

С.І. Альперт
кандидат технічних наук
(Науковий Центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України)

Вирішення задач екологічного моніторингу із використанням новітніх методів дистанційного зондування Землі

Запропоновано новітні підходи ДЗЗ для вирішення екологічних задач, таких як: контроль стану лісів, виявлення рослин, уражених шкідниками, запобігання лісовим пожежам із застосуванням вегетаційного індексу NDVI та його модифікацій: I, GNDVI, які отримуються із використанням БПЛА.

На даний час інноваційні розробки в галузі дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) можуть бути корисними для проведення екологічного моніторингу довкілля, підтримки здоров'я та запобігання хворобам рослин, контролю стану лісів, для запобігання екологічним катастрофам, зокрема пожежам. Із швидким розвитком інформаційних технологій ДЗЗ використання БПЛА [1-2] дає нові можливості для проведення більш детальних наукових досліджень, а саме, дають змогу отримувати детальну інформацію про стан здоров'я рослин, виявляти рослини, які уражені шкідниками, дозволяє простежити позитивні та негативні динаміки розвитку рослин та оцінити рівень забруднення місцевості.

Досить часто БПЛА використовуються для проведення локальних досліджень і побудови повної картини того, що відбувається на певній території, враховуючи нестабільні погодні умови. Особливо ефективним є застосування БПЛА у районах екологічних катастроф, які охоплюють значні площі, де присутність людини є обмеженою чи неможливою та у районах стихійного лиха. Завдяки використанню БПЛА можна отримати величезну кількість інформації без лабораторних досліджень, що потребують досить великих затрат.

БПЛА використовують спеціальні спектральні камери, завдяки яким можна отримувати знімки в різних діапазонах спектру, а саме: видимому, ближньому інфрачервоному, середньому інфрачервоному та ін..

Контроль захворювань рослин – є однією із головних сфер застосування встановлених на безпілотниках спектральних камер. Як відомо, хвороби рослин поширюються досить швидко та важко піддаються діагностиці. Тому за відсутності спеціального обладнання для діагностування або негайного доступу до лабораторії вчасно знайти причину хвороби та зупинити її практично неможливо.

БПЛА дають змогу провести аерофотозйомку, за допомогою якої можна визначити, які рослини заражені та вчасно вжити необхідних заходів. Також дані знімки можуть бути використані для наукових досліджень для вирішення екологічних задач.

На основі отриманих знімків проводиться розрахунок вегетаційних індексів, які застосовуються для розв'язку різноманітних природно-ресурсних та екологічних завдань [2-3].

Зазначимо, що вегетаційний індекс – це показник, який розраховується в результаті операцій із різноманітними спектральними діапазонами даних ДЗЗ, та має відношення до параметрів рослинності в даному пікселі знімка. При цьому ефективність вегетаційних індексів визначається особливостями відображення. Розрахунок більшої частини вегетаційних індексів базується на двох найбільш стабільних ділянках кривої спектральної відбивної здатності рослин.

Існує досить велика кількість вегетаційних індексів та їх модифікацій [3-5]. У даній роботі буде розглянуто та проаналізовано найбільш широко вживані вегетаційні індекси, а саме: нормалізований диференційний вегетаційний індекс (NDVI), зелений нормалізований відносний вегетаційний індекс (GNDVI) та нормований вегетаційний індекс (I). Наведені вегетаційні індекси застосовуються для виявлення рослин, уражених шкідниками та для запобігання поширенню захворювань рослин. Так, завдяки вегетаційним індексам виявляються спалахи розвитку шкідників, таких як: рудий та звичайний сосновий пильщик, шовкопряд-монашка та сосновий шовкопряд, які, в свою чергу, призводять до накопичення значних об'ємів сухоостою, що спричинює виникнення лісових пожеж. Тому, основними задачами є уточнення меж рослинних угруповань, визначення фітосанітарного стану лісів на основі аналізу отриманих вегетаційних індексів, визначення ступеня природної пожеженебезпечності території з метою виявлення територій, які потребують авіахімообробки.

