
КАРТА ЗЕМНОГО ПОКРИВУ ВИСОКОГО РОЗРІЗНЕННЯ ДЛЯ ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

Н.М. Куссуль^{1,2}, А.Ю. Шелестов^{2,1}, Р.М. Басараб¹,
Б.Я. Яйлимов¹, М.С. Лавренюк^{1,3}, А.В. Колотій^{1,2}

¹ Інститут космічних досліджень НАН України та ДКА України (ІКД НАНУ та ДКАУ)

² Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» (НТУУ «КПІ»)

³ Київський національний університет ім. Т. Шевченка (КНУ)

Карти земного покриття (land cover maps) відіграють важливу роль в осмисленні динаміки екосистем та розв'язанні багатьох задач супутникового моніторингу. Зокрема, такі карти необхідні для визначення змін та тенденцій у землекористуванні, підвищення точності класифікації та оцінки площ земного покриття, аналізу кліматичних змін та їх впливу на біосферу [1–5].

Глобальні набори даних щодо земного покриття на основі супутникової зйомки почали будувати в 1980-х рр. Як правило, такі карти мали низьке геопросторове розрізнення і не відзначалися високою точністю. Побудова карт на основі даних низького розрізнення спричиняє недооцінку або переоцінку площ певних типів земного покриття чи їх змін. Тому з появою у вільному доступі часових рядів даних супутників Landsat надзвичайно актуальною стала задача побудови глобальних і регіональних карт земного покриття на основі супутникових зображень високого (30 м) просторового розрізнення.

У даному дослідженні автори побудували такі карти для території України на основі даних Landsat 4, 5, та 7 за 1990, 2000 та 2010 рр, що дозволяє оцінити загальні тенденції змін землекористування в Україні. Нижче розглянуто підхід до побудови ретроспективних карт земного покриття на основі даних Landsat, який включає етапи: підготовка, навчання, валідація даних, розроблення методу класифікації та аналіз отриманих результатів.

Супутникові дані

При побудові карт земного покриття використовуються дані Landsat видимого (blue, green, red), ближнього інфрачервоного (NIR) та середнього інфрачервоного (MIR) спектрів з просторовим розрізненням 30 м. Використано продукт атмосферної корекції даних Landsat 4, 5, 7, отриманих з геопорталу геологічної служби США (United States Geological Survey). Кожне

супутникове зображення для території України перепроєктовується в проекцію з рівновеликими площами (Albers Equal Area Projection). Для покращення якості даних у випадках їх значної захмареності та наявності часового ряду знімків виконувалась процедура відновлення відповідно до методики [6, 7].

Загалом, для побудови карт земного покриття для 1990, 2000 та 2010 рр. було використано 117, 161 і 185 сцен Landsat 4, 5, 7. В 1990 році частини України були покриті лише одним зображенням (рис. 1), тому використовувалися зображення, отримані з супутників Landsat в 1989 та 1991 роках, щоб заповнити прогалини 1990 року через хмари та тіні від них.

Формування навчальної та тестової вибірок

Процедура класифікації була виконана для шести основних класів земного покриття, що відповідають номенклатурі LUCAS. Серед них: штучні об'єкти, землі сільськогосподарського призначення, ліс, необроблювані землі, відкритий ґрунт та вода. Оскільки класифікація здійснювалась за ретроспективними даними, для побудови навчальної вибірки використовувався метод фотоінтерпретації. При цьому в процесі побудови навчальної вибірки важливо забезпечити пропорційне представлення всіх класів земної поверхні по всій цільовій території. В результаті формування полігонів отримано вибірку, що містить 13575 полігонів для 2010 р., 13492 — для 2000 р. та 14261 — для 1990 р. Вибірка, побудована окремо для кожної області України, випадковим чином розбивалась на дві множини (рис. 2): навчальну (становить 50 % від загальної кількості полігонів) та тестову (інші 50 %). Для виключення з розгляду населених пунктів використовується векторна маска, побудована для всієї території України шляхом оцифрування даних високого розрізнення.

