

ЗМІНИ ЗЕМНОГО ПОКРИВУ ЯК СУПУТНИКОВИЙ ІНДИКАТОР МОНІТОРИНГУ ДОСЯГНЕННЯ НЕЙТРАЛЬНОГО РІВНЯ ДЕГРАДАЦІЇ ЗЕМЕЛЬ

Куссуль Н.М.^{1,3}, Ракоїд О.О.², Колотій А.В.^{1,3}, Лавренюк М.С.^{1,3}

¹*Інститут космічних досліджень НАН України та ДКА України*

²*Національний університет біоресурсів та природокористування України*

³*НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»*

В межах Міжнародної Програми підтримки встановлення добровільних національних завдань щодо досягнення нейтрального рівня деградації земель (НРДЗ) (Land Degradation Neutrality), визначено ряд інформативних індикаторів, які дають можливість оцінювати поточний стан ґрунтів. Такі роботи цілком відповідають Цілям Сталого Розвитку на 2015-2030 рр., затвердженим 70-ю сесією Генеральної асамблеї ООН 25 вересня 2015 р. у документі «Перетворення нашого світу: Порядок денний сталого розвитку на період до 2030 року» [1].

Фактично метою НРДЗ є підтримка або посилення природного ресурсу землі та пов'язаної із цим наземної екосистеми. Прийняття країною таких цілей означає декларування зобов'язань по не зниженню продуктивності земель порівняно з деяким базовим рівнем.

Серед цих індикаторів виділено тренди змін рослинного покриву (Vegetative Land Cover Change) та динаміку змін продуктивності ґрунтів (Land Productivity Dynamics - LPD). Разом ці показники забезпечують всебічне висвітлення стану земельних ресурсів в масштабі країни. Хоча ці показники і оцінюють стан земельних ресурсів за різними критеріями, вони обидва є релевантними. Карти земного покриву є джерелом інформації для індикації перших змін рослинного покриву [2, 3, 4]. Продуктивність земель дає можливість оцінювати здоров'я екосистеми в цілому. Такі супутникові продукти створюють об'єктивну картину землекористування всієї країни [5, 6, 7].

Для країн-учасниць Програми, до переліку яких входить і Україна, в межах глобальної ініціативи ООН визначено глобальні супутникові продукти низького просторового розрізнення, які дають змогу відстежувати зміни рослинного покриву впродовж

тривалого часу (на рівні десятиліть) та оцінювати динаміку розвитку рослинного покриву впродовж вегетаційного сезону, виявляти наявні тренди зміни продуктивності ґрунтів. В той же час в Інституті космічних досліджень НАН України та ДКА України (далі ІКД НАНУ-ДКАУ) із використанням методів машинного навчання та великих обсягів супутникових даних побудовано карти земного покриву середнього просторового розрізнення (30 м).

В даній роботі розглядаються результати порівняльного аналізу глобальних та регіональних індикаторів оцінки ступеня деградації землі в Україні. Зокрема, представлено результати аналізу глобальних карт земного покриву та карт змін земного покриву (просторове розрізнення – 300 м), наданих Секретаріатом Конвенції по боротьбі з опустелюванням (CCI-LC) та відповідних регіональних продуктів, отриманих ІКД НАНУ-ДКАУ (просторове розрізнення – 300 м) [8, 9, 10, 11]. Обидві групи продуктів взято з часовим кроком в 10 років (2000 та 2010 для глобальних даних та 1990, 2000 та 2010 для регіональних).

Також в даній статті демонструються найновіші результати, отримані для території всієї країни у 2016-2017 рр. в межах виконання проекту Sen2-Agri із просторовим розрізненням в 10 м.

В межах проекту Sen2-Agri Європейського космічного агентства продемонстровано перевагу сучасних супутникових даних високого просторового та часового розрізнення для вирішення задач у сфері сільського господарства.