Нормалізований диференційний вегетаційний індекс (NDVI) – це кількісний показник кількості фотосинтетичної активної біомаси. Даний індекс використовується для вирішення задач, які використовують кількісні оцінки рослинного покриву.

NDVI розраховується як різниця інтенсивностей відбитого світла у видимому та інфрачервоному діапазоні, поділена на суму їх інтенсивностей:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}, \quad (1)$$

де *NIR* – відбиття у ближній інфрачервоній області спектру,

RED – відбиття у червоній області спектру.

Слід зауважити, що у червоній області спектра (0,4-0,7 мкм) знаходиться максимум поглинання сонячної радіації хлорофілом, а в інфрачервоній області (0,7-1,0 мкм) знаходиться максимум відображення клітинних структур листа. Густа рослинність характеризується слабким відображенням у червоній області спектра та досить інтенсивним в інфрачервоній. Індекс NDVI дає змогу чітко розпізнавати рослинні об'єкти та відокремлювати рослини, уражені шкідниками від здорових рослин. У формулі (1) проводиться нормування різниці між інтенсивністю відбитого світла у видимому і інфрачервоному діапазоні для того, щоб зменшити вплив відмінностей у освітленні знімку та поглинанні радіації атмосферою. NDVI приймає значення від -1 до 1 у відсотках або у діапазоні від 0 до 200 (-

100...+100). Об'єкти, що не відносяться до рослинності приймають фіксовані значення.

Значення NDVI зростають із розвитком зеленої біомаси та зменшуються із її висиханням. NDVI приймає максимальні значення для вегетуючої рослинності (близькі до "1") та проміжні значення – для різноманітних станів рослинного покриву. Так, для рослин, послаблених розвитком осередків шкідників, значення індексу NDVI будуть мінімальні. Для розрахунку NDVI, як правило, застосовуються та аналізуються серії різночасових знімків із певною періодичністю, що дає змогу отримувати динамічну картину процесу зміни границь та основних характеристик різних типів рослинності. Різночасові знімки дають змогу виявляти місячні, сезонні та річні варіації стану рослинності та робити прогностичні оцінки.

Зараз досить часто використовуються різноманітні сервіси, які дають змогу швидко проводити обробку знімків з розрахунком вегетаційних індексів без завантаження та встановлення спеціалізованого програмного забезпечення і проведення громізких розрахунків, оскільки всі операції відбуваються у браузері користувача. Одним із таких сервісів є DroneDeploy.

GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index) - зелений нормалізований відносний вегетаційний індекс. GNDVI є досить схожим на NDVI за винятком того, що він замість червоного спектру вимірює зелений спектр в діапазоні від 0,54 до 0,57 мкм. Даний показник фотосинтетичної активності рослинного покриву в основному застосовуються для проведення оцінки вологовмісту та концентрації азоту в листі рослин із використанням мультиспектральних даних, у яких відсутній крайній червоний канал. У порівнянні із індексом NDVI, GNDVI є більш чутливим до концентрації хлорофілу та розраховується за наступною формулою:

$$GNDVI = \frac{NIR - GREEN}{NIR + GREEN},$$

(2)

де *NIR* – відбиття у ближній інфрачервоній області спектру,

GREEN – відбиття у зеленій області спектру.

Слід зазначити, що зелений нормалізований відносний вегетаційний індекс застосовується при оцінці пригніченої та старіючої рослинності. Даний індекс широко застосовується для оцінки фотосинтезу рослинності та для оцінки споживання рослинами води.

Також для виявлення рослин, уражених шкідниками використовується нормований вегетаційний індекс, що враховує спектральні яскравості у середньому інфрачервоному та зеленій зонах спектру. Даний індекс розраховується за наступною формулою:

$$I = \frac{IR - GREEN}{IR + GREEN}, \quad (3)$$

де *IR* – відбиття у середній інфрачервоній області спектру,

GREEN – відбиття у зеленій області спектру.