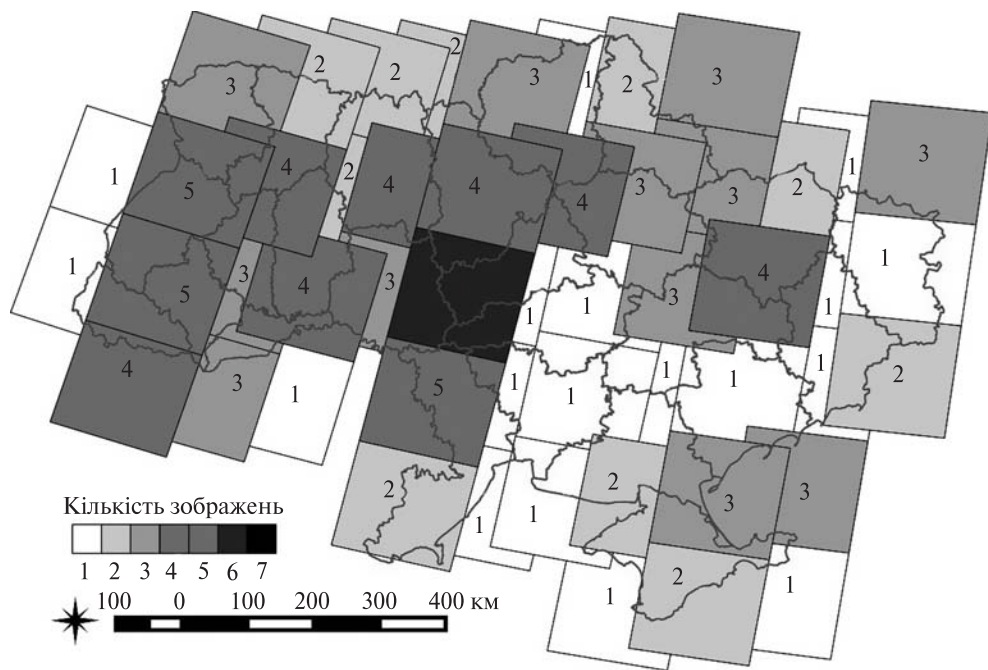


Рис. 1. Кількість зображень Landsat 4, 5, 7, які охоплюють всю територію України, 1990 р.

