ДОСЛІДЖЕННЯ

екодія
ecoaction.org.ua

ВЕЛИКОМАСШТАБНІ ІНВЕСТИЦІЇ ТА ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ В УКРАЇНІ НА КОСМІЧНИХ ЗНІМКАХ

АВТОРИ
Антон Біатов,
Олег Прилуцький
Михайло Амосов

РЕДАКТОР
Ганна Заворотна

Київ-2019

Замість передмови

Наскільки дбайливо ставляться до землі агрокомпанії, які беруть її у користування? Відповідь на це питання ми спробували отримати через дистанційну оцінку стану земель в районах, де бізнес інвестував у сільське господарство.

Існує припущення, що при виборі культур для посадки агрокомпанії керуються виключно прогнозами ринкових цін на сільськогосподарські культури на наступний рік, не дотримуються сівозмін та цим самим порушують Постанову КМУ № 164 від 11.02.2010 р. Це суперечить поняттю сталого землекористування та негативно впливає на навколишнє середовище, зокрема виснажує ґрунти.

На це запитання могли відповісти новітні технології: аналіз космічних знімків за допомогою геоінформаційних технологій. Метою цього аналізу було перевірити, чи дотримуються компанії сівозмін і чи не розорюють вони території природно-заповідного фонду, прибережні смуги та ділянки на схилах.

Територіями дослідження стали три ділянки на заході та у центрі України. Згідно з інформацією ініціативи Ленд Матрикс (Land Matrix Initiative), компанії з іноземними інвестиціями взяли в оренду землі у цих регіонах орієнтовно у 2004 та у 2008–09 роках.

Під час проведення дослідження стало зрозуміло, що алгоритму, який мав розпізнавати сільгосп культури автоматично, бракує перевіреної інформації про культури, що висівалися у минулі роки. Це не дозволило чітко зафіксувати порушення у дотриманні сівозмін (с. 23). Отримати більше інформації про культури, які висівалися у минулі роки, не було можливим, оскільки підприємства трактують таку інформацію як конфіденційну. Незважаючи на це, розроблена методика, дозволить продовжити моніторинг землекористування на даних ділянках та поступово охопити інші регіони країни.

В ході дослідження з’ясувалось, що в Україні інтенсивно використовуються землі природно-заповідного фонду та схилові землі, що є вразливим до ерозії. Саме за рахунок схилових земель розширюються земельні банки агрокомпаній з початку 2000-х до сьогодні. Як наслідок, розвивається водна ерозія, яка просто змиває верхній родючий шар ґрунту (с. 16) та сприяє більшому стоку залишків пестицидів та мінеральних добрив до водойм.

Також дослідження зафіксувало розорані території у Національному природному парку “Галицький”, на заплавних луках долини річки Лімниця та посеред лісових масивів нацпарку поблизу сіл Середня та Темирівці Івано-Франківської області (с. 33). За даними Публічної кадастрової карти України, ці землі орендуються компаніями з іноземними інвестиціями.

Результати дослідження свідчать, що на місцях не вистачає державного контролю за використанням земель. Це дозволяє розорювати ділянки, які не мають використовуватися під посів.

Зміст

Вступ 05

Матеріали та методи 07

Отримання та первинна обробка даних 08

Польові дані 09

Дані дистанційного зондування Землі 10

Розпізнавання типів земного покриву за даними ДЗЗ 11

Результати 15

Динаміка орних земель 16

Дослідження розподілу сільськогосподарських культур 23

Порівняння з альтернативними системами моніторингу типів землекористування 28

Вплив сільськогосподарської діяльності на природне середовище, об’єкти природно-заповідного фонду та Смарагдової мережі України 31

Обговорення результатів і напрямки подальших досліджень 35

Посилання 37

Додатки 39

Розроблено робочу методику розпізнавання сільгоспкультур за даними дистанційного зондування Землі, засновану на принципах машинного навчання. За її допомогою було здійснено спробу ідентифікувати зміни характеру землекористування у трьох регіонах України.

Вступ

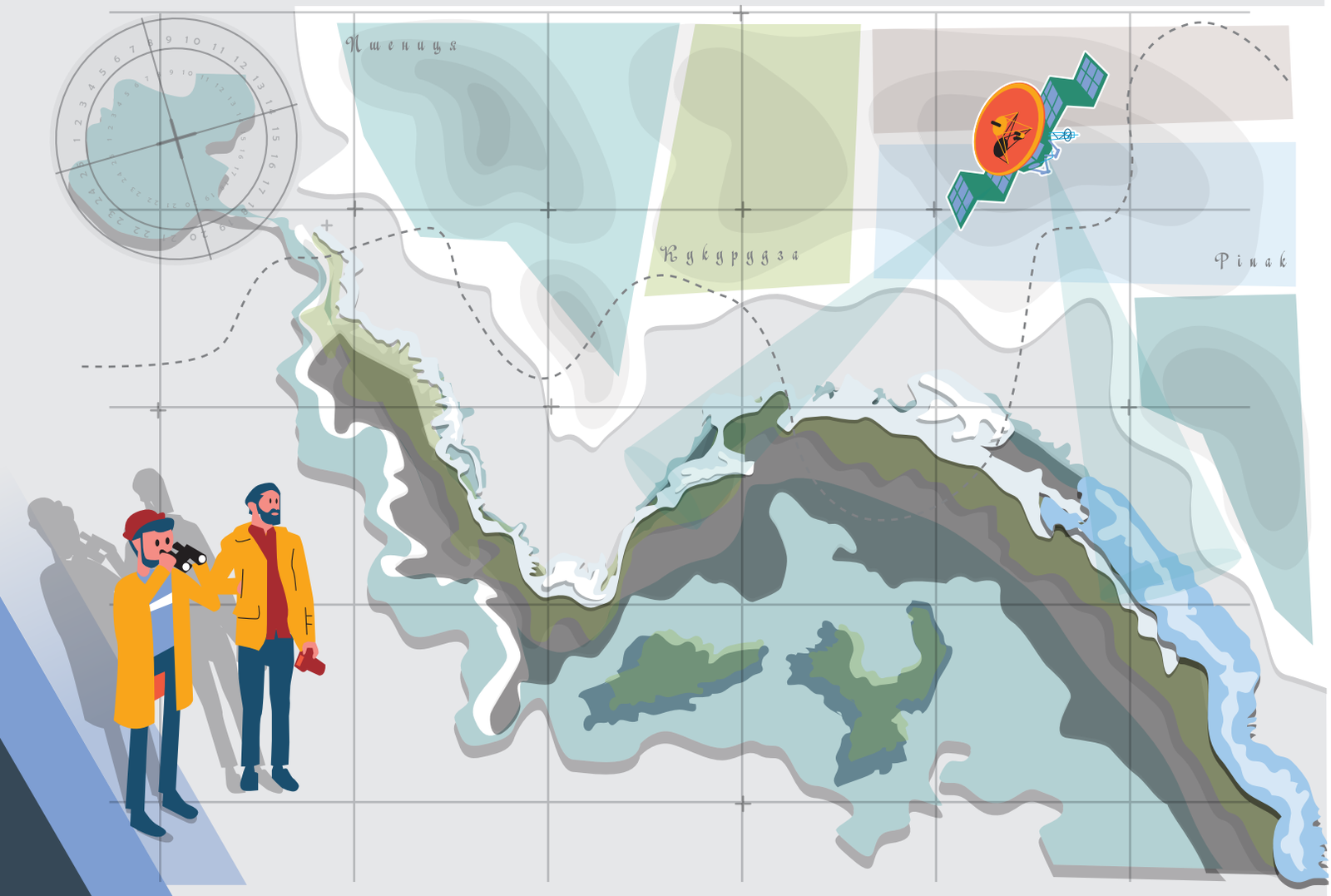
Розробка систем дистанційного моніторингу типів землекористування набуває все більшої актуальності у зв'язку з потребами розширення громадського контролю суб'єктів господарювання, виявлення трендів змін у землекористуванні, ухвалення рішень з урахуванням потреб сталого розвитку місцевих громад.

Існує низка ініціатив і картографічних сервісів, що аналізують і надають у відкритий доступ дані землекористування, як глобальних («The Land Matrix. Global Map» 2019; Hansen et al. 2013; Earth Observing System n.d.), так і пан-європейських («Copernicus Land Monitoring Service» 2019; «CORINE Land Cover» 2018). В Україні за підтримки Світового банку також було створено інформаційну систему, покликану автоматизовано розпізнавати типи землекористування й окремі класи посівів («Програма Світового Банку «Підтримка Прозорого Управління Земельними Ресурсами в Україні»» n.d.). Спільною рисою зазначених сервісів є низька здатність до розрізнення різних типів сільгоспкультур. Переважна більшість сервісів об'єднують всі землі, що обробляються, до одного класу «агроландшафтів». Водночас для розуміння актуальної ситуації у землекористуванні необхідні детальні дані про розподіл конкретних сільгоспкультур у просторі та часі. У цій роботі здійснено спробу напрацювати методику детального розрізнення сільгоспкультур на кількох модельних територіях Центру та Заходу України.

До основних методів, що використовуються у сучасних працях із розпізнавання типів покриву за даними дистанційного зондування Землі (далі — ДЗЗ), належать кластеризація k-середніх (k-mean clustering), об'єктна класифікація (object-based classfication), дерева прийняття рішень (decision trees) і ансамблеві методи машинного навчання, такі як метод опорних векторів (support vector machine) та random forest (або випадкові ліси дерев рішень) (Belgiu and Csillik 2018; Kamusoko 2019; Ustuner et al. 2014).

Основними факторами, що впливають на якість класифікації наземного покриву за даними ДЗЗ, є дефіцит навчальних даних, помилки у навчальних даних, неправильно обрані комбінації каналів супутникової зйомки або вегетаційні індекси, розраховані на її основі (Kamusoko 2019).

Для мінімізації помилок, спричинених останніми факторами, ми обрали метод RandomForest, для якого показана слабка чутливість до надлишку незначущих змінних у наборі растрових даних для тренування моделі. Це дало нам змогу максимально розширити спектр каналів і розрахованих на їх основі вегетаційних індексів при створенні первинних растрів, не ризикуючи знизити предиктивну здатність моделі за рахунок «шуму» (Palchowdhuri et al. 2018).



Отримання та первинна обробка даних

Матеріали та методи

Дослідження проводили на трьох територіях, розташованих в Івано-Франківській і Вінницькій областях України, під умовними назвами «Галич», «Ладижин» і «Шаргород».

Польові дані

Дані дистанційного зондування

Отримання та первинна обробка даних

Дослідження проводили на трьох територіях, розташованих в Івано-Франківській і Вінницькій областях України, під умовними назвами «Галич», «Ладижин» і «Шаргород».

А
Галич

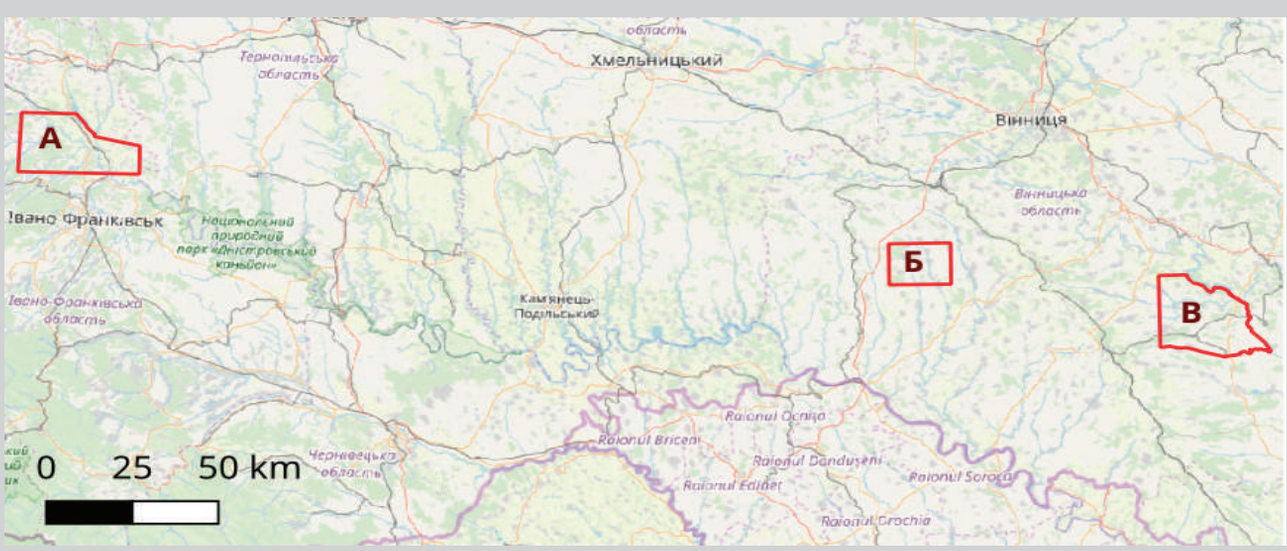
Б
Шаргород

В
Ладижин

Нижче наведено схему розташування ділянок. Загальна площа ділянки «Галич» становить 55,17 тис. га, «Ладижин» — 59,27 тис. га, «Шаргород» — 25,75 тис. га.

Дані ділянки були обрані об'єктами дослідження через те, що на цих територіях міжнародна моніторингова ініціатива Land Matrix зафіксувала великомасштабні земельні угоди за участі іноземних інвесторів. Це відбулося 2004 року — на ділянці «Галич», 2007–2008 роках — на ділянці «Шаргород» і у 2009–2010 роках — на ділянці «Ладижин» (див. офіційний сайт ініціативи Land Matrix). Дослідження допоможе продемонструвати зміну землекористування до отримання сільськогосподарських земель під контроль та після.

РОЗТАШУВАННЯ ДОСЛІДНИХ ДІЛЯНОК



Для кожної з ділянок збирали наземні дані (геоприв'язані точки, що відповідають певним класам землекористування), а також створювали набори інформації ДЗЗ.