Висновок

Таким чином, у даній роботі було запропоновано використовувати новітні підходи ДЗЗ, зокрема БПЛА для вирішення екологічних задач. Було проведено аналіз та порівняльну характеристику вегетаційних індексів, які отримуються із використанням сучасних методів ДЗЗ, а саме БПЛА. При цьому зазначалося, що безпілотники використовують спеціальні спектральні камери, завдяки яким можна отримувати знімки в різних діапазонах спектру, а потім на основі отриманих знімків розрахувати вегетаційні індекси, що застосовуються для розв'язку численних природно-ресурсних завдань [5-9].

Було запропоновано використовувати індекс NDVI та його модифікації: нормований вегетаційний індекс I та зелений нормалізований відносний вегетаційний індекс GNDVI для класифікування рослинного покриву. Також були наведені основні характеристики, особливості та відмінності розглянутих індексів. Так, було показано, що індекс NDVI дає змогу чітко розрізняти рослинні об'єкти та відокремлювати рослини, уражені шкідниками від здорових рослин, а зелений нормалізований відносний вегетаційний індекс застосовується при оцінці пригніченої і старіючої рослинності. Зазначалося, що в залежності від особливостей та характеристик рослинного покриву (стану, віку рослинності, тощо) обирається певний вегетаційний індекс, на основі якого буде проводитися класифікування рослинного покриву. Оскільки один і той же вегетаційний індекс може підходити для однієї задачі та зовсім не підходити для іншої.

Дані індекси можна використовувати для визначення фітосанітарного стану лісів, виявлення рослин, уражених шкідниками та для оцінки природної пожежебезпеки території досліджень, що, в свою чергу, дає змогу завчасно провести авіахімобробку та значно зменшити вірогідність виникнення пожеж.

Список літератури

1. McKnight, Veronica E. Drone technology and the Fourth Amendment: aerial surveillance precedent and Kyllo do not account for current technology and privacy concerns. *California Western Law Review*, 2015. – № 51. – P. 263.

2. Альперт С. І. Використання безпілотних літальних апаратів для вирішення задач підсупутникового моніторингу в аерокосмічному комплексі. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. – 2020. – №27. – С.26 – 30. DOI: 10.36023/ujrs.2020.27.184

3. Альперт С. І. Новітній підхід до застосування нормалізованого диференційного вегетаційного індексу для класифікування аерокосмічних зображень за наявності неповних та неточних даних. *Математичні машини і системи*. – 2022. – №2. – С. 19–28. DOI: 10.34121/1028-9763-2022-2-19-28

4. Alfredo R. Huete, Jin Chen, Zhangyan Jiang, Jing Li, Guangjian Yan, Xiaoyu Zhang, Yunhao Chen Localización Analysis of NDVI and scaled difference vegetation index retrievals of vegetation fraction. *Remote sensing of environment*. – 2016. –Vol. 101. – №3. – P. 366–378.

5. Crippen R. E. Calculating the Vegetation Index Faster. *Remote Sensing of Environment*. – 1990. – Vol 34. – P. 71–73.

6. McCoy R. M. *Fields Methods in Remote Sensing*. New York: Guilford Press. – 2005. – P. 150–160.
7. Попов М. А., Альперт С. І., Подорван В. N. Satellite image classification method using the Dempster-Shafer approach. *Izvestiya, atmospheric and oceanic. Physics*. 2017.– № 53(9) – P. 1112–1122. DOI: 10.1134/s0001433817090250
8. Альперт С. І., Альперт М. І., Катін П. Ю., Літвінова Н. О. Програмно-апаратна інфраструктура наземної автономної платформи з елементами штучного інтелекту. *Математичні машини і системи*. – 2021. – № 1. – С. 24–31.
9. Gong P. *Integrated Analysis of Spatial Data from Multiple Sources: Using Evidential Reasoning and Artificial Neural Network Techniques for Geological Mapping*. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. –1996. –Vol. 62. – №5. – P. 513–523.