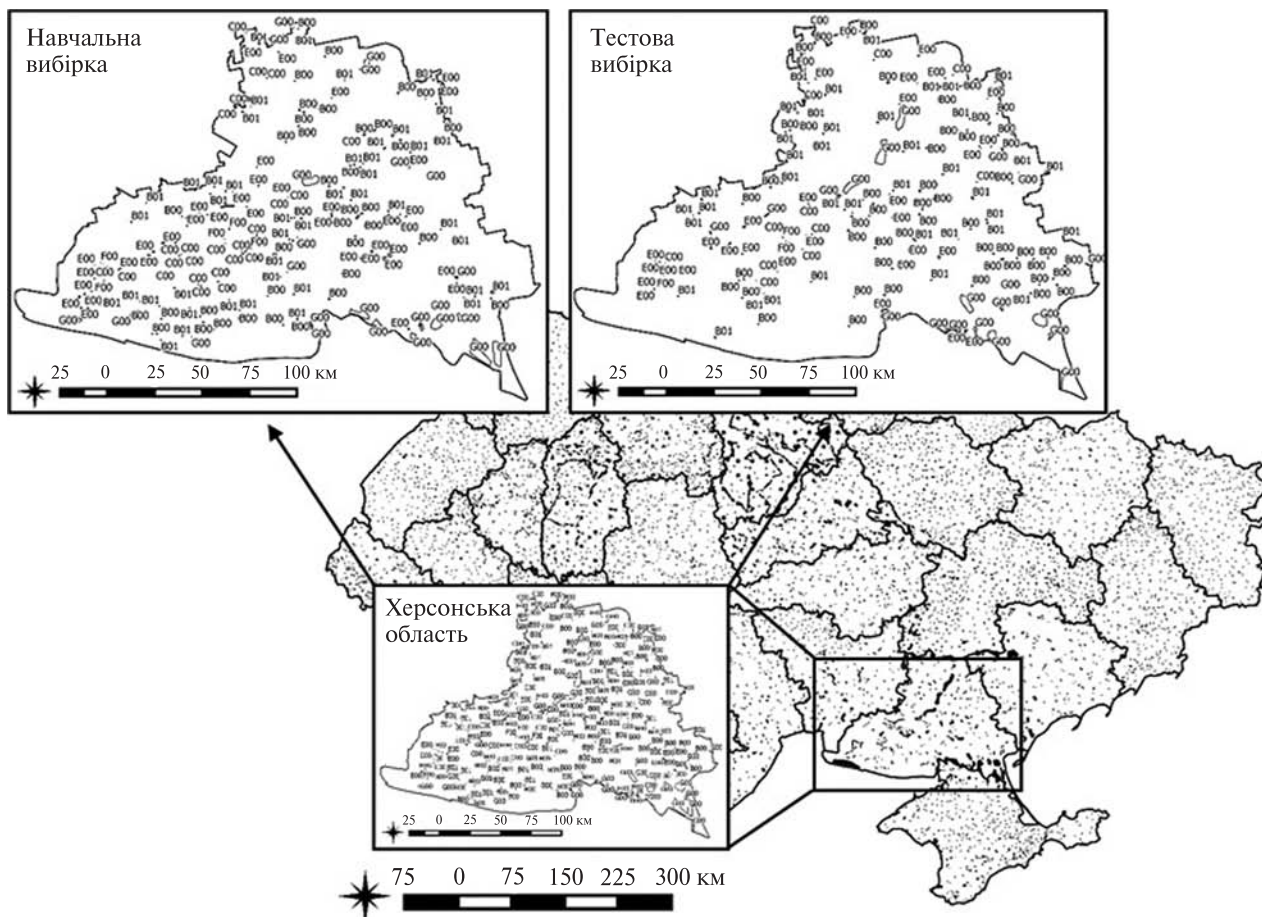


Рис. 2. Сформована вибірка для території України за 2010 р. Приклад випадкового поділу вибірки на навчальну та тестову для Херсонської області

Попередня обробка даних та метод класифікації

Під час попередньої обробки супутникові зображення Landsat 4, 5, 7 були об'єднані в багатоспектральні зображення для однієї дати. Початкові зображення містять 6 спектральних каналів та 3 канали з маскою хмар, тінню та контурами від хмар. На основі маски хмарності відбираються зображення, що містять не більше, ніж 50 % захмареної території. На наступному кроці відбувається відновлення захмарених пікселів на основі часового ряду (послідовність знімків, що покривають одну територію впродовж року) за допомогою карт Кохонена (self-organising map — SOM) [6, 7, 9—11]. Для класифікації використовується ансамбль нейронних мереж на основі багатосарових перцептронів (MLP — multi-layer perceptron), в якому кількість прихованих нейронів підбирається в залежності від кількості каналів зображень, поданих на навчання.

Проведені експерименти показали, що використання ансамблю нейронних мереж підвищує точність класифікації, в порівнянні з окремою нейронною мережею [10—16]. Кожна нейронна мережа після класифікації видає апостеріорну імовірність належності вхідного пікселю до певного класу [17, 18].

Було проведено два різних експерименти з використанням часових рядів знімків Landsat. У першому підході супутникові зображення об'єднуються в один вектор ознак, який був ви-

користаний для класифікації та побудови карти. Другий підхід полягає в класифікації кожного зображення окремо, а потім злиття отриманих карт в одну. Злиття карт класифікації виконувалось шляхом максимізації середньої апостеріорної ймовірності класів з урахуванням кількості безхмарних пікселів. Це виконувалось для того, щоб лише надійні пікселі використовувались для прийняття остаточного рішення при визначенні класу земного покриття.

В результаті, перший підхід до злиття даних класифікації з використанням ансамблю нейронних мереж показав кращі результати, зокрема, отримана точніша карта класифікації на незалежній тестовій вибірці.

Практична реалізація методу класифікації та аналіз отриманих результатів

Розроблена методологія була використана для побудови карт земного покриття для всієї території України на основі супутникових даних (рис. 3, див. вклейку). Отримані карти дають можливість оцінити загальні тенденції розвитку земних покривів різного призначення протягом трьох десятиліть. Наприклад, порівняння оброблюваних земельних площ для 1990, 2000 і 2010 років показали збільшення необроблюваних земель, зокрема, в північній частині України.