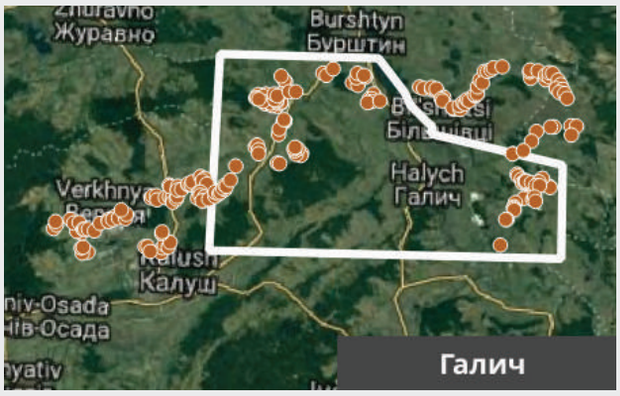
Польові дані

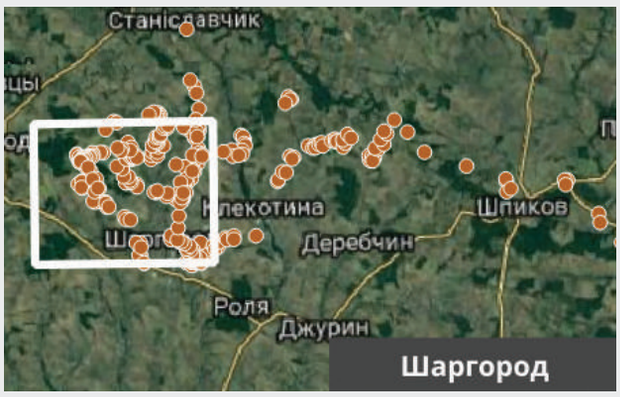
Наземні дані для навчання моделей і оцінки точності отриманих результатів було отримано у період червня-вересня 2019 р. шляхом прямого спостереження під час експедиційних виїздів на місцевість. Для збору даних було проведено близько 800 км трансектних обстежень, під час яких фіксували тип землекористування для окремих однорідних ділянок і вирощувану у поточному році сільгоспкультуру (для орних земель). Загалом було зібрано 532 точки для 27 класів покриву; на основі них було згенеровано у середовищі QGIS3.4 (Quantum GIS Development Team 2019) навчальні полігони. Для мінімізації хибної класифікації у ході подальшого аналізу близькі класи покриву було об'єднано у 15 класів:

- **Cereals** злаки (переважно озима пшениця)
- **Rapeseed** ріпак (тільки озимий, в умовах досліджуваних територій)
- **Maize** кукурудза
- **Sunflower** соняшник
- **Soybean** соя
- **Beet** цукрові буряки
- **Alfalfa** кормові трави (посадки люцерни або конюшини)
- **Fallow** поля під паром (поля, неорані у поточному році)
- **Gardens** сади
- **Deciduous forests** листяні ліси
- **Coniferous forests** хвойні ліси
- **Grassland** природні трав'яні угруповання (луки та степи)
- **Moor** водно-болотні угіддя (очерети, низові болота)
- **Water** відкриті водойми
- **Settlement** об'єкти інфраструктури (будівлі, дороги, населені пункти).

ПОКРИТТЯ НАЗЕМНИМИ ДАНИМИ

ДЛЯ НАВЧАННЯ МОДЕЛІ КЛАСИФІКАЦІЇ ТА ОЦІНКИ ЯКОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ





Дані дистанційного зондування Землі

Розпізнавання типів землекористування та сільгоспкультур було проведено за допомогою машинного дешифрування даних ДЗЗ, що надаються космічною місією Landsat і знаходяться у відкритому доступі. За допомогою сервісу Google Earth Engine (Gorelick et al. 2017) для кожної території та кожного року були сформовані 16-канальні растри, в основу яких лягли дані 2–7 каналів супутникових зображень Landsat роздільністю 30 метрів на піксель, а також 10 додаткових псевдоканалів, створених на основі обчислення низки вегетаційних індексів. Перелік каналів наведено у Таблиці 1.

Таблиця 1

Псевдоканали супутникових знімків, використані у класифікації сільгоспкультур

Канал	Опис
B1	Відповідає Blue каналу супутникової зйомки - Landsat 5 (B1)/Landsat 8 (B2)
B2	Відповідає Green каналу супутникової зйомки - Landsat 5 (B2)/Landsat 8 (B3)
B3	Відповідає Red каналу супутникової зйомки – Landsat 5 (B3)/Landsat 8 (B4)
B4	Відповідає Near Infrared (NIR) каналу супутникової зйомки – Landsat 5 (B4)/Landsat 8 (B5)
B5	Відповідає Shortwave Infrared (SWIR) 1 каналу супутникової зйомки – Landsat 5 (B5)/Landsat 8 (B6)
B6	Відповідає Shortwave Infrared (SWIR) 2 каналу супутникової зйомки – Landsat 5 (B7)/Landsat 8 (B7)
BG	Normalized Difference Blue Green Index (Blue – Green)/(Blue+Green)
BR	Normalized Difference Blue Green Index (Blue – Red)/(Blue+Red)
BN	Normalized Difference Blue NIR Index (Blue – NIR)/(Blue+NIR)
GR	Normalized Difference Green Red Index (Green – Red)/(Green+Red)
GN	Normalized Difference Water Index (Green – NIR)/(Green+NIR)
GS1	Normalized-Difference Snow Index (Green - SWIR1)/(Green+SWIR1)
NR	normalized difference vegetation index – показник розвитку зеленої маси рослин (NIR - Red)/(NIR+Red)
NS1	Normalized Difference Moisture Index (NIR – SWIR1)/(NIR+SWIR1)
NS2	Normalized Burn Ratio (NIR - SWIR2)/(NIR+SWIR2)
S1S2	Normalized Difference Tillage Index (SWIR1 – SWIR2)/(SWIR1+SWIR2)

01 Стандартизація значень яскравості каналів

Для приведення значень яскравості каналів і вегетаційних індексів до єдиної розмірності до індексів BG, BR, BN, GR, GN, GS1, NR, NS1, NS2, S1S2 було додано 1 і помножено на 1000.

02 Дані місії Landsat 5/ Landsat 8

Для 2012 р. дані місії Landsat 5/Landsat 8 відсутні, тож, цей рік не охоплено дослідженням.

03 Google Earth Engine корекція знімків

Також засобами Google Earth Engine було проведено корекцію знімків, нівелювання атмосферних завад і медіанне усереднення значень яскравості пікселів для знімків, зроблених у заданому діапазоні днів року.

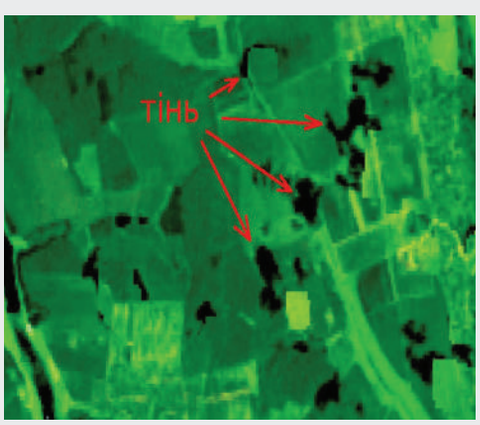
04 Перехресна перевірка результатів

Для перехресної перевірки результатів класифікації було додатково використано дані космічної місії Sentinel 2. Використано канали № 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 8A, 11, 12. Використання даних Sentinel 2 для всього дослідження не було можливим з огляду на те, що місія стартувала 2015 р., відтак дані не охоплюють всього періоду, що аналізується.

Розпізнавання типів земного покриву за даними ДЗЗ

Для розпізнавання типів сільгоспкультур генерували знімки з медіанними значеннями пікселів у кожному з каналів між 100-тим і 190-м днями року, що відповідає періодові максимальної вегетації як озимих, так і ярих культур в умовах території дослідження.

Для більш точного розпізнавання інших типів господарювання генерували знімки з медіанними значеннями пікселів у кожному з каналів між 80-тим і 270-м днями року. Обчислення мінімальних значень яскравостей пікселів для каналів і псевдоканалів знімків, зроблених у заданий період, дозволяє більш точно розрізнити орні землі, що активно обробляються, від полів під паром, перелогів і різновидів природної трав'яної рослинності, однак підвищує ймовірність похибок, спричинених впливом тіней від хмар. Із метою мінімізації впливу тіней від хмар використовували відносні синтезовані індекси, обчислені на основі базових вегетаційних індексів (див. таблицю 1).



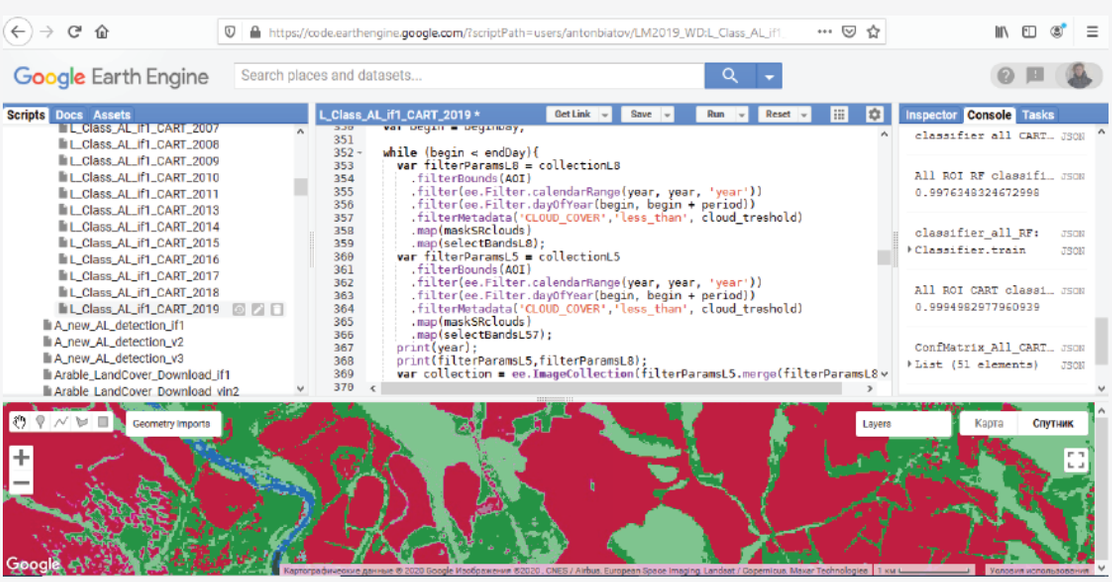
Оскільки неорані поля схильні до заростання травою та накопичення сухих залишків відмерлої рослинності, за спектральними характеристиками віддзеркалення електромагнітних хвиль вони подібні до природних трав'яних угруповань. Ми емпірично з'ясували, що при відображенні мінімального композита у комбінації каналів NR, GN, S1S2 і NR, GN, BN дає змогу відділити території, на яких впродовж безсніжного періоду була рослинність, від територій, де хоча би на деякий час рослинність була відсутня (свіже зорані землі, будівлі, дороги й інші).

ДЛЯ ОЦІНКИ ЗМІН БУЛИ СТВОРЕНІ НАВЧАЛЬНІ ПОЛІГОНИ ДЛЯ КОЖНОГО РОКУ ОКРЕМО.

У створених навчальних полігонах були виділені такі класи:

- населені пункти,
- водні об'єкти,
- ліси,
- болота,
- трав'яні біотопи (луки та степи),
- рілля (поля, зорані у рік дослідження).

Навчання моделей класифікації та класифікація знімків були проведені окремо для кожного року. Було задіяно два методи машинного навчання: Random Forest і Classification And Regression Trees (CART), що реалізовані у середовищі Google Earth Engine. Обидва методи використовувались у двох варіантах: відразу для розрізнення всіх класів покриву та покрокової (ієрархічної) класифікації. За ієрархічної класифікації відбувається покрокове розділення наземного покриву, починаючи від класів, що максимально віддалені за спектральними характеристиками. Схему ієрархічної класифікації наведено нижче.

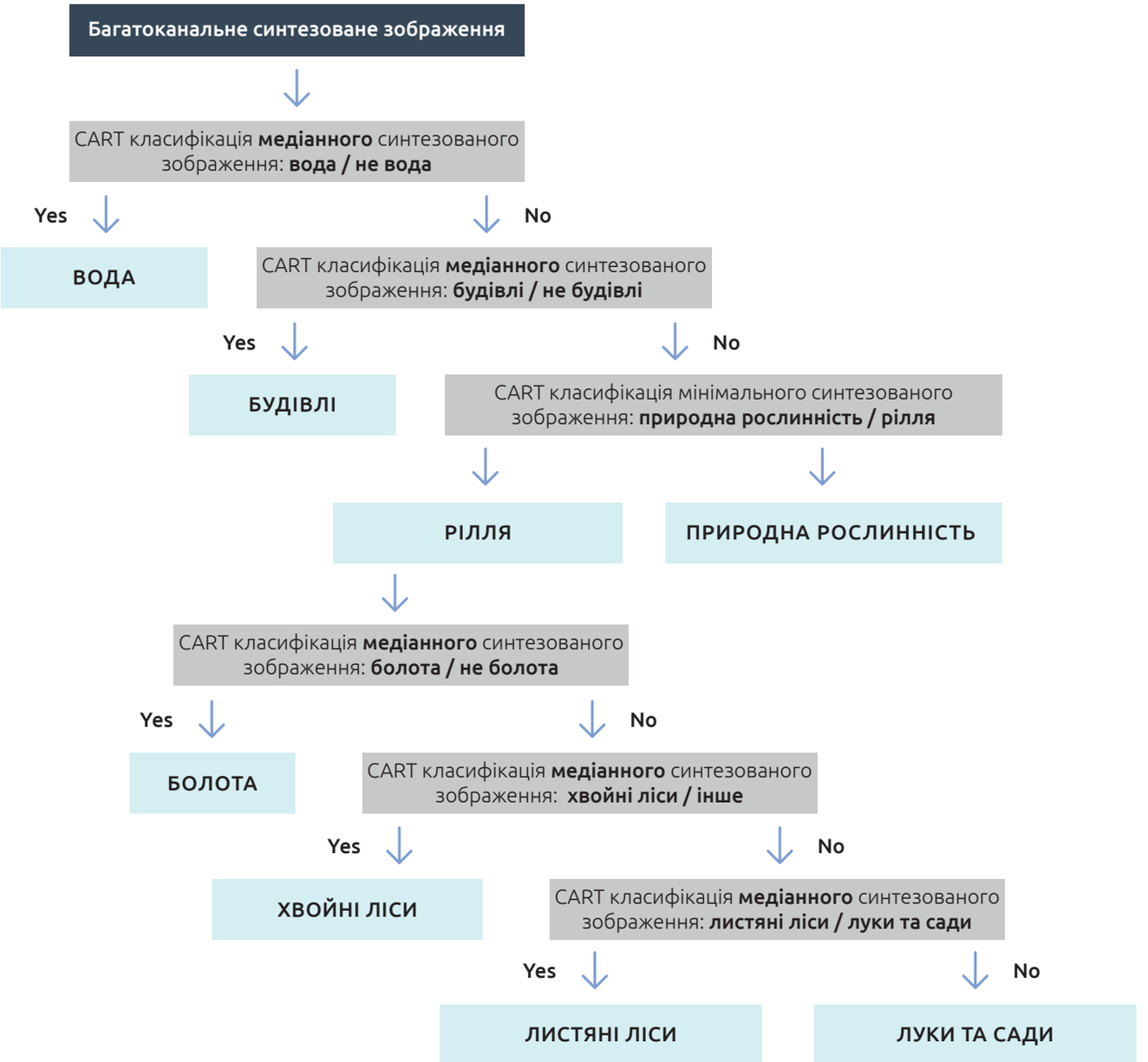


ОБЧИСЛЕННЯ ВИКОНУВАЛИ У СЕРЕДОВИЩАХ GOOGLE EARTH ENGINE (GORELICK ET AL. 2017) І R3.5.2 (R CORE TEAM 2019)

із використанням бібліотеки randomForest 4.6. Результати класифікації піддавали фільтруванню за алгоритмом majority filter із розміром вікна 3x3 пікселі, реалізованому у функції focal пакунку raster 2.9.

