаю. Різниця у біомасі становила 10%. Динаміка змін упродовж 25 років (1991–2016) тих самих вегетаційних періодів проявилася у збільшенні площ полів сільськогосподарського використання.

Оскільки даних наземних спостережень виявилось недостатньо, було вирішено проаналізувати стан ґрунтів меліорованих земель (впродовж 1991–2016 рр.) за індексами вмісту оксиду заліза (ІО) та глини (СМ) [9]. За цими двома показниками оці-



Рис. 1. Території досліджень: *а* — зрошені землі ДП «ДГ Брилівське», *б* — ділянка у межах Ірпінської ОЗС

Таблиця 1

Спектральні індекси, використані у дослідженнях 1991–2017 рр.

Індекс	Назва, формула	Посилання
NDVI	Нормалізований різницевий вегетаційний індекс (Normalized Difference Vegetation Index)	J. Rouse (1973)
	$NDVI = (b_4 - b_3) / (b_4 + b_3)$	
NDWI	Нормалізований різницевий водний індекс (Normalized Difference Water Index)	B. Gao (1996)
	$NDWI = (b_4 - b_5) / (b_4 + b_5)$	
MSI	Індекс стресу вологості (Moisture Stress Index) $MSI = (b_5 - b_4) / (b_5 + b_4)$	E. Hunt (1989)
IO	Індекс вмісту оксиду заліза (Iron Oxide) $IO = b_3 / b_1$	H. Dogan (2009)
CM	Індекс вмісту глини (Clay Mineral) $CM = b_5 / b_7$	H. Dogan (2009)
MC	Індекс композиту мінералів (Mineral Composite) $MC = b_5 / b_7, b_5 / b_4, b_3 / b_1$	H. Dogan (2009)

Примітка: * b – канал супутникового знімка.

нено стан ґрунтів. Просторово-часова динаміка збільшення величин вегетаційного і ґрунтових індексів засвідчила зміну стану меліорованих земель в умовах зрошення та збільшення площ сільськогосподарського використання.

Для обстеження стану рослинного та ґрунтового покривів, як індикаторів прояву природних процесів і антропогенного навантаження, територію Ірпінської ОЗС у межах Білогородської сільської ради було класифіковано за супутниковим знімком, на якому виділено основні просторові класи наземного покриву: 1 – овочеві культури, 2 – соняшник, 3 – пасовища, 4 – сіножаті, 5 – стерня зібраних зернових, 6 – відкритий ґрунт. На відміну від моделювання просторово-часової динаміки росту і розвитку монокультури, нами було здійснено просторове моделювання всіх виділених класів. Для встановлення кореляційної залежності між накопиченням біомаси, вологовмістом рослин та родючістю ґрунту було побудовано картографічні моделі індексів стресу вологості MSI ділянки території у межах Ірпінської ОЗС [10], нор-

малізованого різницевого водного індексу NDWI, індексів NDVI та IO. Результати моделювання (рис. 2) засвідчили, що за додаткового штучного зволоження оптимальними є умови для вирощування овочевих культур (1 клас) та соняшнику (2 клас). Найтісніший кореляційний зв'язок – 0,977 існує між накопиченням біомаси (NDVI) та зволоженістю території (NDWI).

Для вказаної території також побудовано картографічні моделі індексів NDVI та IO за п'ять років. Результати свідчать про збільшення величин вегетаційного та

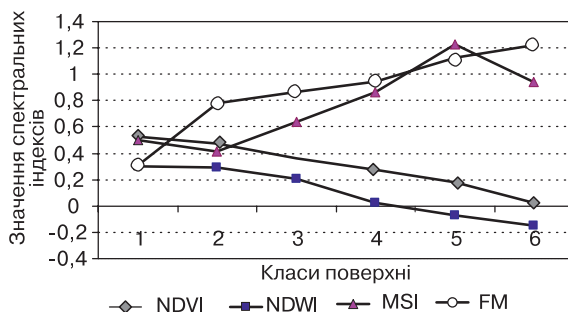


Рис. 2. Графіки спектральних індексів та величини достовірності апроксимації (R2) ділянки Ірпінської ОЗС, серпень 2017 р.