Аналізуючи побудовані тематичні карти за декілька періодів часу, можна помітити певну закономірність. Зокрема, тенденція зміни зем-

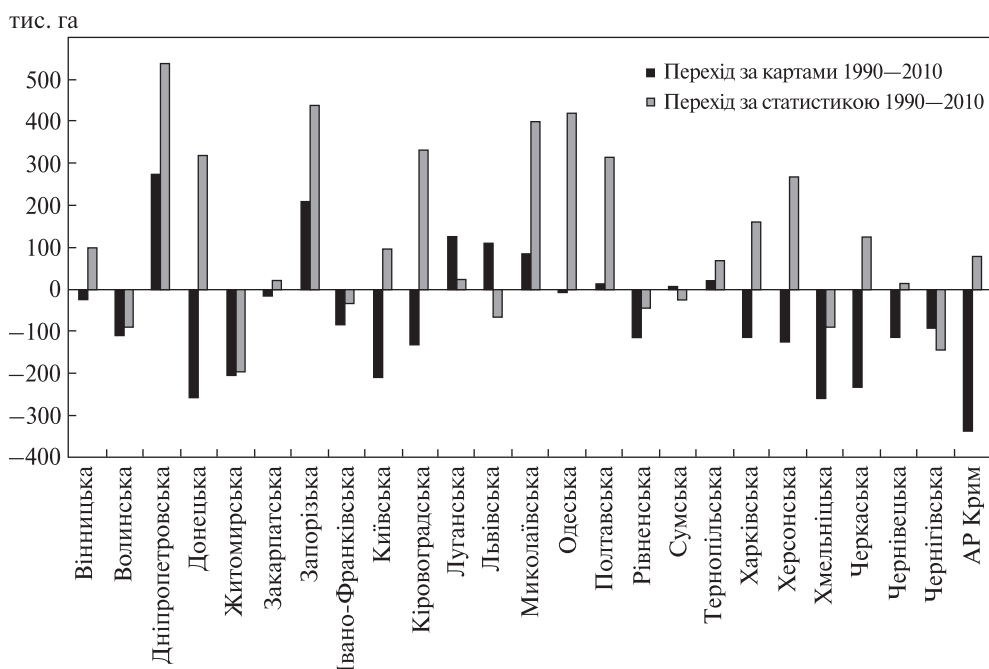


Рис. 5. Зміни площ оброблюваних земель в період 1990—2010 рр. за статистичними даними та по картах класифікації

ного покриття для Київської області показана на рис. 3. Значна частина сільськогосподарських земель в 1990 р. поступово перетворилась в необроблювані землі. Особливо це помітно в північно-західній частині Київської області.

Для оцінки точності класифікації використано два підходи: оцінка точності на незалежній тестовій вибірці; порівняння площ класів земного покриття по областях з офіційною статистикою. Точність для кожного з класів на незалежній тестовій вибірці становить не менше ніж 70 %. Найнижча точність класифікації спостерігається для штучних об'єктів (оскільки цей клас містить малу кількість полігонів у вибірці та є невеликим за розміром) і для необроблюваних земель (цей клас важко відділити від оброблюваних сільськогосподарських земель). В рамках другого підходу для кожної області України проведено порівняння площ з офіційною статистикою для кожного періоду часу (1990, 2000 і 2010 рр.). Статистичні дані не можна вважати цілком узгодженими, проте це є єдиним способом оцінити точність класифікації не лише на обмеженій, хоч і незалежній вибірці, а на всій території України.

В результаті геопросторового аналізу змін земного покриття отримані показники на рівнях: попиксельному, в розрізі адміністративних районів та областей. Графічне представлення отриманих результатів наведено на рис. 4 (див. вклейку) (узагальнення по районам і областям). На растровій (попиксельній) карті показано основні переходи: ліловим кольором виділено перехід оброблюваних земель в необроблювані, зеленим — необроблюваних в оброблювані. Червоним кольором показані адміністративні одиниці, для яких збільшилася площа необроблюваних земель, а зеленим кольором виділені ті, для яких вона зменшилася.

Порівнюючи отримані результати для областей України за період 1990—2010 рр. з даними офіційної статистики, можна побачити певні розбіжності. Результати порівняльного аналізу зміни площі оброблюваних земель для окремих областей у 1990—2010 рр. за статистичними даними і на основі супутникових спостережень наводяться на рис. 5.