Малюнок 1

Схема ієрархічної класифікації



На навчальних даних 2019 року найвищу точність класифікації показала ієрархічна класифікація методом CART, тому її використовували як основний метод.

Обчислення кутів ухилу поверхні (крутизни схилів) для орних земель виконували у середовищі QGIS3.4 за допомогою інструментів морфометричного аналізу на основі цифрової моделі рельєфу SRTM 1 ArcSec (Farr et al. 2007).

Результати дослідження

Результати

Нами було проведено візуальний аналіз космічних знімків і виявлено що у першій половині 2000-х років багато полів не оброблялись або залишалися під паром декілька років

Динаміка площ орних земель

Порівняння з альтернативними системами моніторингу

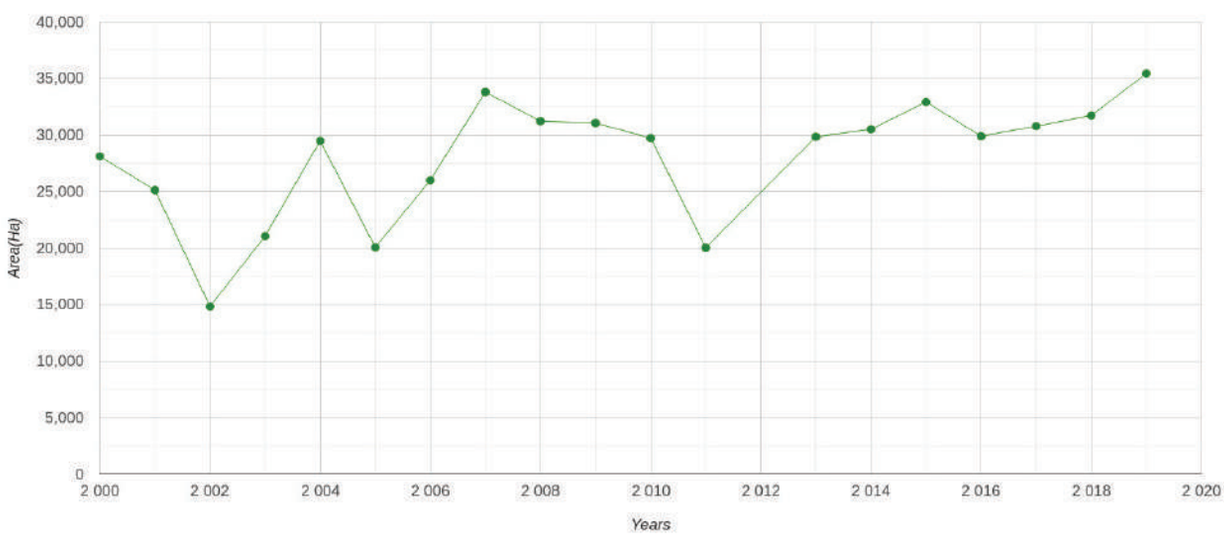
Динаміка орних земель

Нами було проведено візуальний аналіз космічних знімків і виявлено, що у першій половині 2000-х років багато полів не оброблялись або залишалися під паром декілька років.

Для ділянок «Ладижин», «Шаргород» і «Галич» на основі даних ДЗЗ було оцінено площу покриття орних земель за період 2000–2019 рр. (2012 — дані відсутні). Результати наведено на ілюстраціях нижче.

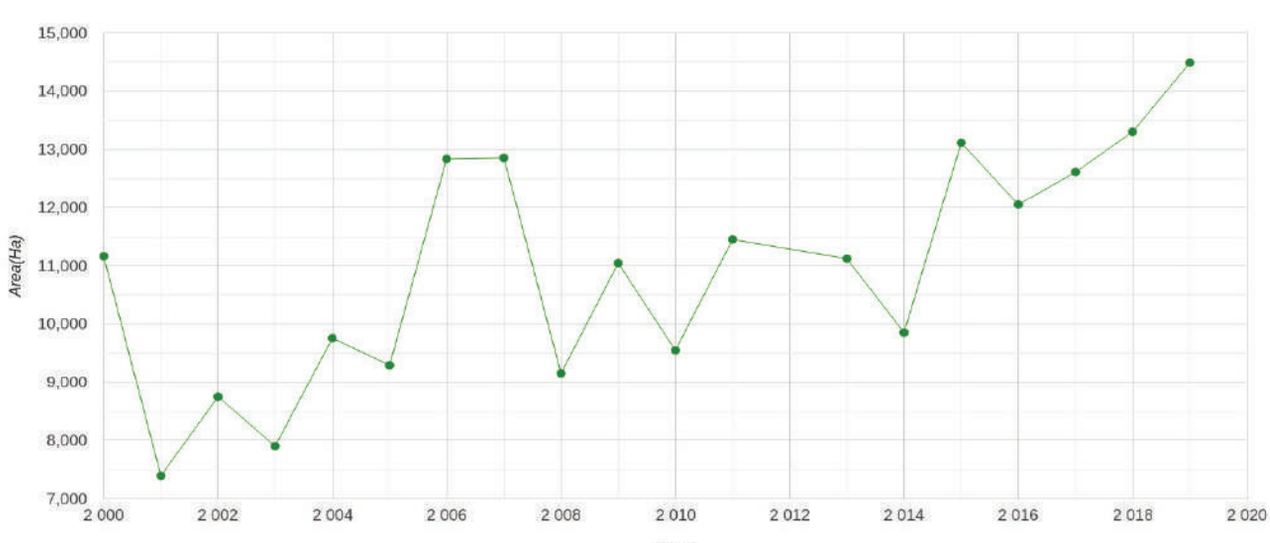
Малюнок 2

Динаміка площі орних земель на ділянці «Ладижин»



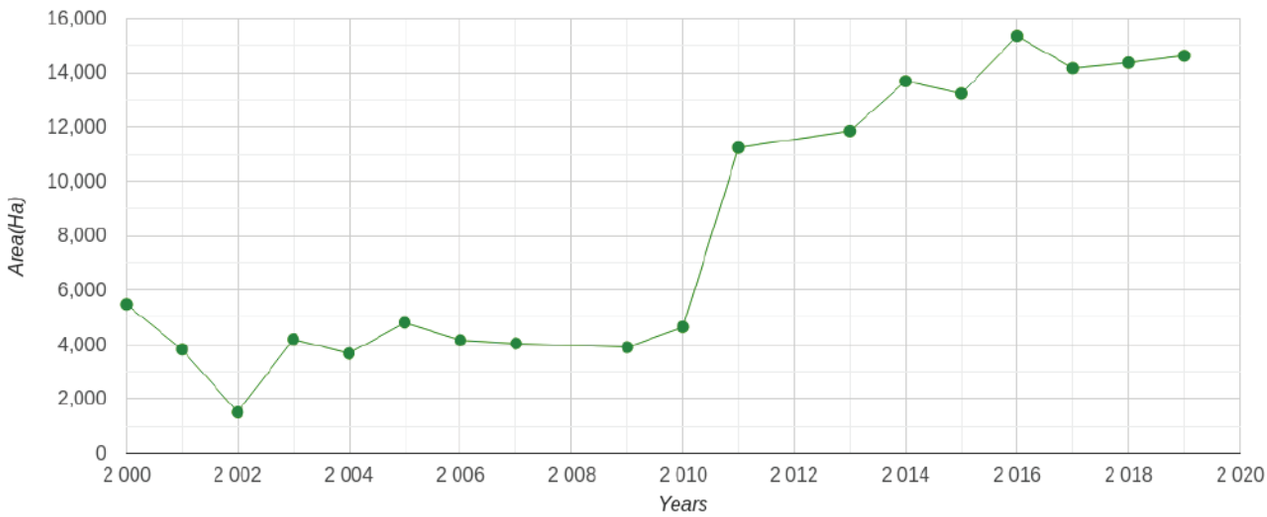
Малюнок 3

Динаміка площі орних земель на ділянці «Шаргород»



Малюнок 4

Динаміка площі орних земель на ділянці «Галич»



Знаково, що для ділянки «Галич» ми можемо спостерігати різке збільшення оброблюваних площ після 2010 року, що свідчить на користь того, що у 2010–2012 або незадовго перед тим мав місце вплив певного важливого фактора. Для решти ділянок спостерігаються коливання рівня обробленості ґрунту, ймовірно, зумовлені комплексом факторів.

Детальні карти орних земель за ділянками дослідження у розрізі років наведені у додатку 1.

Таблиця 2

Динаміка площі орних земель на ділянці «Галич»

Рік	Площа, тис. га	% від площі ділянки	Рік	Площа, тис. га	% від площі ділянки
2000	5,45	9,89	2010	4,63	8,38
2001	3,8	6,9	2011	11,22	20,33
2002	1,5	2,71	2012	Дані Landsat 5 і 8 відсутні	
2003	4,18	7,58	2013	11,81	21,42
2004	3,64	6,6	2014	13,62	24,69
2005	4,79	8,68	2015	13,15	23,84
2006	4,15	7,52	2016	15,23	27,61
2007	4,02	7,29	2017	14,01	25,4
2008	Даних немає*		2018	14,33	25,97
2009	3,88	7,03	2019	14,58	26,43

* Дані мають велику кількість артефактів класифікації. Ймовірно, причиною артефактів було водопілля на річці Дністер, що призвело до суттєвої зміни вологості ґрунтів.

Таблиця 3

Динаміка площі орних земель на ділянці «Ладижин»

Рік	Площа, тис. га	% від площі ділянки	Рік	Площа, тис. га	% від площі ділянки
2000	28,11	47,43	2010	29,72	50,14
2001	25,12	42,39	2011	20,04	33,81
2002	14,83	25,01	2012	Дані Landsat 5 і 8 відсутні	
2003	21,05	35,52	2013	29,84	50,34
2004	29,48	49,74	2014	30,5	51,47
2005	20,07	33,86	2015	32,92	55,54
2006	26	43,86	2016	29,89	50,43
2007	33,8	57,02	2017	30,78	51,93
2008	31,22	52,67	2018	31,72	53,52
2009	31,06	52,41	2019	35,44	59,8

Таблиця 4

Динаміка площі орних земель на ділянці «Шаргород»

Рік	Площа, тис. га	% від площі ділянки	Рік	Площа, тис. га	% від площі ділянки
2000	11,16	43,35	2010	9,55	37,09
2001	7,39	28,71	2011	11,45	44,46
2002	8,75	33,97	2012	Дані Landsat 5 і 8 відсутні	
2003	7,9	30,68	2013	11,12	43,2
2004	9,76	37,9	2014	9,86	38,27
2005	9,29	36,09	2015	13,12	50,94
2006	12,84	49,86	2016	12,05	46,81
2007	12,86	49,93	2017	12,61	48,98
2008	9,16	35,55	2018	13,31	51,67
2009	11,05	42,9	2019	14,49	56,27

У ході дослідження були виявлені декілька ділянок, які були вперше розорані у період з 2008 до 2019 року. У період з 2000 до 2008 року вони були зайняті трав'яною рослинністю та не оброблялись.

Оверлейний аналіз орних територій і цифрової моделі рельєфу показав, що на обох ділянках із плином часу збільшується оранка схилів. Загальнодоступні дані цифрової моделі рельєфу SRTM мають недостатню роздільну здатність, щоб виявити оранки дрібних форм рельєфу, таких як схили маленьких балок, однак статистичне зведення за даними схилів орних ділянок за різні періоди показало, що середні кути ухилу орних земель зростають із часом.

Так, на ділянці дослідження «Ладижин» середній ухил ділянок, розораних після 2008 року, складає 3,11 градуси. У той час як середній ухил всіх полів — 2,32 градуси.

Малюнок 5

Розташування ділянок, які були вперше розорані у 2008–2019 роках. Ділянка «Ладижин»

На ділянці «Шаргород» середній ухил ділянок, вперше розораних після 2008 року, складає 3,96 градуси. У той час як середній ухил всіх полів — 2,96 градуси.