Аналіз карт земного покриву. Проведено порівняльний аналіз глобальних карт земного покриву із регіональними результатами, отриманими ІКД НАНУ-ДКАУ та валідацію обох типів інформації на незалежних даних (Табл. 1).

Проведений аналіз показав, що загальна точність глобальних карт земного покриву поступається регіональним картам земного покриву на 10% для 2000 р. та на 12% для 2010 р. Особливо варто відзначити не надто високу точність глобальних карт земного покриву щодо визначення площ оброблюваних

Табл. 1 Порівняння регіональних та глобальних карт земного покриття на незалежній валідаційній вибірці (ТВ – точність виробника, ТК – точність користувача)

Рік	Land Cover ІКД 2010		Land Cover ІКД 2000		Land Cover Dataset ESA CCI-LC-2010		Land Cover Dataset ESA CCI-LC-2000	
	ТВ, %	ТК, %	ТВ, %	ТК, %	ТВ, %	ТК, %	ТВ, %	ТК, %
Клас								
Штучні об'єкти	100	79.9	73.3	83.9	0	0	11,8	0,6
Оброблювані землі	97.5	98.5	97.1	98.6	98,9	76,7	98,9	79
Ліс	97.2	97.4	98.8	98.4	84,9	95,6	86	97,1
Необроблювані землі	90.7	85.4	90.5	84.6	4,9	40,7	7,6	43,5
Гола земля (bare land)	93.6	96.9	96.2	89.7	21,5	87,2	20,1	76,2
Вода	99.5	99.8	99.5	99.9	96	99,6	96,4	99,8
Загальна точність, %	97.5		97.7		85		87,3	

сільськогосподарських земель (посівних площ) (Рис. 1), що обумовлено як порівняно низькою просторовою роздільною здатністю, так і не врахуванням специфіки сільського господарства України. Розбіжність площ штучних об'єктів за картами земного покриття, отриманими ІКД НАНУ-ДКАУ, та офіційною статистикою можна пояснити тим, що в процесі побудови карт використовувалися маски населених пунктів.

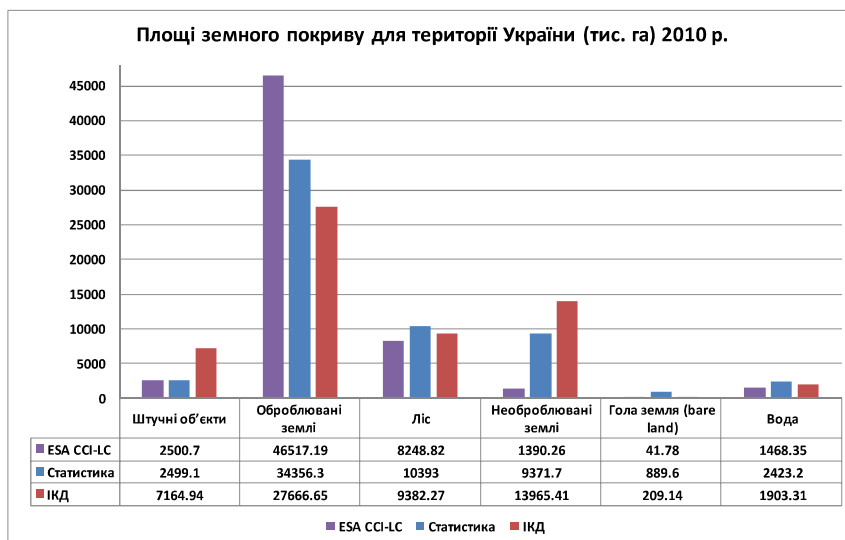


Рис. 1 Площі окремих видів земного покриття для території України за глобальними та регіональними супутниковими даними, а також за статистикою, 2010 р. (тис. га)

Недостатня точність глобальних карт земного покриття зумовлює похибки оцінки його змін за період 2000-2010 рр. (Рис. 2 а-в та Рис. 3). Так, для досліджуваної території (Коростенський район Житомирської області) в реальності не спостерігається переходу лісу в оброблювані землі, як це показано на глобальних картах змін земного покриття. Регіональні карти земного покриття розрізненням 30 м дозволяють оцінити зміни земного покриття значно точніше, а саме, визначити перехід лісу в голу землю (в даному випадку, розробку кар'єру). Цей факт підтверджено історичними знімками з Googlemaps. Порівняння відповідних площ для глобального та регіонального продуктів наведено у Табл. 2.