Для переважної більшості областей України помилка класифікації відносно даних офіційної статистики, пронормована до площі області, для необроблюваних земель та посівних площ лежить в межах 5—15 %, для класу ліс — в межах 5 %. Також проведено порівняння точності отриманої для України карти класифікації з існуючою глобальною картою земного покриття GlobeLand30-

2010 з просторовим розрізненням 30 м. Загальна точність отриманої карти класифікації для України на 8 % вища, ніж для GlobeLand30-2010. Точність класифікації необроблюваних земель на отриманих картах вища на +25 % (точність виробника) і +55 % (точність користувача), ніж точність GlobeLand30-2010. Основною проблемою карти GlobeLand30-2010 є те, що вона не враховує регіональних особливостей.

Висновки

Розроблено методологію побудови ретроспективних карт земного покриття великих територій за супутниковими даними з просторовим розрізненням 30 м, побудовано карти для всієї території України із просторовим розрізненням 30 м [19]. Запропонована методологія передбачає використання нейромережевої класифікації часових рядів супутникових даних, на яких попередньо відновлена інформація в захмарених областях, з подальшим об'єднанням отриманих карт для всієї території.

Використання інтелектуальних методів обробки часових рядів даних Landsat дозволило забезпечити загальну точність класифікації даних за 1990, 2000 та 2010 рр. не нижче, ніж 70 % (на незалежній вибірці на регулярній сітці) для окремих класів по областях і приблизно на 8 % покращити якість картографування, порівняно з іншими картами земного покриття України з просторовим розрізненням 30 м (а саме — GlobeLand30-2010). Розроблена методологія дозволяє автоматизовано будувати карти земного покриття України на регулярній основі, що є важливим для вирішення багатьох прикладних задач.

References

1. Gallego F., Kussul N., Skakun S., Kravchenko O., Shelestov A., Kussul O. Efficiency assessment of using satellite data for crop area estimation in Ukraine // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. — 2014. — V. 29. — P. 22—30.
2. Kussul N., Skakun S., Shelestov A., Kravchenko O., Kussul O. Crop classification in Ukraine using satellite optical and SAR images // *Models&Analyses*. — 2013. — V. 2. — No. 2. — P. 118—128.
3. Kussul N., Skakun S., Shelestov A., Lavreniuk M. Large Scale Crop Classification in Ukraine using Multi-temporal Landsat 8 Images with Missing Data / *Proceedings of American Geophysical Union Fall Meeting (AGU 2014)*, December 15—19, 2014, San Francisco, USA.
4. Lavreniuk M., Kussul N., Skakun S. Integrated Use of Multi-temporal SAR and Optical Satellite Imagery for Crop Mapping in Ukraine / *Proceedings of American Geophysical Union Fall Meeting (AGU 2014)*, December 15—19, 2014, San Francisco, USA