Малюнок 6

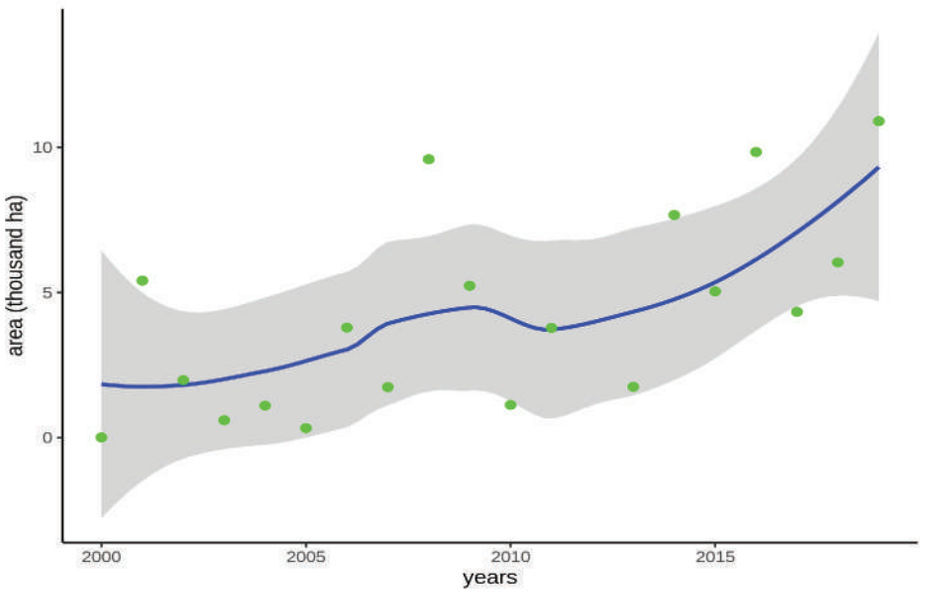
Ділянки, які були вперше розорані у період із 2008 до 2019 року. Ділянка «Шаргород».

Більш детальна інформація з вибірки ділянок, вперше розораних після 2008 року на території «Ладижин» і « Шаргород», наведена у додатку 3.

Під час дослідження було виявлено поступове зростання площ, зайнятих озимими культурами. Вірогідно, пов'язано з глобальним потеплінням клімату та зменшенням ґрунтової вологи у літні місяці, що є стимулом для фермерів більш часто висівати озимі культури замість ярих. Динаміку озимих культур можна побачити на рисунках нижче.

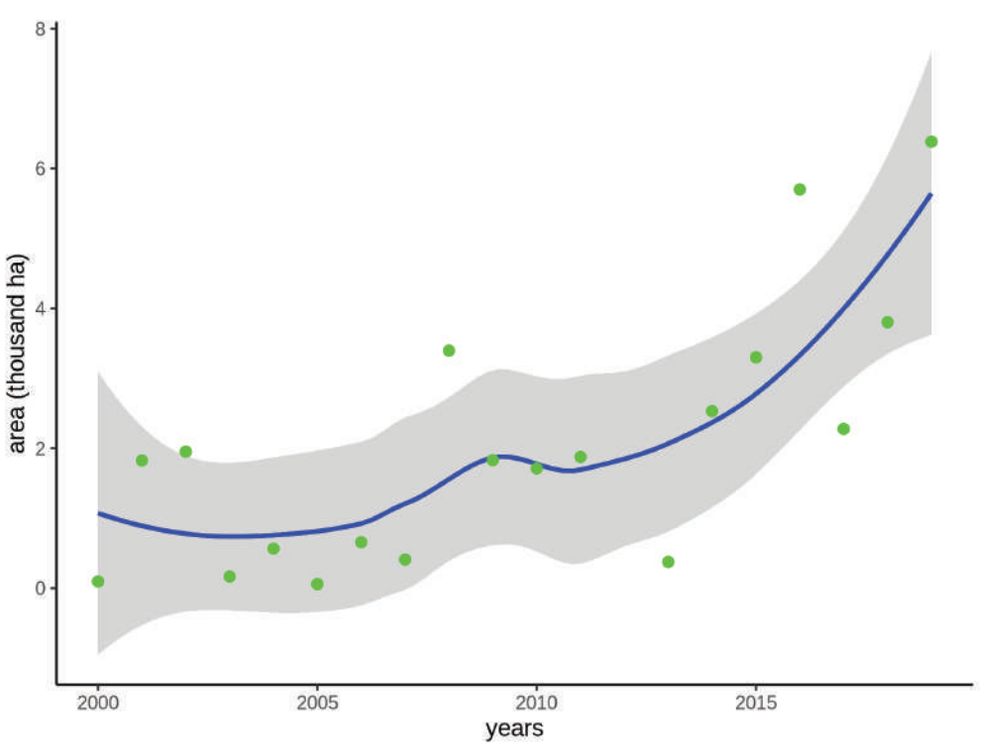
Малюнок 7

Площа, зайнята озимими культурами на ділянці «Ладижин»



Малюнок 8

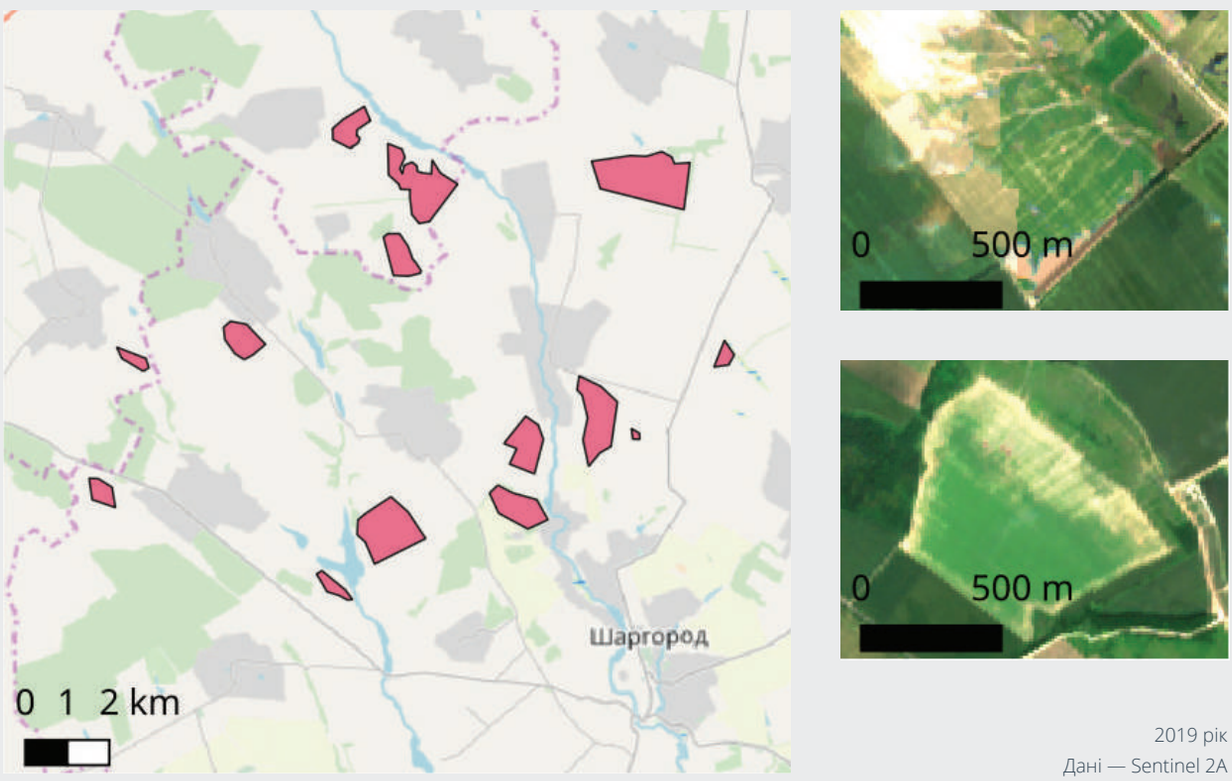
Площа, зайнята озимими культурами на ділянці «Шаргород»



Візуальний аналіз супутникових знімків Sentinel 2 у натуральних кольорах дозволив виявити ділянки, де відбувається прогресуюча ерозія ґрунтів, спричинена оранкою схилів.

Малюнок 9

Еродовані ґрунти на розораних схилах. Ділянка «Шаргород»



2019 рік
Дані — Sentinel 2A

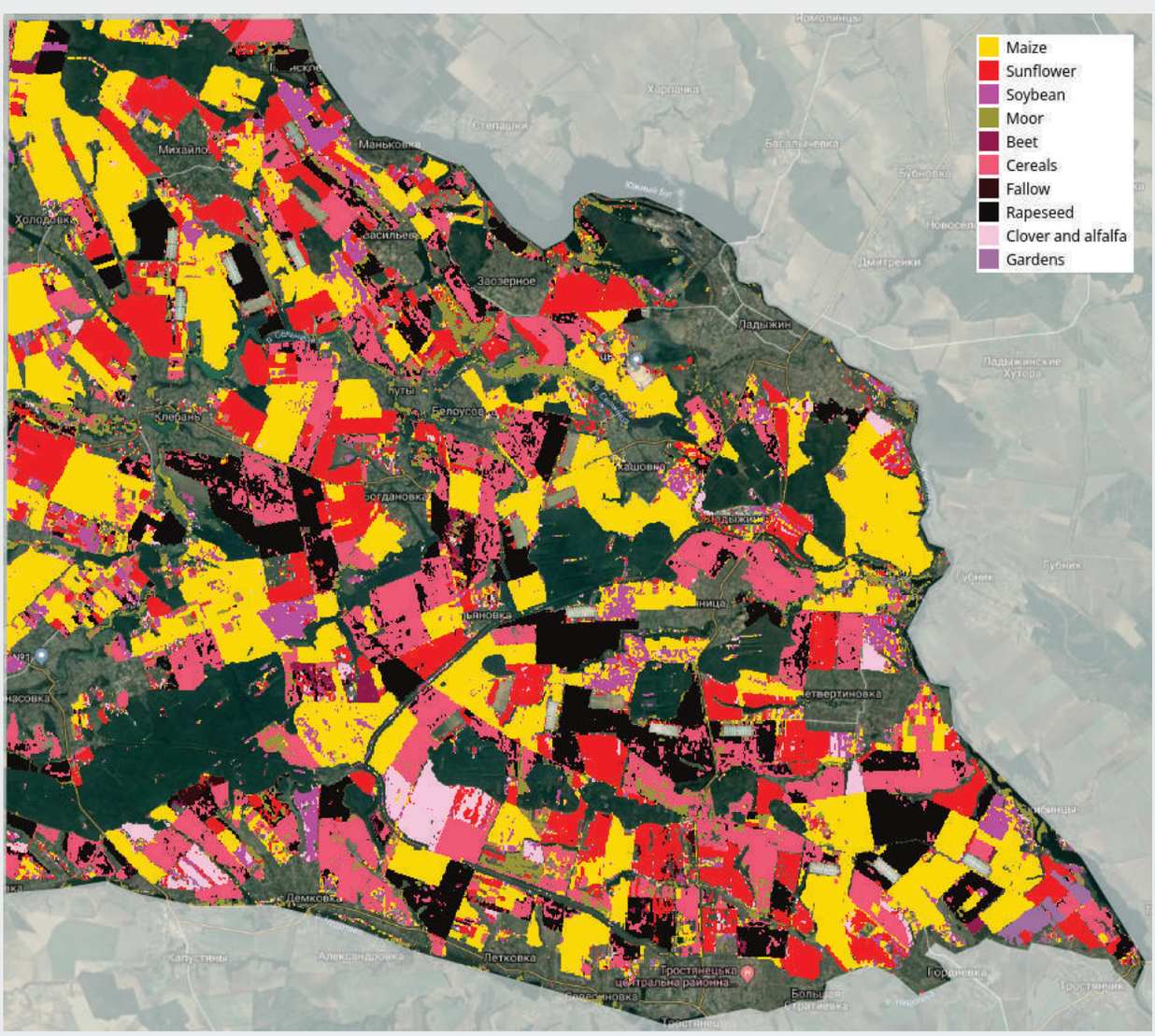
Закономірно, більшою мірою ерозія розвинена на ділянці «Шаргород», що має загалом більш виражений рельєф і більший середній ухил орних земель за даними аналізу цифрової моделі рельєфу.

Дослідження розподілу сільськогосподарських культур

У ході дослідження було проведено класифікацію основних типів сільгоспкультур за даними Landsat 8 (роздільна здатність 30 м/пікс) і Sentinel 2 (роздільна здатність 10 м/пікс) за 2019 рік. Результати класифікації наведені нижче.

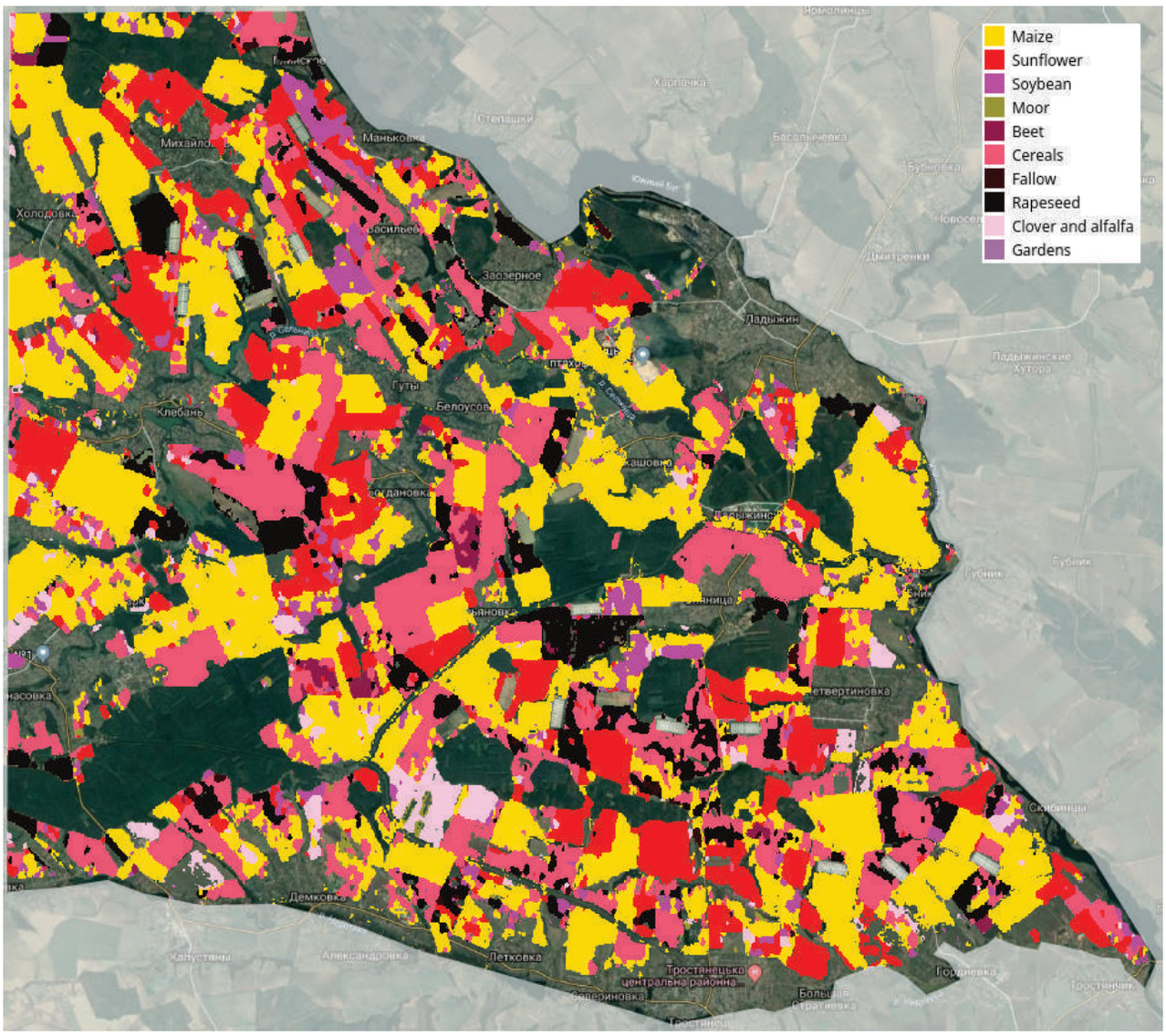
Малюнок 10

Результат розпізнавання сільгоспкультур за космічними знімками Landsat 8. Рік 2019, Ділянка «Ладижин»