Кarti високої роздільної здатності, побудовані із використанням великих обсягів супутникових даних, дають можливість оцінювати зміни землекористування значно точніше, оскільки містять значно менше «змішаних» пікселів (таких, в яких в одній точці продукту насправді може міститися суміш із різних типів землекористування) [13].

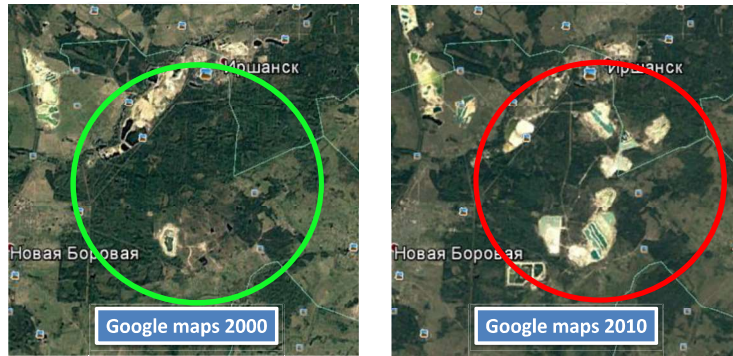


Рис. 2а Приклад змін земного пориву для досліджуваної території (за знімками Googlemaps)

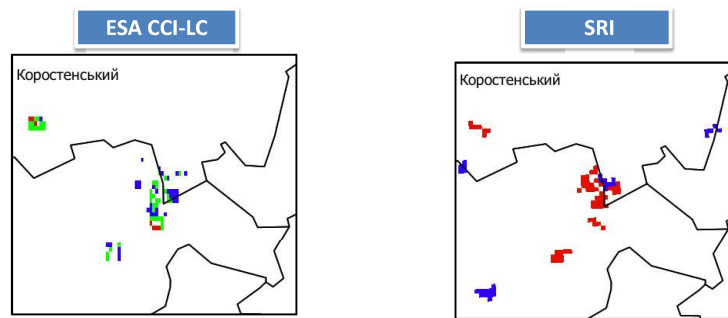


Рис. 2б Фрагмент карти змін земного покриття (Коростенський район Житомирської області) за глобальними (зліва) та регіональними даними (справа)

Значення	Переходи типів земного покриття	ІКД (тис. га)	ESA CCI-LC (тис. га)
12	Ліс в необроблювані землі	222,02	8,15
13	Ліс в оброблювані землі	17,001	22,93
16	Ліс в голу землю	7,76	0,74