Результати аналізу картографічних моделей спектральних індексів меліорованих земель

Рік досліджень	Середні значення спектральних індексів та достовірність апроксимації даних (R2)					
	NDVI	R2	IO	R2	CM	R2
<i>Зрошувані землі ДП «ДГ «Брилівське»</i>						
1991	0,11	0,973	0,53	0,961	2,13	0,923
2006	0,16	0,911	0,51	0,941	2,05	0,885
2016	0,17	0,986	0,96	0,960	2,85	0,905
<i>Ділянка Ірпінської осушувально-зволожувальної системи</i>						
2011	0,18	0,945	0,42	0,980	2,04	0,894
2015	0,01	0,837	0,84	0,958	1,03	0,986
2017	0,27	0,990	0,88	0,989	1,28	0,921

грунтових індексів з часом. Порівняння класифікацій даних 2011, 2015 та 2017 рр. засвідчило збільшення площ осушуваних земель, що потребують додаткового зволоження. Тому проведено обстеження з фіксації використання дощувальної техніки для поливів на осушуваних угіддях.

На знімках 2015–2017 рр. досліджуваної території за індексом композиту мінералів (МС) було класифіковано ще один тип поверхні — торфове згнище. За результатами моделювання виявлено осередки горіння торфів у 2015 р. та поступове відновлення території — заростання рослинністю впродовж 2016–2017 рр. (табл. 2).

ВИСНОВКИ

Обґрунтовано, що тематичні карти спектральних індексів, отримані за супутниковими даними, є аналогами просторово-часової динаміки проявів агрокліматичних умов і

найбільш оптимальними моделями формування спектральних характеристик меліорованих земель для оцінювання їх стану.

Визначено, що на зрошуваних землях ДП «ДГ Брилівське» за 25 років відбулися зміни вмісту глини у складі ґрунту — індекс CM збільшився з 2,13 до 2,82. Проте на ділянці у межах Ірпінської ОЗС цей показник зменшився з 2,04 до 1,28. Уміст оксиду заліза (індекс IO) поступово збільшився на обох територіях досліджень — до 0,53–0,96 та 0,42–0,88, як і індекс NDVI — до 0,11–0,17 та 0,18–0,27 відповідно.

Встановлено закономірні зміни спектральних характеристик меліорованих земель залежно від впливу зміни гідротермічних умов на спектральне відбиття ґрунтової та рослинної поверхонь та ведення господарської діяльності на основі вегетаційних та ґрунтових картографічних моделей.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шевченко А.М. Удосконалення системи просторового оцінювання водно-екологічних та еколого-меліоративних ситуацій з використанням супутникових даних / А.М. Шевченко, О.В. Власова // Меліорація і водне господарство. — 2016. — № 103. — С. 21–25.
2. Багатоспектральні методи дистанційного зондування землі в задачах природокористування / за ред. В.І. Лялька, М.О. Попова. — К.: Наук. думка, 2006. — 357 с.
3. Grunwald S. Fusion of soil and remote sensing data to model soil properties / S. Grunwald, G.M. Vazquez // Advances in Agronomy. — 2015. — Vol. 131. — P. 1–109.
4. Zeng Y.A. Canopy radiative transfer model suitable for heterogeneous Agro-Forestry scenes [Електронний ресурс] / Y.A. Zeng // Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2016 IEEE International. — Режим доступу <https://ieeexplore.ieee.org/document/7729945>