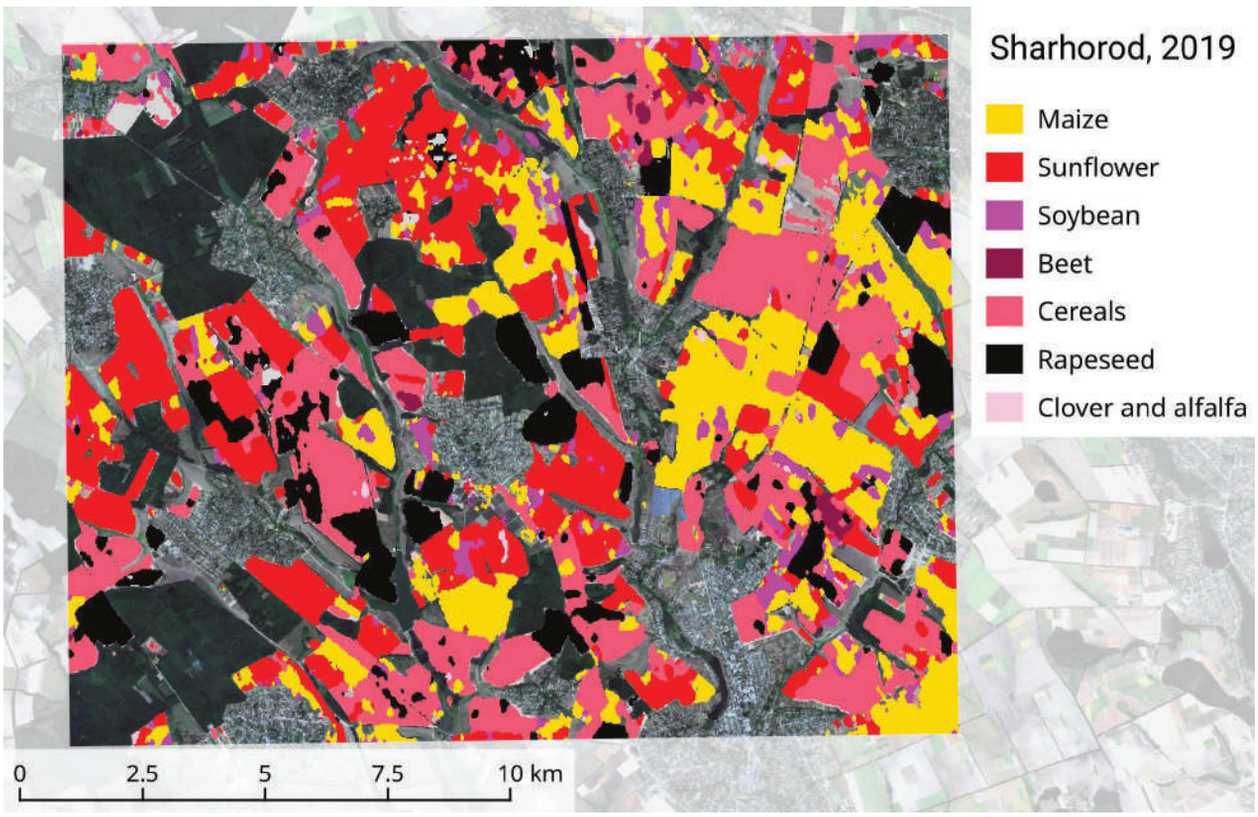
Малюнок 11

Результат розпізнавання сільгоспкультур за космічними знімками Sentinel 2.
Рік 2019, Ділянка «Ладижин»



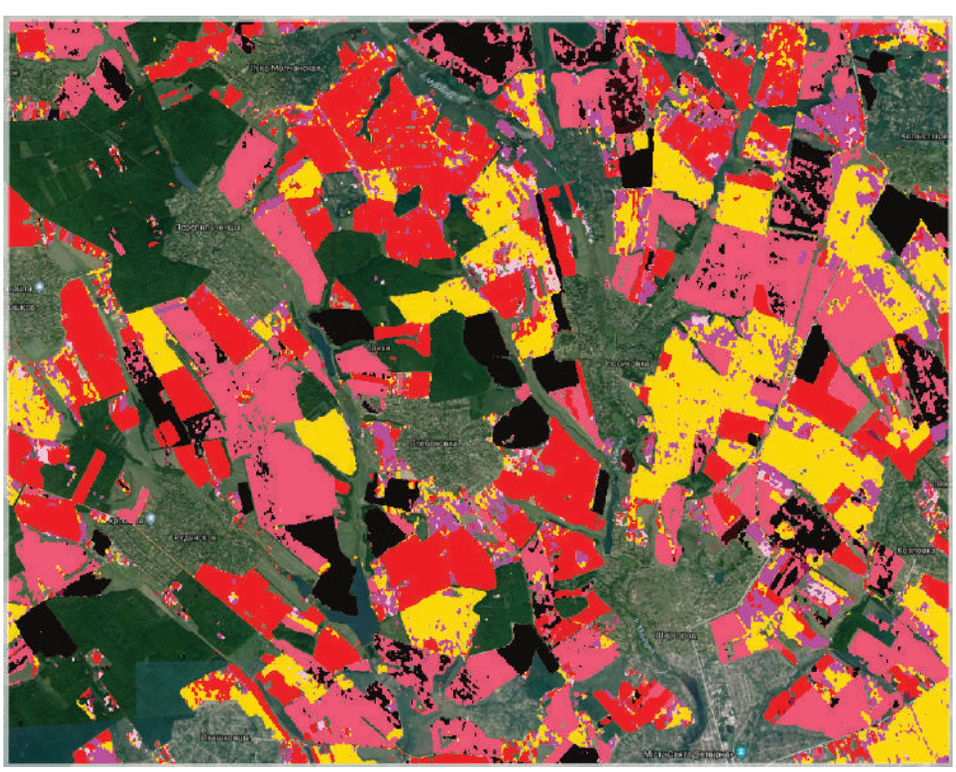
Малюнок 12

Результат розпізнавання сільгоспкультур за космічними знімками Landsat 8.
Рік 2019, Ділянка «Шаргород»



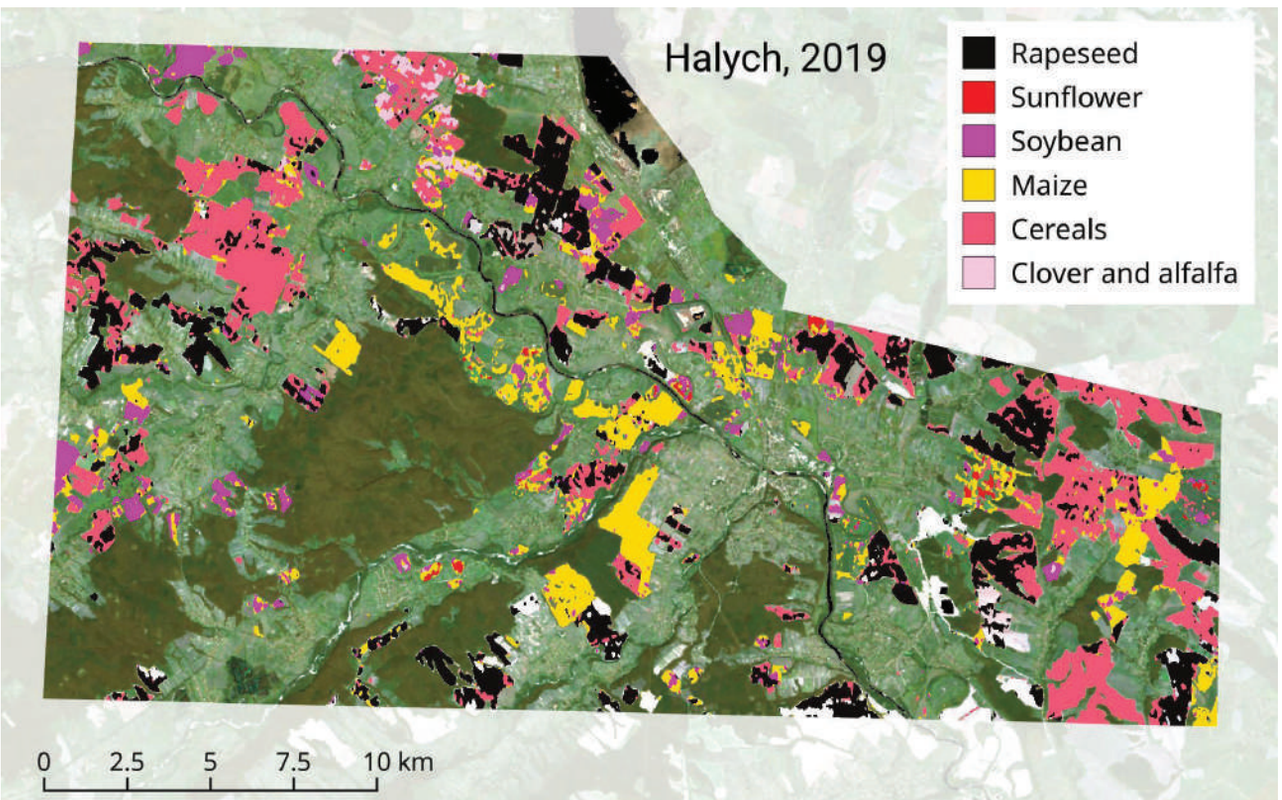
Малюнок 13

Результат розпізнавання сільгоспкультур за космічними знімками Sentinel 2.
Рік 2019, Ділянка «Шаргород»



Малюнок 14

Результат розпізнавання сільгоспкультур за космічними знімками Landsat 8. Рік 2019, Ділянка «Галич»



Таблиця 5

Площі, зайняті сільгоспкультурами 2019 року на ділянці «Галич»

	Сільгоспкультура	Площа, тис. га	% від площі ділянки
1	Ріпак	3,92	26,89
2	Соняшник	0,1	0,69
3	Соя	1,04	7,13
4	Кукурудза	2,87	19,68
5	Зернові злаки	4,64	31,82
6	Люцерна	0,25	1,71
7	Невизначені	1,76	12,08

Таблиця 6

Площі, зайняті сільгоспкультурами 2019 року на ділянці «Ладижин»

	Сільгоспкультура	Площа, тис. га	% від площі ділянки
1	Ріпак	3,19	9,0
2	Соняшник	6,09	17,18
3	Соя	1,73	4,88
4	Кукурудза	13,97	39,42
5	Зернові злаки	7,67	21,64
6	Люцерна	1,14	3,22
7	Невизначені	1,65	4,66

Таблиця 7

Площі, зайняті сілгоспкультурами 2019 року на ділянці «Шаргород»

	Сільгоспкультура	Площа, тис. га	% від площі ділянки
1	Ріпак	1,8	12,42
2	Соняшник	3,94	27,19
3	Соя	0,72	4,97
4	Кукурудза	3,31	22,84
5	Зернові злаки	3,84	26,51
6	Люцерна	0,07	0,48
7	Невизначені	0,81	5,59

Ретроспективний аналіз сільгоспкультур показав, що якість класифікації знижується пропорційно часовій віддаленості від моменту збору навчальних даних (якщо навчальні дані зібрані 2019 р., то результати розпізнавання даних ДЗЗ 2019 р. будуть найбільш достовірними, 2000 — найменш надійними). Також в окремі роки якість розпізнавання сільгоспкультур за даними Landsat 5 і Landsat 8 різко знижується через велику кількість шуму. Ми припускаємо, що це пов’язано з кліматичними особливостями конкретного року, які суттєво відрізняються від 2019 — року збору навчальних даних. Карти результатів розпізнавання сільгоспкультур за навчальними даними 2019 року наведені у додатку 2.