Таблиця 2. Приклад оцінки змін земного покриття для досліджуваної території

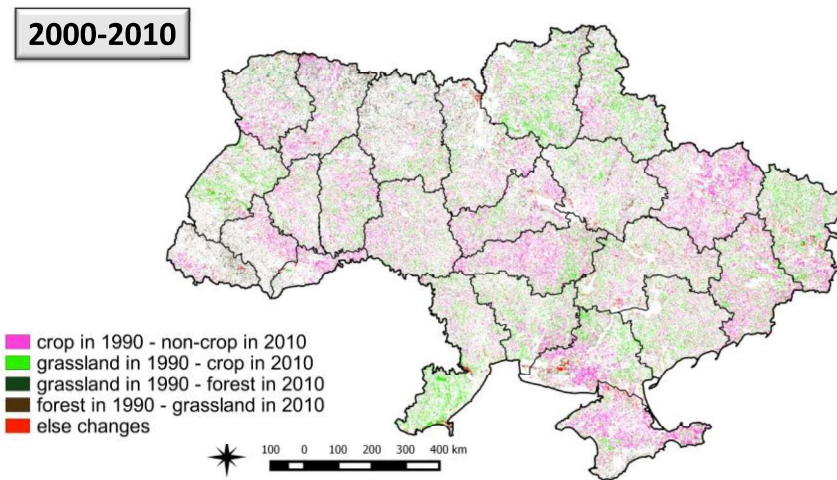


Рис. 2в Зміни земного покриття, 2000-2010, Інститут космічних досліджень

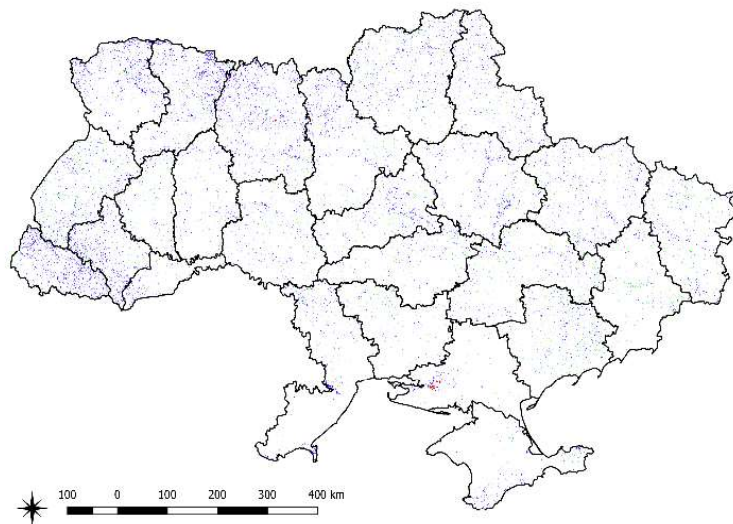
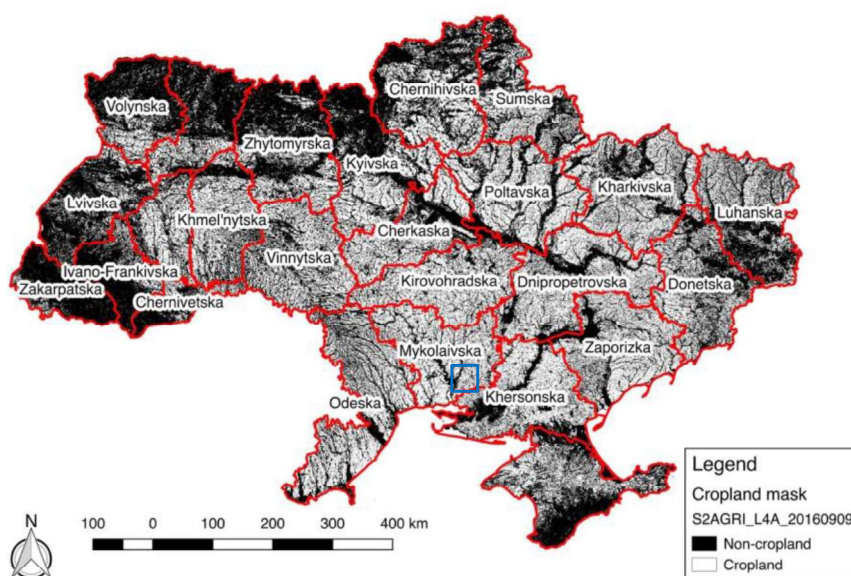


Рис. 3 Зміни земного покриття, 2000-2010, за глобальними даними

Найновіші результати.

В межах виконання проекту Sen2-Agri Європейського космічного агентства в ІКД НАНУ-ДКАУ у 2016-2017 рр. зібрані наземні дані для всієї території України. Так, у 2016 р. під час наземних завірок зібрано понад 7500 тисяч зразків типів земного покриву, з яких понад 5500 належать до земель сільськогосподарського призначення. В ході виконання проекту із використанням автоматизованих інформаційних технологій побудовано маску посівних площ для території України (Рис. 4).