5. *Skakun S., Kussul N., Basarab R.* Dealing with missing data in remote sensing images within land and crop classification / Proceedings of 40th COSPAR Scientific Assembly, August 2–10, 2014, Moscow. — P. 3–14.
6. *Skakun S., Basarab R.* Reconstruction of Missing Data in Time-Series of Optical Satellite Images Using Self-Organizing Kohonen Maps // Journal of Automation and Information Sciences. — 2014. — V. 46. — No. 12. — P. 19–26.
7. *Skakun S., Kussul N., Basarab R.* Restoration of Missing Data due to Clouds on Optical Satellite Imagery Using Neural Networks / In: ESA SENTINEL-2 for Science Workshop, ESA-ESRIN, May 20–22, 2014, Frascati, Rome, Italy. Available at: http://seom.esa.int/S2forScience2014/files/05_S2forScience-MethodsI_KUSSUL.pdf.
8. *Kussul N., Shelestov A., Skakun S., Li G., Kussul O.* The Wide Area Grid Testbed for Flood Monitoring Using Earth Observation Data // IEEE J. Sel. Topics in Appl. Earth Observations Remote Sens. — 2012. — V. 5. — No. 6. — P. 1746–1751.
9. *Kussul N., Shelestov A., Skakun S.* Flood Monitoring from SAR Data, in: Use of Satellite and In-Situ Data to Improve Sustainability / Eds F. Kogan, A. Powell, O. Fedorov. — Springer, NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. — 2011. — P. 19–29.
10. *Shelestov A.Yu., Kravchenko A.N., Skakun S.V., Voloshin S.V., Kussul N.N.* Geospatial information system for agricultural monitoring // Cybernetics and System Analysis. — V. 49. — No. 1. — P. 124–132.
11. *Skakun S., Kussul N., Shelestov A., Kussul O.* The use of satellite data for agriculture drought risk quantification in Ukraine // Geomatics, Natural Hazards and Risk. — 2015. — DOI: 10.1080/19475705.2015.1016555.
12. *Skakun S., Kussul N., Shelestov A., Kussul O.* Flood Hazard and Flood Risk Assessment Using a Time Series of Satellite Images: A Case Study in Namibia // Risk Analysis. — 2014. — V. 34. — No. 8. — P. 1521–1537.
13. *Gallego J., Kravchenko A., Kussul N., Skakun S., Shelestov A., Grypych Y.* Efficiency Assessment of Different Approaches to Crop Classification Based on Satellite and Ground Observations // Journal of Automation and Information Sciences. — 2012. — V. 44. — No. 5. — P. 67–80.
14. *Kussul N.N.* Neural networks learning using method of fuzzy ellipsoidal estimates // Journal of Automation and Information Sciences. — 2001. — V. 33. — No. 3. — P. 52–57.
15. *Shelestov A., Kussul N.* Using the fuzzy-ellipsoid method for robust estimation of the state of a grid system node // Cybern. Syst. Anal. — 2008. — V. 44. — No. 6. — P. 847–854.
16. *Kussul N., Lupian E., Shelestov A., Skakun S., Tishchenko Yu., Hluchy L.* Determination of Inundated Territories on the Basis of Integration of Heterogeneous Data // Journal of Automation and Information Sciences. — 2007. — V. 39. — No. 9. — P. 42–51.
17. *Kussul N., Skakun S., Shelestov A., Kussul O.* The use of satellite SAR imagery to crop classification in Ukraine within JECAM project / Proceedings of IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium, July 13–18, 2014, Quebec City, Canada. — P. 1497–1500.
18. *Lavreniuk M., Kussul N., Skakun S., Shelestov A., Yaiymov B.* Regional retrospective high resolution land cover for Ukraine: methodology and results / Proceedings of IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium, July 26–31, 2015, Milan, Italy. — P. 3965–3968.