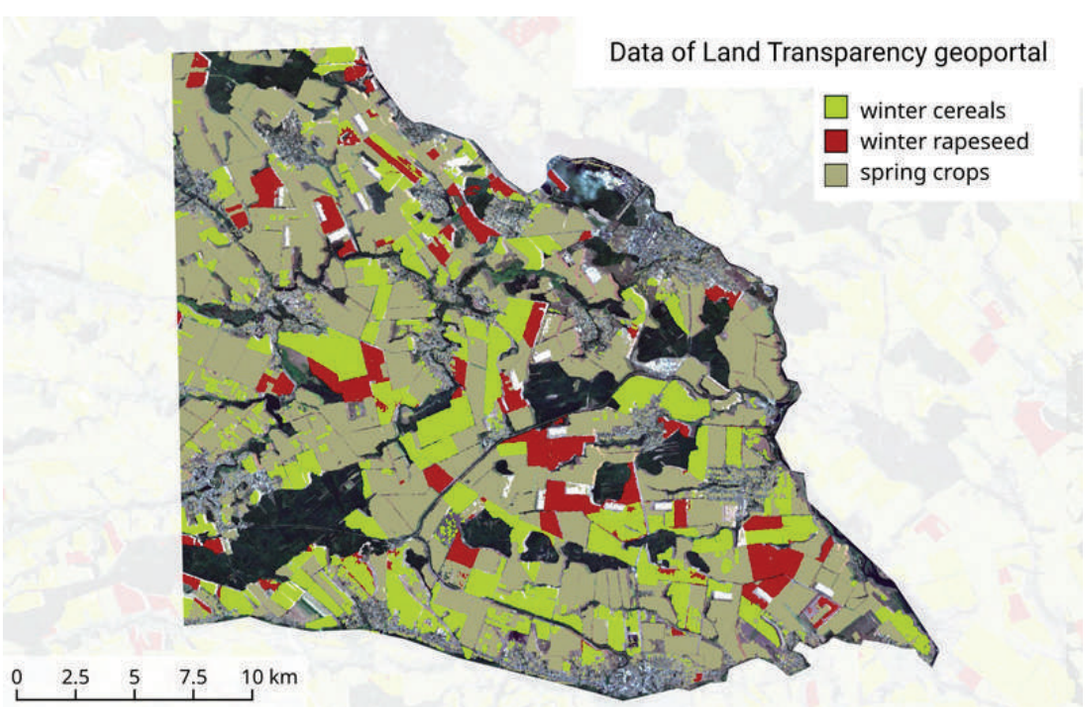
За потреби можна підвищити точність розпізнавання сільгоспкультур у попередні роки, однак для цього потрібно використовувати сигнатури динаміки вегетаційного індексу NDVI для створення навчальних полігонів для класифікації за конкретними роками. Оскільки достатню частоту зйомки для простеження динаміки розвитку сільгоспкультур на полях із відкритих супутникових даних мають лише дані Sentinel-2, то більш-менш достовірно історію сівозміни можна простежити, тільки починаючи від 2016 року. Ситуація ускладнюється тим, що у різних природних і кліматичних зонах одна й та сама сільгоспкультура проходить різні фенологічні етапи свого розвитку у різний час і має різну інтенсивність вегетації.

Порівняння з альтернативними системами моніторингу типів землекористування

Нами було проведено візуальне порівняння даних за 2019 рік із геопорталу Land Transparency, створеного у рамках програми Світового банку «Підтримка прозорого управління земельними ресурсами в Україні» (результати проекту за посиланням — https://map.geoportalua.com/worldbank/) із результатами, які ми отримали шляхом класифікації космічних знімків Landsat 8 і Sentinel 2. Порівняльний аналіз для досліджуваних територій показав, що розроблений нами метод дає змогу виявити значно ширший спектр класів землекористування, як щодо різноманіття сільгоспкультур, так і природних типів наземного покриву, що робить його значно більш корисним інструментом дистанційного моніторингу землекористування.

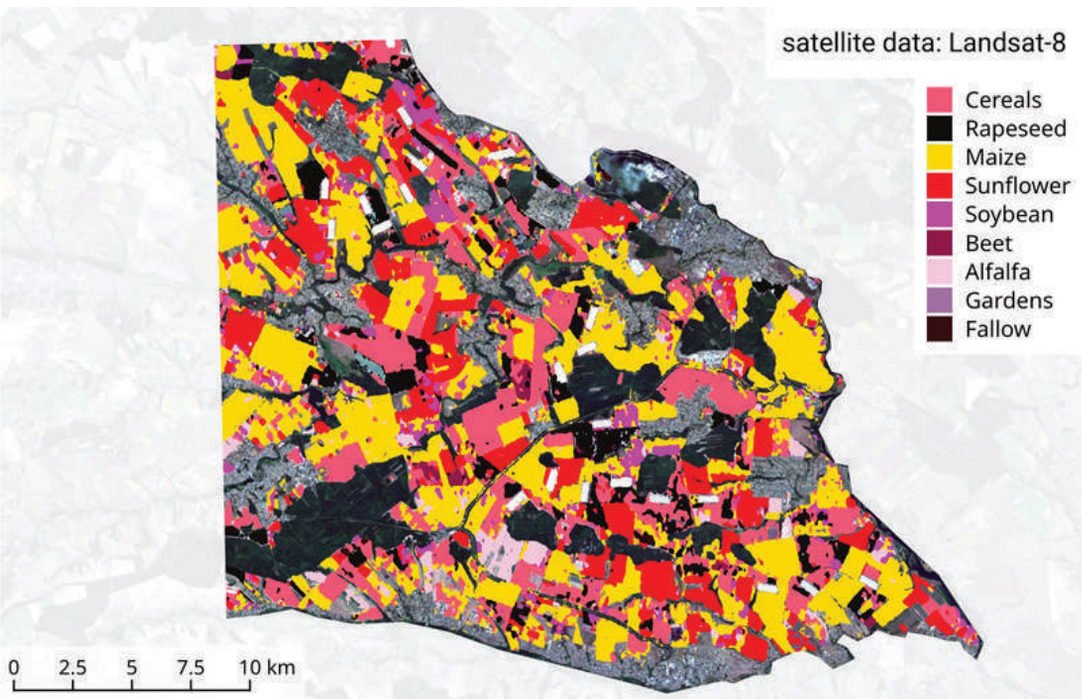
Малюнок 15

Дані геопорталу Land Transparency / geoportalua.com *станом на вересень 2019 р.*
Ділянка «Ладижин».



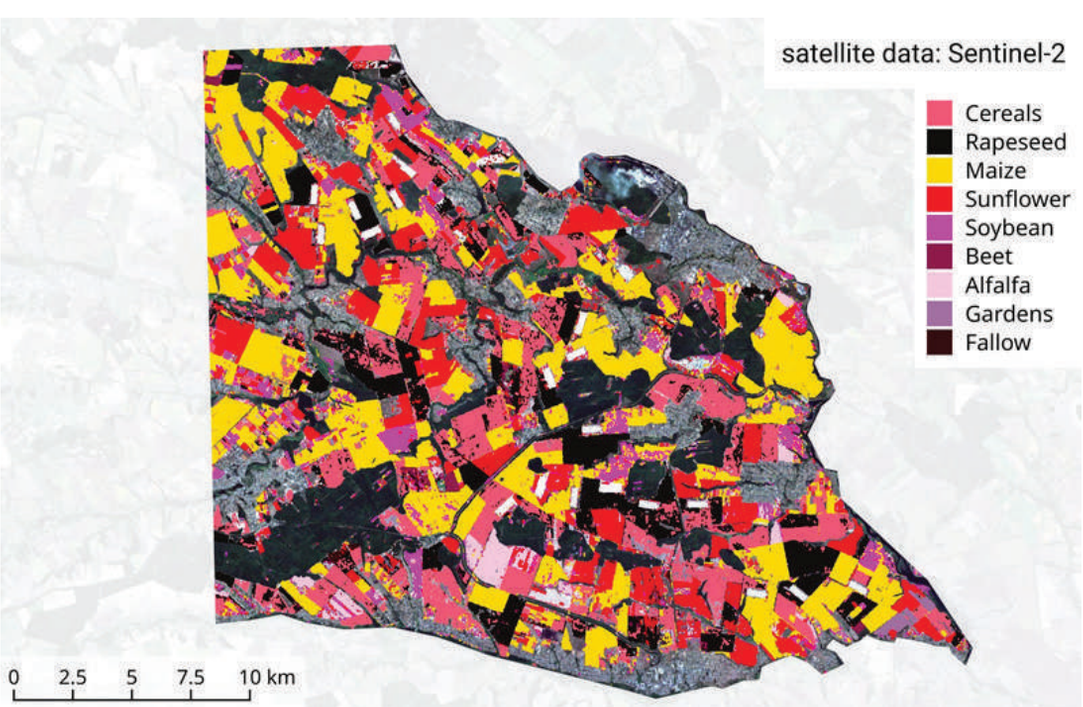
Малюнок 16

Результат класифікації космічних знімків Landsat 8, за 2019 р. Ділянка «Ладижин»



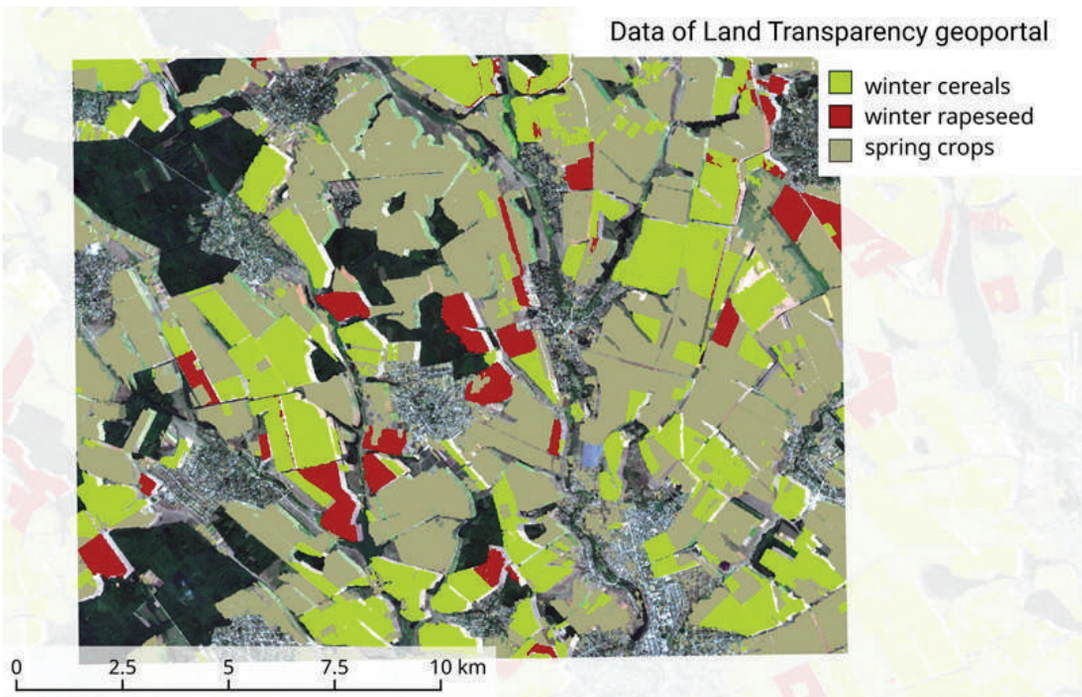
Малюнок 17

Результат класифікації космічних знімків Sentinel 2, за 2019 р. Ділянка «Ладижин»



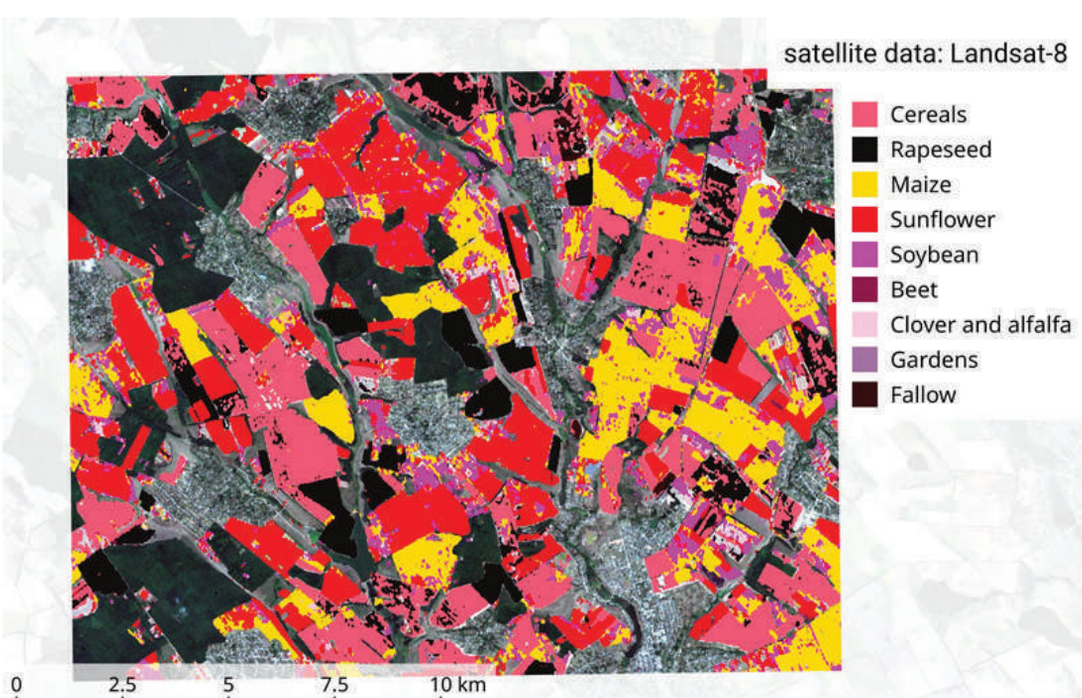
Малюнок 18

Дані геопорталу Land Transparency / geoportalua.com *станом на вересень 2019 р.*
Ділянка «Шаргород».



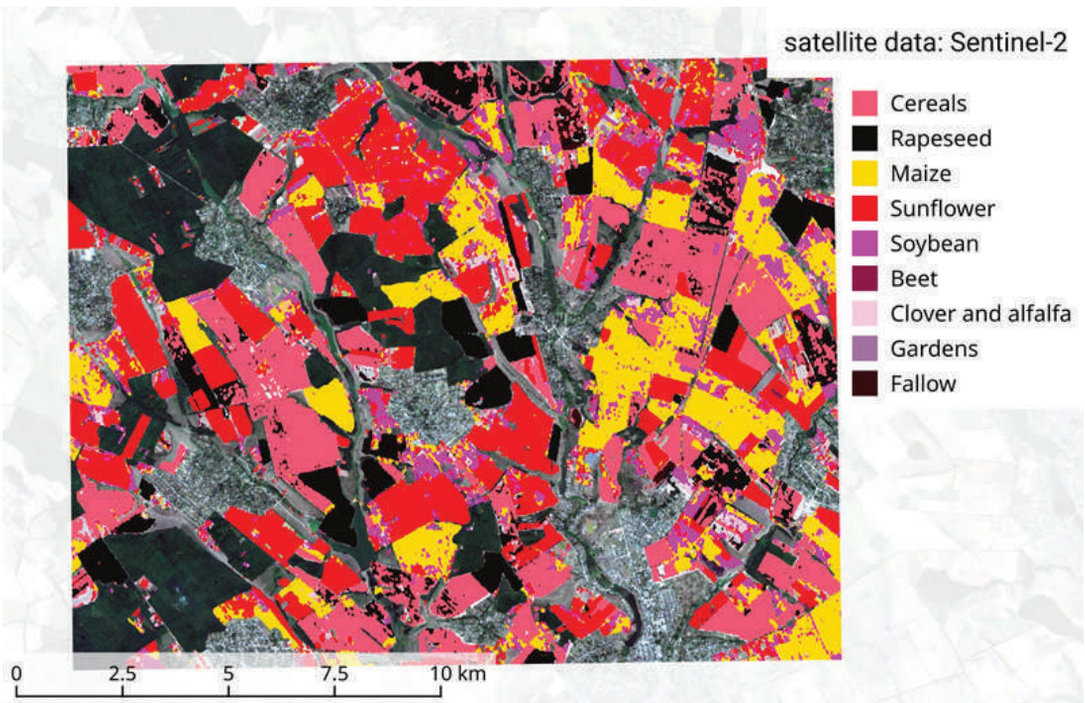
Малюнок 19

Результат класифікації космічних знімків Landsat 8, за 2019 р. Ділянка «Шаргород»



Малюнок 20

Результат класифікації космічних знімків Sentinel 2, за 2019 р. Ділянка «Шаргород»



Вплив сільськогосподарської діяльності

на природне середовище

об'єкти природно-заповідного фонду та Смарагдової мережі України

Сільське господарство є лідером у трансформації природних екосистем серед усіх видів господарської діяльності людини. Ми проаналізували перекриття територій, зайнятих у сільському господарстві, з об'єктами природно-заповідного фонду України (https://scgis.org.ua/ua/projects/cadastre/) та Смарагдової мережі (http://emerald.net.ua/).