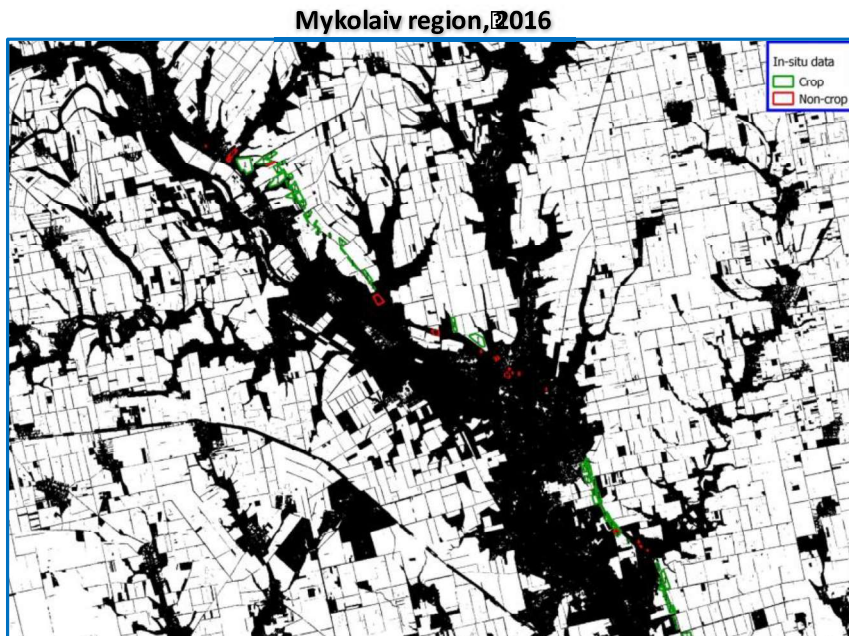


Рис. 4 Маска земель сільськогосподарського призначення, 2016 р,
Sen2-Agri

Порівняння даного продукту із даними статистики показує узгодженість результатів для основних аграрних територій. Ситуація із незгодженістю статистики для західної України є доволі типовою (Рис. 5).

Також в межах проекту Sen2-Agri проведена оцінка площ основних сільськогосподарських культур в ході побудови відповідних карт землекористування.

В табл. 3 приведено порівняння ряду с/г культур для території України в цілому та даних офіційної статистики.

Таблиця 3. Площі посівів окремих сільськогосподарських культур в масштабі України, тис.га

Культура	Sen2-Agri	Статистика
Кукурудза	4693.80	4544.7
Соя	2144.30	1846.3
Пшениця	7941.60	6213.8
Соняшник	8166.40	5904.5