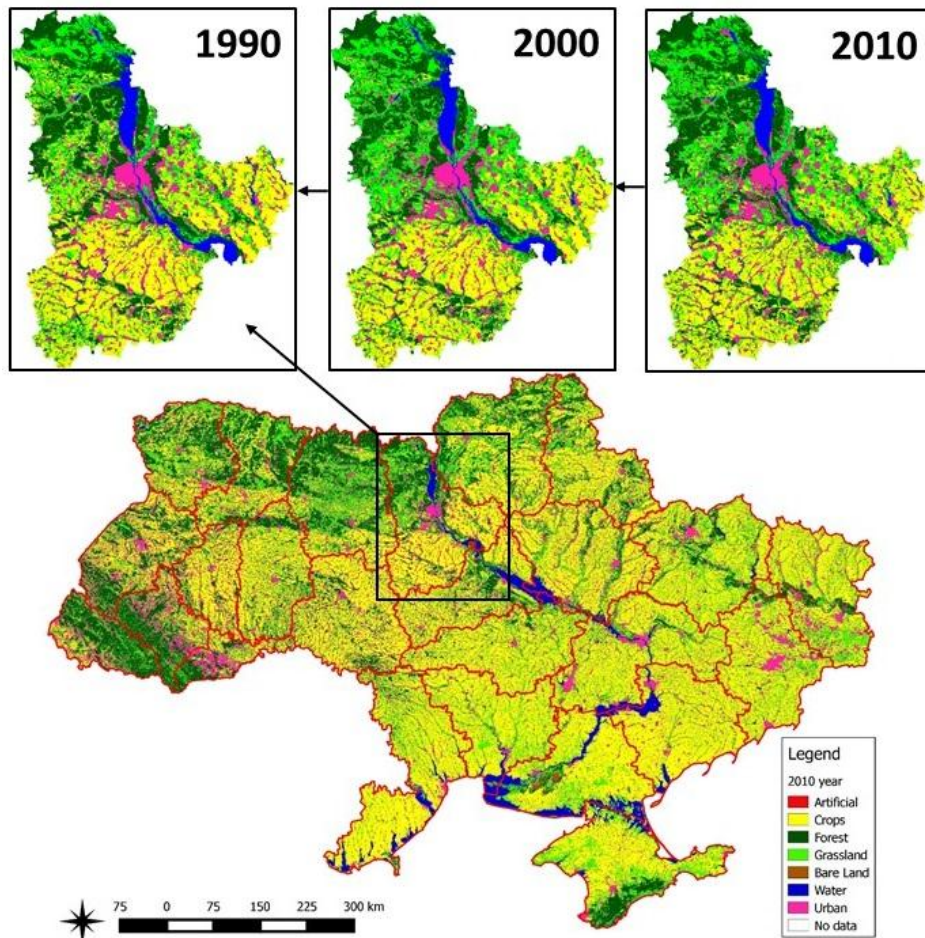


Fig. 3. Final crop classification map for the whole Ukraine using Landsat 5, 7 satellite imagery in 2010

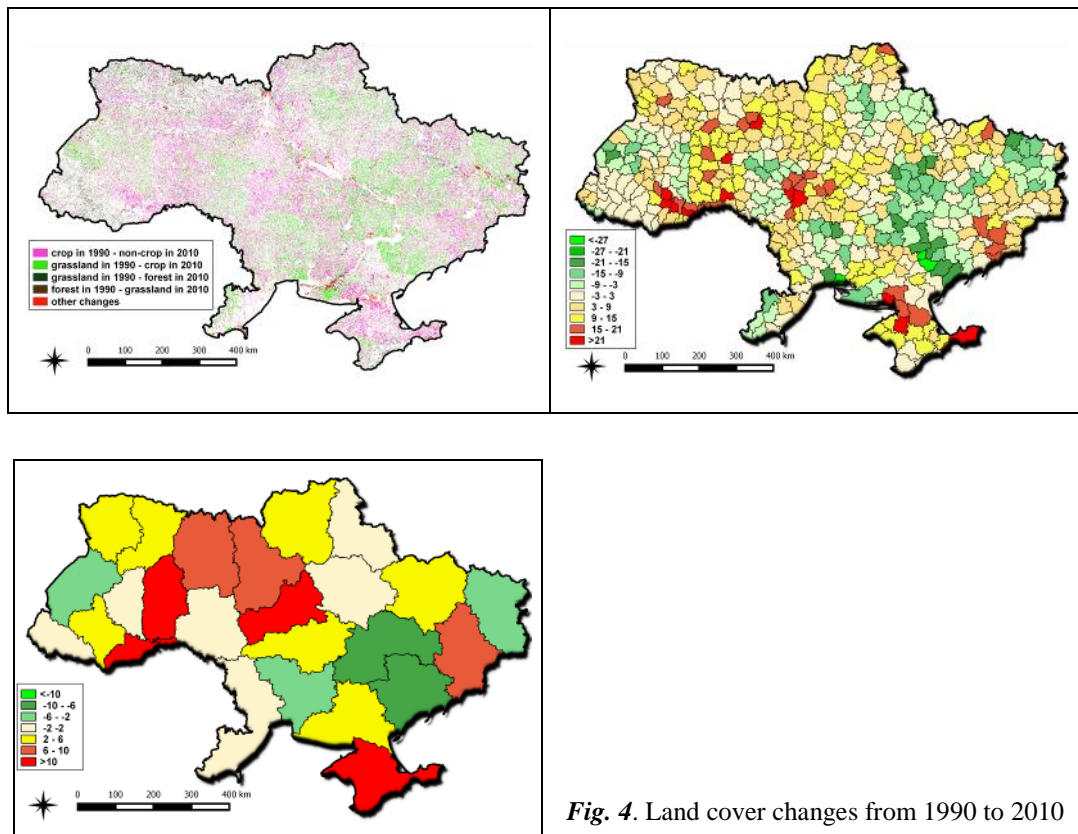


Fig. 4. Land cover changes from 1990 to 2010