На території ділянки «Ладижин» знаходиться 5 об'єктів ПЗФ України, 3 з яких (заповідні урочища «Ладижинська діброва» та «Ладижинські ясени», ботанічний заказник «Урочище Дзерівка») є лісовими або водно-болотними угіддями, де сільськогосподарська діяльність неможлива. Водночас ландшафтний заказник «Урочище Федьківське» та ботанічний заказник «Урочище Березів Яр» є ділянками балкових лучних степів, що безпосередньо межують із ріллею. Для останнього було виявлено проникнення оранки на територію заказника (координати у системі WGS84: 48.705309, 29.043040).

Малюнок 21

Розорані частини заказника «Урочище Березів Яр», ділянка «Ладижин»

Безпосередньо до ділянки прилягає територія об'єкту Смарагдової мережі «Ладижинське водосховище», що охоплює акваторію однойменного водосховища та прилеглі ліси у водоохоронній зоні. З Північно-Західного боку рілля підходить близько до водного об'єкту, однак ширина водоохоронної смуги дотримана відповідно до встановлених 50 м.

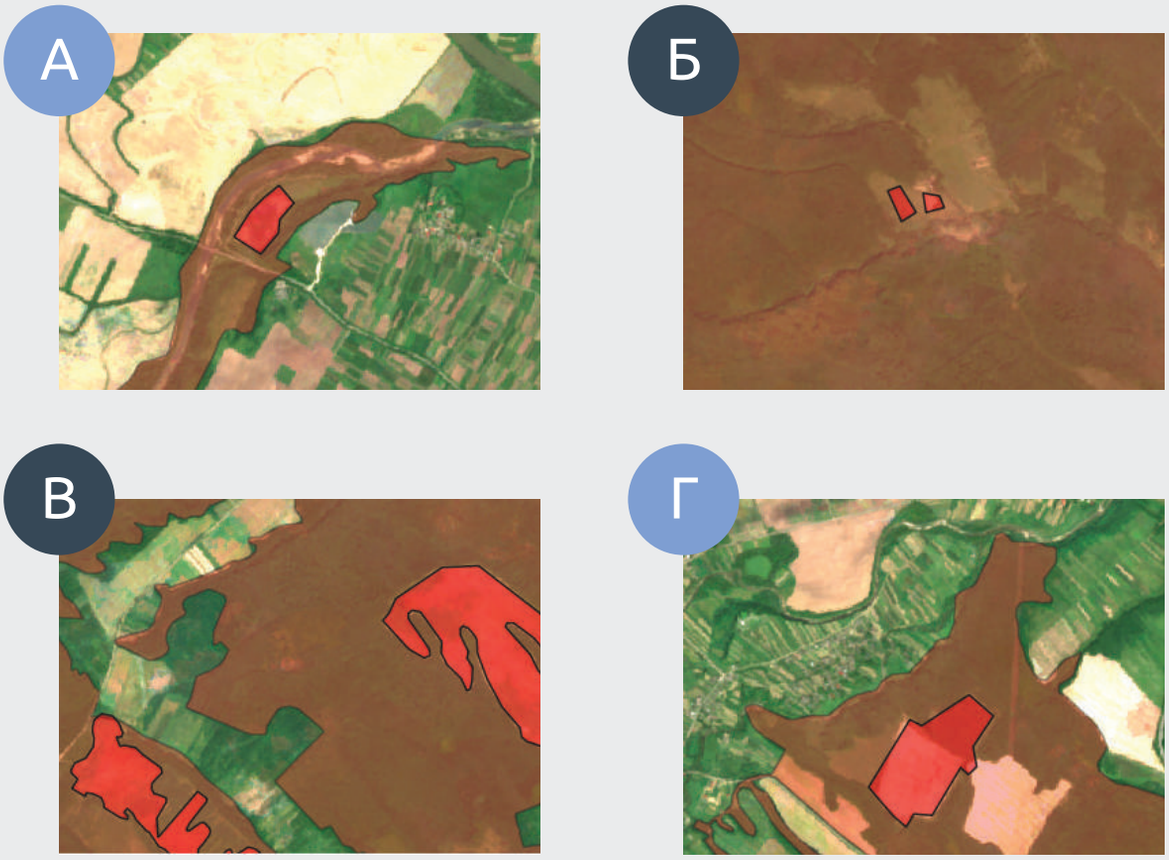
Для ділянки «Шаргород» жодного перекривання чи сусідства з природоохоронними територіями не виявлено.

Єдиним об'єктом ПЗФ на території ділянки «Галич» є національний природний парк «Галицький». Створений 2004 року, парк отримав досить складні контури, що уникають перекриття з землями сільгосппризначення. Однак методами дистанційного зондування вдалося виявити декілька ділянок, що були розорані після моменту створення парку або напередодні його створення та перетинаються з територією заповідного об'єкта.

СЛІД ЗАЗНАЧИТИ, ЩО ПОСИЛЕННЯ ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ ЗА РІК-ДВА ПЕРЕД ОФІЦІЙНИМ ЗАВЕРШЕННЯМ ПРОЦЕДУРИ СТВОРЕННЯМ ЗАПОВІДНОГО ОБ'ЄКТА Є ПОШИРЕНОЮ ПРОБЛЕМОЮ В УКРАЇНІ.

Малюнок 22

Розорані території національного природного парку «Галицький»



територія під охороною

розорані землі (після 2004 р.)

А) Оранка заплавної луки у долині р. Лімниця (вперше розорано 2015 р.; 49.13272086, 24.67838462);
Б) невеликі поля на лісових галявинах (49.12555,24.57330);
В) вперше розорано 2013 (49.06468,24.56479) і 2003 рр. (49.07533,24.59390);
Г) Вперше розорано 2004 р. (49.06668,24.67653).

За підсумками роботи було розроблено робочу методику розпізнавання сільгоспкультур за даними дистанційного зондування Землі, засновану на принципах машинного навчання.

Обговорення результатів і напрямки подальших досліджень

Для ділянок із достатньо якісною та великою навчальною вибіркою (в якій представлено щонайменше 1000 пікселів кожного класу покриву, відсутні суттєві дисбаланси на користь тих чи інших класів, зведені до мінімуму помилки ідентифікації у полі) методика показала високі результати розпізнавання.

Разом із тим, було виявлено низку суттєвих перешкод до застосування методики. Так, моделі застосовувати на значні відстані — для якісного розпізнавання тренувальні дані мають бути зібрані у межах досліджуваної ділянки. Однак найбільш нові технології вирівнювання супутникових знімків дають надію на суттєвий прогрес у цій царині найближчим часом. Глибина ретроспективи, в якій достовірність розпізнавання є задовільною, також потребує подальших досліджень, однак очевидно потерпає від дефіциту даних ДЗЗ за минулі десятиріччя.

Оскільки за минулі роки відсутні достовірні дані щодо меж боліт і умов зволоження, у деякі роки поля під паром помилково класифікувалися як водно-болотні угіддя. Також в окремі роки частина лісовкритих територій класифікувались як болота або луки, що пов›язано з коливаннями вологості та лісокористуванням у відповідні періоди.

Складним для виділення залишається (на що вказують і попередні дослідження) клас об’єктів, пов’язаних із людською інфраструктурою (населені пункти, промислові об’єкти). Висока неоднорідність, поєднання дрібних штучних (будівлі, дороги) та природних (присадибні ділянки, газони, пустища) об’єктів суттєво ускладнюють машинне розпізнавання.