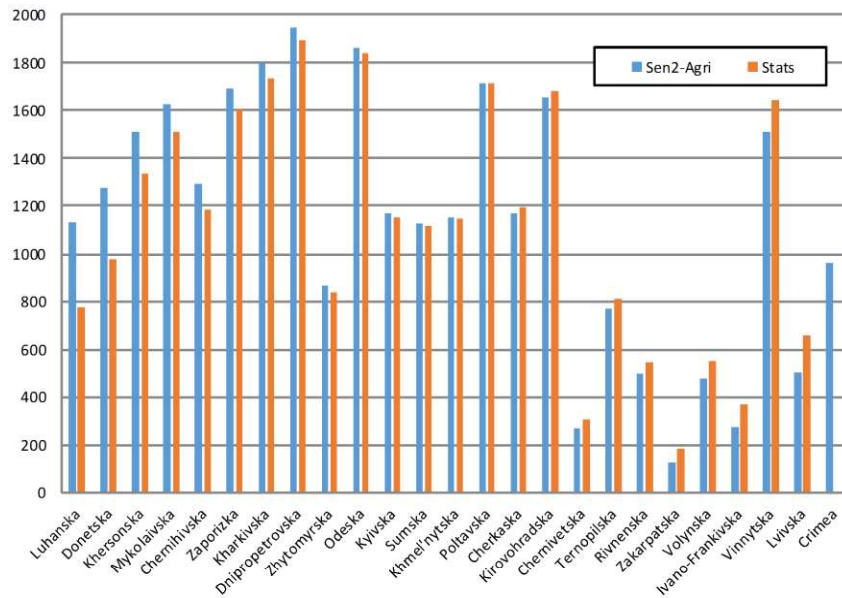


Рис. 5 Порівняння посівних площ, отриманих за супутниковими даними зі статистикою, 2016 р, Sen2-Agri

Висновки

Підготовка наземних даних, які потрібні для побудови карт земного покриття в масштабі України, та їх валідація є доволі

ресурсомісткою операцією, яка потребує значних людських та фінансових ресурсів. Водночас, нова ера у сфері безкоштовних супутникових даних, яка розпочалася із запуском супутників Sentinel-1 та Sentinel-2 відкриває по справжньому нові можливості для вирішення моніторингових задач у сфері сільського господарства із використанням великих обсягів супутникових даних [13, 14, 15, 16] із використанням високопродуктивних обчислень [17,18,19] та відповідного математичного апарату [20**Ошибка!** **Неизвестный аргумент ключа.**]. Це робить можливим, за наявності відповідного функціонування, регулярне оновлення карт землекористування, що є ключовим моментом в оцінці трендів змін земного покриття для території країни в цілому.

Список використаних джерел

1. UNCCD. 2015. Report of the Conference of the Parties on its twelfth session, held in Ankara from 12 to 23 October 2015. Part two: Actions. ICCD/COP(12)/20/Add.1. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), Bonn. See Decision3/COP.12, page 8. Available at: <http://www.unccd.int/Lists/OfficialDocuments/cop12/20add1eng.pdf>
2. Kussul, S. Skakun, A. Shelestov, M. Lavreniuk, B. Yailimov, and O. Kussul, "Regional Scale Crop Mapping Using Multi-Temporal Satellite Imagery", *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XL-7/W3, pp. 45–52, 2015. DOI:10.5194/isprsarchives-XL-7-W3-45-2015
3. M. S. Lavreniuk, S. V. Skakun, A. J. Shelestov, B. Y. Yalimov, S. L. Yanchevskii, D. J. Yaschuk, and A. I. Kosteckiy, "Large-Scale Classification of Land Cover Using Retrospective Satellite Data", *Cybernetics and Systems Analysis*, vol. 52, no. 1, pp. 127–138, 2016.
4. F. Waldner, ..., M. Lavreniuk, S. Skakun, N. Kussul, ..., and P. Defourny, "Towards a set of agrosystem-specific cropland mapping methods to address the global cropland diversity", *International Journal of Remote Sensing*, vol. 37, no. 14, pp. 3196-3231, 2016. DOI: 10.1080/01431161.2016.1194545.
5. F. Kogan, N. N. Kussul, T. I. Adamenko, S. V. Skakun, A. N. Kravchenko, A. A. Krivobok, ... & A. N. Lavrenyuk, "Winter wheat

yield forecasting: A comparative analysis of results of regression and biophysical models”, *Journal of Automation and Information Sciences*, vol. 45, no. 6, 2013.

6. A. Shelestov, A. Kolotii, F. Camacho, S. Skakun, O. Kussul, M. Lavreniuk, and O. Kostetsky, “Mapping of biophysical parameters based on high resolution EO imagery for JECAM test site in Ukraine”, *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, pp. 1733-1736, 2015.