5. Prediction of Soil Physical and Chemical Properties by Visible and Near-Infrared Diffuse Reflectance Spectroscopy in the Central Amazon / É.F.M. Pinheiro, M.B. Ceddia, C.M. Clingensmith et al. // *Remote Sensing*. — 2017. — No. 9. — P. 1–22.
6. Класифікація ґрунтів України / за ред. М.І. Полупана. — К.: Аграрна наука, 2005. — 300 с.
7. Ризик торфових пожеж і шляхи його мінімізації на меліоративних системах у басейнах річок Ірпін та Здвиж / М. Ромашченко, А. Шевченко, Д. Савчук, А. Забуга // *Водне господарство України*. — 2016. — № 1 (121). — С. 19–27.
8. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS / J.W. Rouse, R.H. Haas, J.A. Schell, D.W. Deering // *Third Earth Resources Technology Satellite: 1 Symposium*. — Washington, 1973. — Vol. 1. — P. 309–317.
9. Dogan H.M. Mineral composite assesment of Kelkit River Basin in Turkey by means of remote sensing / H.M. Dogan // *Journal of Earth Systems Science*. — 2009. — No. 6. — P. 701–710.
10. Hunt E. Detection of Changes in Leaf Water Content Using Near- and Middle-Infrared Reflectances / E. Hunt, B. Rock // *Remote Sensing Environmental*. — 1989. — No. 30. — P. 43–54.

REFERENCES

1. Shevchenko, A.M., Vlasova, O.V. (2016). Udoskonalennia systemy prostorovoho otsiniuvannia vodno-ekolohichnykh ta ekoloho-melioratyvnykh sytuatsii z vykorystanniam suputnykovykh danykh [Improvement of the system of spatial assesment of water-ecological and ecologically-ameliorative situations using satellite data]. *Melioratsiia i vodne hospodarstvo — Reclamation and water management*, 103, 21–25 [in Ukrainian].
2. Lialko, V.I., Popov, M.O. (2006). *Bahatospektralni metody dystantsiinoho zonduvannia zemli v zadachakh pryrodokorystuvannia [Multispectral methods of earth's remote sensing in the problems of nature use]*. Kyiv: Nauk. Dumka [in Ukrainian].
3. Grunwald, S., Vasques, G.M. (2015). Fusion of soil and remote sensing data to model soil properties. *Advances in Agronomy*, 131, 1–109 [in English].
4. Zeng, Y.A. (2016). Canopy radiative transfer model suitable for heterogeneous Agro-Forestry scenes. *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, IEEE International. *ieeexplore.ieee.org*. Retrieved from <https://ieeexplore.ieee.org/document/7729945/> [in English].
5. Pinheiro, É.F.M., Ceddia, M.B., Clingensmith, C.M., Grunwald, S., Vasques, G.M. (2017). Prediction of Soil Physical and Chemical Properties by Visible and Near-Infrared Diffuse Reflectance Spectroscopy in the Central Amazon. *Remote Sensing*, 9, 1–22 [in English].
6. Polupan, M.I. (2005). *Klasyfikatsiia ґрунтів Ukrainy [Classification of soils of Ukraine]*. Kyiv: Ahrarna nauka [in Ukrainian].
7. Romashchenko, M., Shevchenko, A., Savchuk, D., Zabuha, A. (2016). Ryzkyk torfovykh pozhezh i shliakhy yoho minimizatsii na melioratyvnykh systemakh u basinakh richok Irpin ta Zdvyzh [The risk of peat fires and the ways of minimization on the reclamation systems in the basins of the Irpin and Zdvyzh rivers]. *Vodne hospodarstvo Ukrainy — Water management of Ukraine*, 1, 121, 19–27 [in Ukrainian].
8. Rouse, J.W. (1973). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Third Earth Resources Technology Satellite '73: 1 Symposium*. (Vol. 1, pp. 309–317). Washington [in English].
9. Dogan, H.M. (2009). Mineral composite assesment of Kelkit River Basin in Turkey by means of remote sensing. *Journal of Earth Systems Science*, 6, 701–710 [in English].
10. Hunt, E., Rock, B. (1989). Detection of Changes in Leaf Water Content Using Near- and Middle-Infrared Reflectances. *Remote Sensing Environmental*, 30, 43–54 [in English].