УДК 629.78 https://doi.org/10.15407/itm2024.04.017

Д. О. ХРАМОВ, О. О. ПИРОЖЕНКО

ОПТИЧНІ МЕТОДИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ В КОМЕРЦІЙНИХ КОСМІЧНИХ АПАРАТАХ

Інститут технічної механіки
Національної академії наук України і Державного космічного агентства України,
вул. Лешко-Попеля, 15, 49005, Дніпро, Україна; e-mail: dakhramov@gmail.com

Комерційні космічні апарати (КА) дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) наразі використовують методи оптичної мультиспектральної та гіперспектральної, теплової інфрачервоної, а також радарної зйомки. Водночас можливості наявних і перспективних методів ДЗЗ використовуються в комерційних КА далеко не повністю. Проведено аналіз тенденцій розвитку оптичних методів ДЗЗ, метою якого є визначення перспектив застосування даних методів у комерційних КА ДЗЗ. Розглянуто оптичну мультиспектральну, гіперспектральну та лідарну зйомку, а також методи, засновані на вимірюванні флуоресценції хлорофілу. Показано, що мультиспектральна оптична зйомка розвивається шляхом збільшення кількості спектральних каналів, використання вужчих каналів, підвищення просторової роздільної здатності в задачах детальної й оглядової зйомки, а також збільшення повторюваності зйомки без зниження просторової роздільної здатності завдяки використанню угруповань недорогих малих КА. Гіперспектральна і лідарна зйомки стикаються з проблемами опрацювання і передавання великого обсягу даних. Перспективним способом розв'язання цієї проблеми є оброблення даних безпосередньо на борту КА. У галузі лідарної зйомки є передумови до створення угруповання КА, що забезпечує регулярне щорічне глобальне покриття земної суші. Методи ДЗЗ, що використовують флуоресценцію хлорофілу, перебувають на стадії накопичення та узагальнення експериментального матеріалу. Разом з тим, ці методи відкривають нові можливості у вирішенні багатьох екологічних завдань, а також завдань землеробства. Інтеграція спектральної та структурної інформації, що надається методами оптичної зйомки і лідарами, в перспективі може бути використана для вирішення широкого кола завдань. При цьому можливе створення орбітальних угруповань, у яких окремі КА використовуватимуть різні методи ДЗЗ, а також угруповань універсальних КА, що несуть кілька видів знімальної апаратури.

Ключові слова: *дистанційне зондування, мультиспектральна зйомка, гіперспектральна зйомка, лідар, сонячно-індукована флуоресценція хлорофілу.*

1. *Kramer H. J.* Observation of the Earth and Its Environment. Berlin, Springer, 2002. https://doi.org/10.1007/978-3-642-56294-5
2. *Fowler M. J. F.* Declassified Intelligence Satellite Photographs. Archaeology from Historical Aerial and Satellite Archives / ed. by W. Hanson, I. Oltean. New York, Springer, 2012. P. 47–66. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4505-0_4
3. *Кондратьев К. Я., Бузников А. А., Виноградов Б. В., Волков В. Н., Горбатко В. В., Смоктий О. И., Орлов В. М.* Некоторые результаты спектрофотометрирования Земли с космического корабля “Союз-7”. Доклады АН СССР. 1970. Т. 195, № 5. С. 1084–1087.
4. *Qian S.-E.* Hyperspectral Satellites, Evolution, and Development History. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. 2021. N 14. P. 7032–7056. https://doi.org/10.1109/JSTARS.2021.3090256
5. *Bedini E.* The use of hyperspectral remote sensing for mineral exploration: a review. Journal of Hyperspectral Remote Sensing. 2017. V. 7, N 4. P. 189–211. https://doi.org/10.29150/jhrs.v7.4.p189-211
6. *Lelong C. C. D., Pinet P. C., Poilvé H.* Hyperspectral Imaging and Stress Mapping in Agriculture. Remote Sensing of Environment. 1998. V. 66, N 2. P. 179–191. https://doi.org/10.1016/s0034-4257(98)00049-2
7. *Terentev A., Dolzhenko V., Fedotov A., Eremenko D.* Current State of Hyperspectral Remote Sensing for Early Plant Disease Detection: A Review. Sensors. 2022. V. 22, N 3. P. 757. https://doi.org/10.3390/s22030757
8. *Храмов Д. О., Волошенюк О. Л.* Аналіз стану і тенденції розвитку орбітальних угруповань малих космічних апаратів для вирішення завдань землеробства. Технічна механіка. 2023. № 4. С. 31–39. https://doi.org/10.15407/itm2023.04.031
9. *Diaz J. C. F., Carter W.E., Shrestha R.L., Glennie C.L.* LiDAR Remote Sensing. Handbook of Satellite Applications / ed. by J. Pelton, S. Madry, S. Camacho-Lara. Springer, 2017. https://doi.org/10.1007/978-3-319-23386-4_44
10. *Borsah A. A., Nazeer M., Wong M. S.* LIDAR-Based Forest Biomass Remote Sensing: A Review of Metrics, Methods, and Assessment Criteria for the Selection of Allometric Equations. Forests. 2023. V. 14. P. 2095. https://doi.org/10.3390/f14102095
11. *Lowe C. J., McGrath C. N., Hancock S., Davenport I., Todd S., Hansen J., Woodhouse I., Norrie C., Macdonald M.* Spacecraft and optics design considerations for a spaceborne lidar mission with spatially continuous global coverage. Acta Astronautica. 2024. V. 214. P. 809–816. https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2023.10.042

12. *McGrath C., Lowe C. J., Macdonald M., Hancock S.* Investigation of very low Earth orbits (VLEOs) for global spaceborne lidar. CEAS Space Journal. 2022. V. 14, N 4. P. 625–636. https://doi.org/10.1007/s12567-022-00427-2
13. *Lagutin A. Mordvin E. Y., Volkov N.* Estimates of the terrestrial gross primary production for the south of Western Siberia in 2014-2021 according to OCO-2 and OCO-3 data. 28th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. 2022. V. 12341. https://doi.org/10.1117/12.2645053
14. *Chen R. Liu L., Liu X., Liu Z., Gu L., Rascher U.* Improving estimates of sub-daily gross primary production from solar-induced chlorophyll fluorescence by accounting for light distribution within canopy. Remote Sensing of Environment. 2024. V. 300. P. 113919. https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.113919
15. *Kritten L. Preusker R., Fischer J.* A New Retrieval of Sun-Induced Chlorophyll Fluorescence in Water from Ocean Colour Measurements Applied on OLCI L-1b and L-2. Remote Sensing. 2020. V. 12, N 23. P. 3949. https://doi.org/10.3390/rs12233949
16. *Meroni M., Rossini M., Guanter M., Alonso L., Rascher U., Colombo R., Moreno J.* Remote sensing of solar-induced chlorophyll fluorescence: Review of methods and applications. Remote Sensing of Environment. 2009. V. 113, N 10. P. 2037–2051. https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.05.003
17. *Gopal R., Mishra K. B., Zeeshan M., Prasad S. M., Joshi M. M.* Laser-induced chlorophyll fluorescence spectra of mung plants growing under nickel stress. Current Science. 2002. V. 83, N 7. P. 880–884.

Отримано 06.11.2024,
в остаточному варіанті 11.12.2024