7. A. Kolotii, N. Kussul, A. Shelestov, S. Skakun, B. Yailymov, R. Basarab, M. Lavreniuk, T. Oliinyk, and V. Ostapenko, “Comparison of biophysical and satellite predictors for wheat yield forecasting in Ukraine”, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XL-7/W3, pp. 39-44, 2015. DOI: 10.5194/isprsarchives-XL-7-W3-39-2015.

8. N. Kussul, A. Shelestov, R. Basarab, S. Skakun, O. Kussul, and M. Lavreniuk, “Geospatial Intelligence and Data Fusion Techniques for Sustainable Development Problems”, In *ICTERI*, vol. 1356, pp. 196–203, 2015.

9. N. Kussul, S. Skakun, A. Shelestov, O. Kussul, B. Yailymov, “Resilience Aspects in the Sensor Web Infrastructure for Natural Disaster Monitoring and Risk Assessment Based on Earth Observation Data”, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 7, no. 9, pp. 3826–3832, 2014. DOI: 10.1109/JSTARS.2014.2313573.

10. N. Kussul, N. Lavreniuk, A. Shelestov, B. Yailymov, and I. Butko, “Land Cover Changes Analysis Based on Deep Machine Learning Technique”, *Journal of Automation and Information Sciences*, vol, 48, issue 5, pp. 42-54, 2016.

11. M. Lavreniuk, N. Kussul, S. Skakun, A. Shelestov, and B. Yailymov, “Regional retrospective high resolution land cover for Ukraine: Methodology and results”, *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, pp. 3965-3968, 2015.

12. N. Kussul, G. Lemoine, J. Gallego, S. Skakun, and M. Lavreniuk, “Parcel based classification for agricultural mapping and monitoring using multi-temporal satellite image sequences”, *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, pp. 165-168, 2015.

13. Kussul, N., Lavreniuk, M., Skakun, S., & Shelestov, A. (2017). Deep Learning Classification of Land Cover and Crop Types Using Remote Sensing Data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 14(5), 778-782.
14. Kussul, N., Skakun, S., Shelestov, A., & Kussul, O., "The use of satellite SAR imagery to crop classification in Ukraine within JECAM project", *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, pp. 1497-1500, 2014.
15. N. Kussul, G. Lemoine, F. J. Gallego, S. V. Skakun, M. Lavreniuk, and A. Y. Shelestov, "Parcel-Based Crop Classification in Ukraine Using Landsat-8 Data and Sentinel-1A Data", *IEEE J. of Select. Topics in Appl. Earth Observ. and Rem. Sens.*, vol. 9, no. 6, pp. 2500–2508, 2016.
16. S. Skakun, N. Kussul, A. Y. Shelestov, M. Lavreniuk, and O. Kussul, "Efficiency Assessment of Multitemporal C-Band Radarsat-2 Intensity and Landsat-8 Surface Reflectance Satellite Imagery for Crop Classification in Ukraine", *IEEE J. of Select. Topics in Applied Earth Obser. and Rem. Sens.*, vol. 9, no. 8, pp. 3712-3719, 2016.
17. N. Kussul, A. Shelestov, S. Skakun, O. Kravchenko, O. "High-performance intelligent computations for environmental and disaster monitoring", *Int. J. Information Technologies & Knowledge*, vol. 3, pp. 135-156, 2009.
18. N. Kussul, A. Shelestov, S. Skakun, "Grid technologies for satellite data processing and management within international disaster monitoring projects", *Grid and Cloud Database Management*, Springer Berlin Heidelberg, pp. 279-305, 2011.
19. Kravchenko, A. N., Kussul, N. N., Lupian, E. A., Savorsky, V. P., Hluchy, L., & Shelestov, A. Y. "Water resource quality monitoring using heterogeneous data and high-performance computations", *Cybernetics and Systems Analysis*, vol. 44, pp. 616-624, 2008.
20. G. M. Bakan, N. N. Kussul, "Fuzzy ellipsoidal filtering algorithm of static object state", *Problemy Upravleniya I Informatiki (Avtomatika)*, vol. 5, pp. 77-92, 1996.