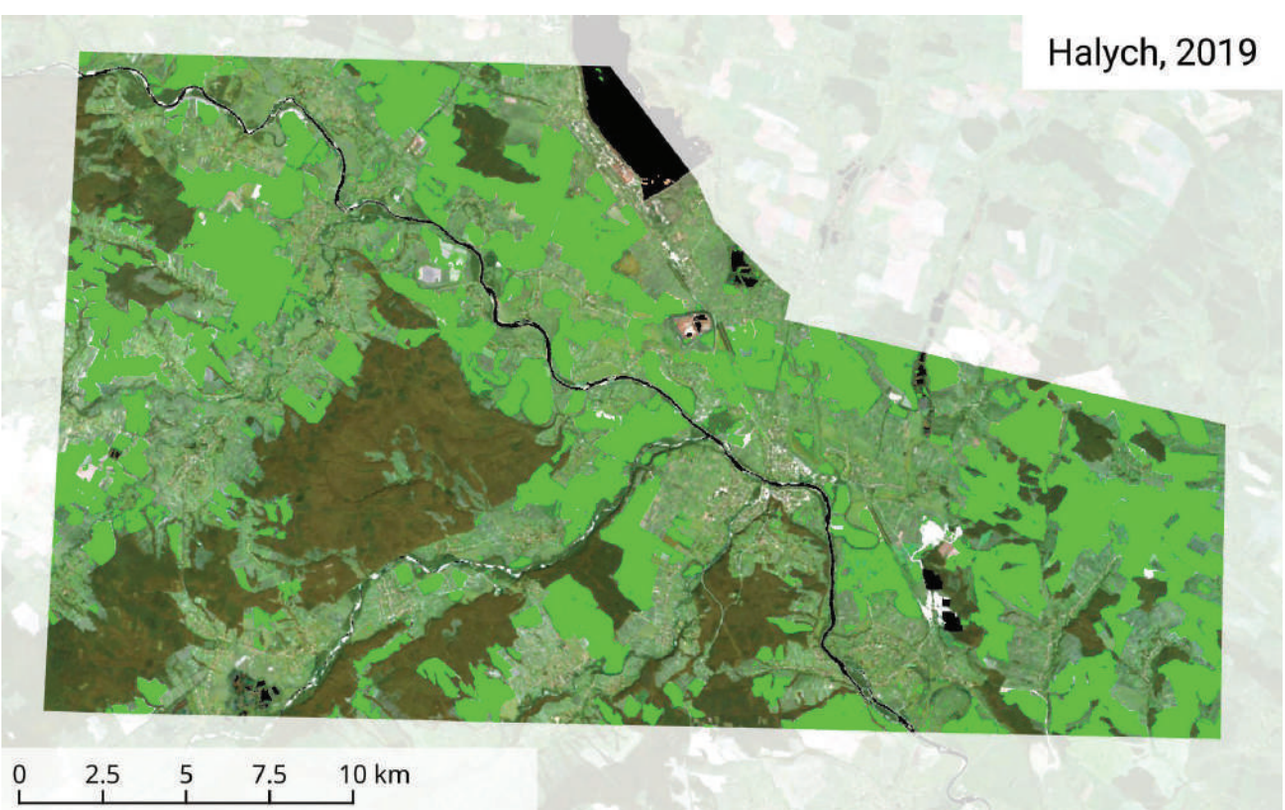
Посилання

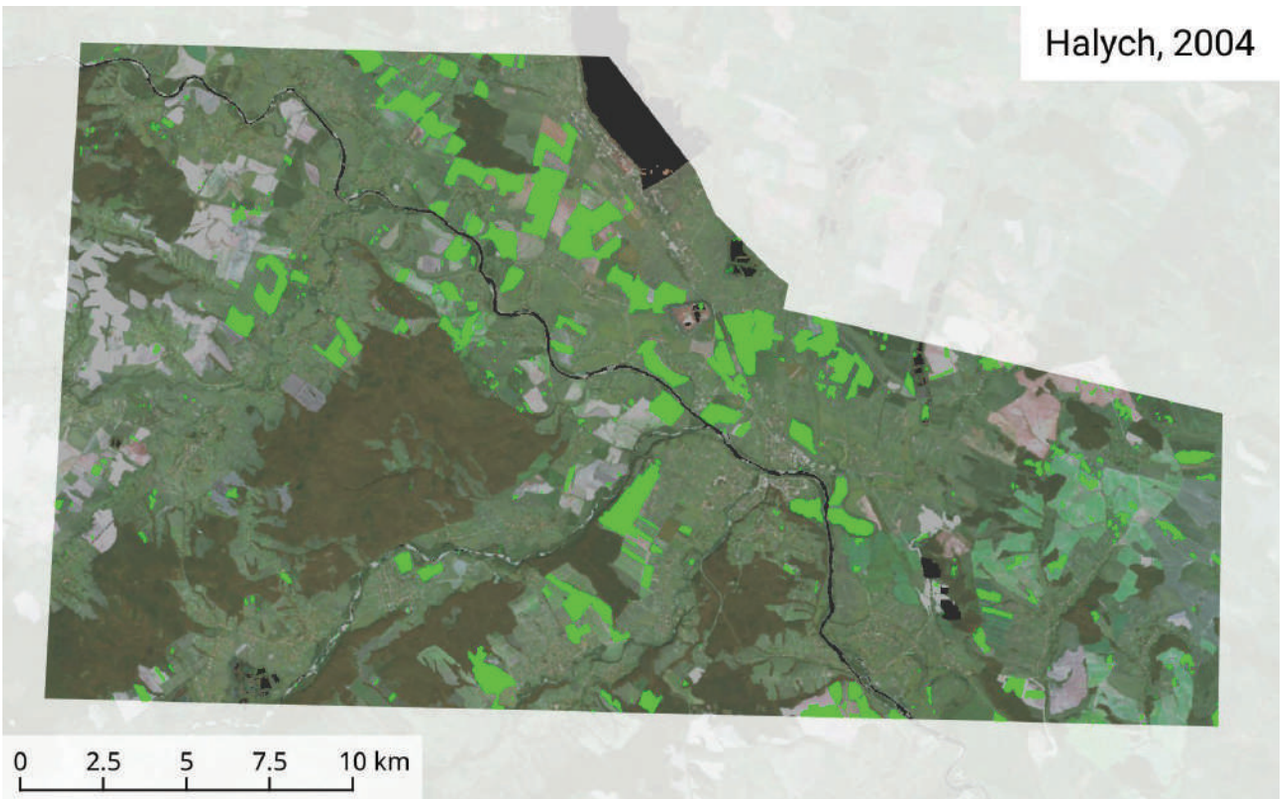
1. Belgiu, Mariana, and Ovidiu Csillik. 2018. «Sentinel-2 Cropland Mapping Using Pixel-Based and Object-Based Time-Weighted Dynamic Time Warping Analysis.» Remote Sensing of Environment 204 (January): 509–23. https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.10.005.
2. «Copernicus Land Monitoring Service.» 2019. Plone Site. 2019. https://land.copernicus.eu/.
3. «CORINE Land Cover.» 2018. Plone Site. 2018. https://land.copernicus.eu/.
4. Earth Observing System.n.d. «CropMonitoring.» Accessed October 31, 2019. https://eos.com/crop-monitoring/main-map/fields/all.
5. Gorelick, Noel, Matt Hancher, Mike Dixon, Simon Ilyushchenko, David Thau, and Rebecca Moore. 2017. «Google Earth Engine: Planetary-Scale Geospatial Analysis for Everyone.» Remote Sensing of Environment. https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031.
6. Farr, Tom G., Paul A. Rosen, Edward Caro, Robert Crippen, Riley Duren, Scott Hensley, Michael Kobrick, et al. 2007. «The Shuttle Radar Topography Mission.» Reviews of Geophysics 45 (2): RG2004. https://doi.org/10.1029/2005RG000183.
7. Hansen, M. C., P. V. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S. A. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, et al. 2013. «High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change.» Science 342 (6160): 850–53. https://doi.org/10.1126/science.1244693.
8. Kamusoko, Courage. 2019. Remote Sensing Image Classification in R. Springer Geography. Singapore: Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978–981–13–8012–9.
9. Palchowdhuri, Y., R. Valcarce-Diñeiro, P. King, and M. Sanabria-Soto. 2018. «Classification of Multi-Temporal Spectral Indices for Crop Type Mapping: A Case Study in Coalville, UK.» The Journal of Agricultural Science 156 (1): 24–36. https://doi.org/10.1017/S0021859617000879.
10. Quantum GIS Development Team. 2019. «Quantum GIS Geographic Information System.» Open Source Geospatial Foundation. http://www.qgis.org/en/site/.
11. R Core Team. 2019. «R: A Language and Environment for Statistical Computing.» Foundation for Statistical Computing. https://www.R-project.org/.
12. «The Land Matrix. Global Map.» 2019. 2019. https://landmatrix.org/global/.
13. Ustuner, M., F. B. Sanli, S. Abdikan, M. T. Esetlili, and Y. Kurucu. 2014. «Crop Type Classification Using Vegetation Indices of RapidEye Imagery.» ISPRS — International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XL-7 (September): 195–98. https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-7–195–2014.
14. «Програма Світового Банку «Підтримка Прозорого Управління Земельними Ресурсами в Україні».» n.d. Accessed October 31, 2019. https://map.geoportalua.com/worldbank/.

Додатки

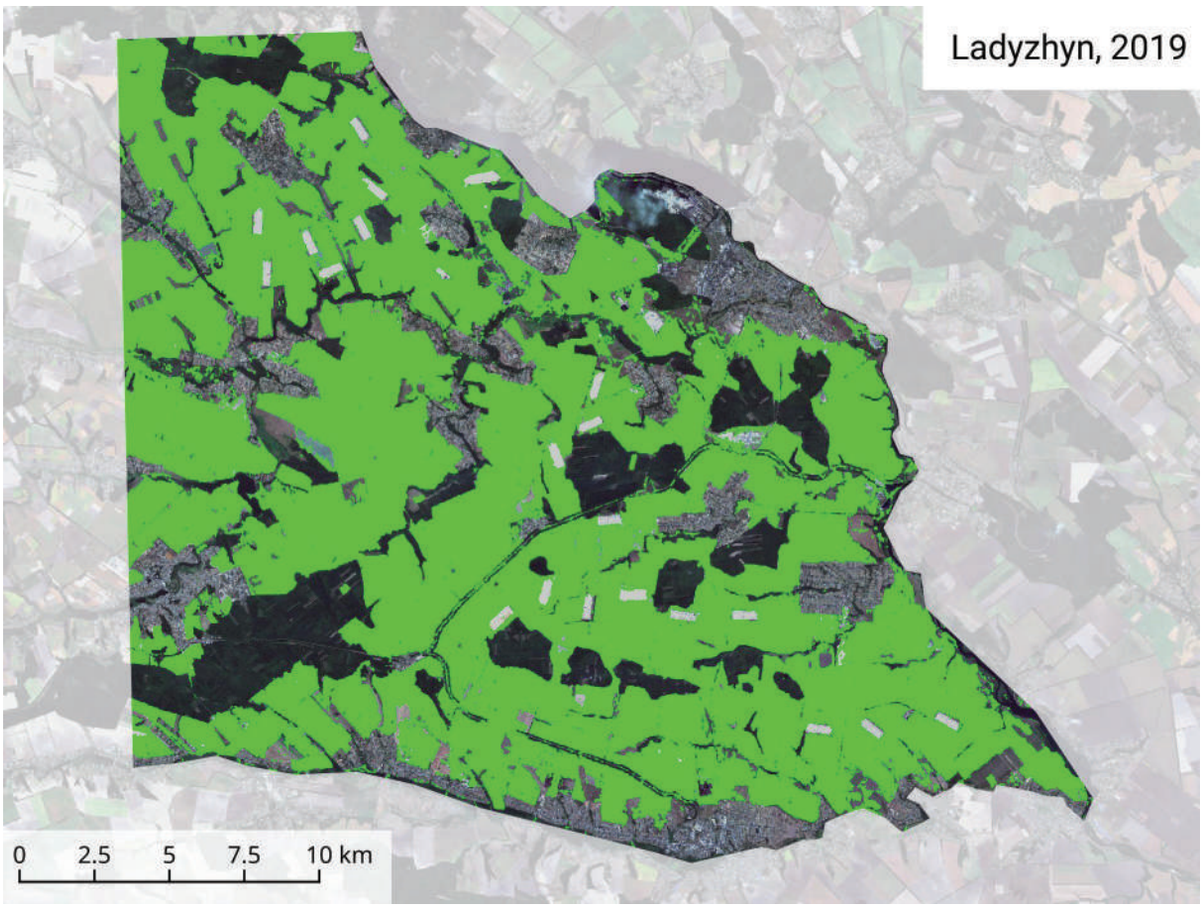
Додаток 1

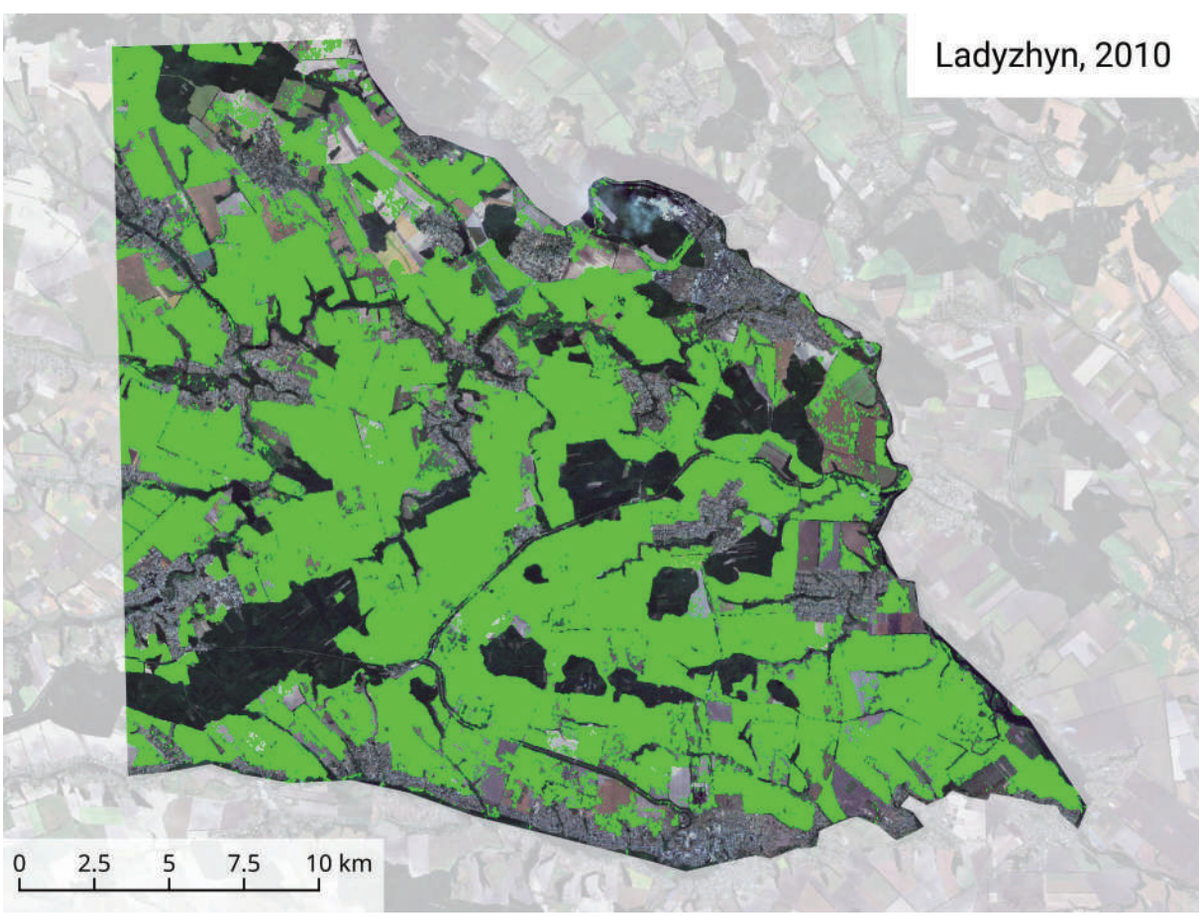
КАРТИ ОРНИХ ЗЕМЕЛЬ

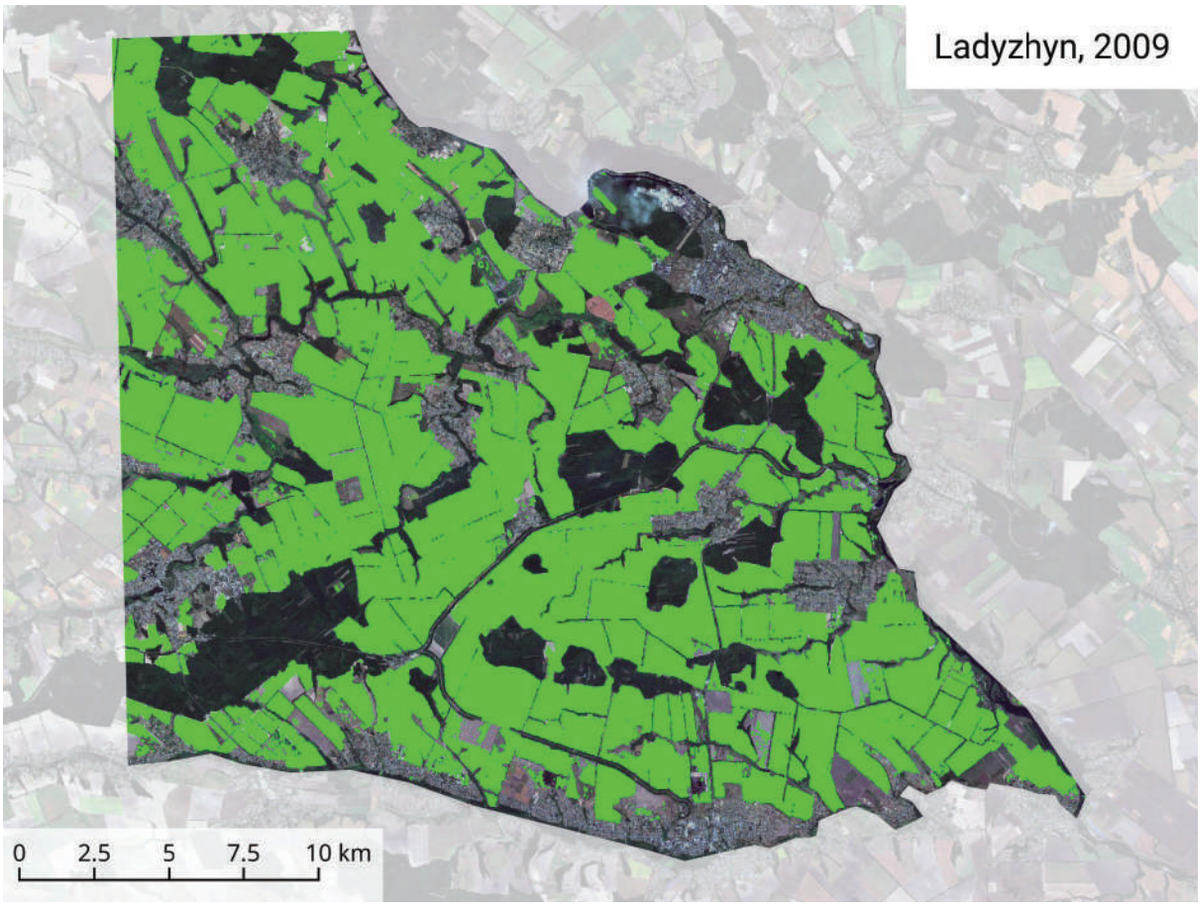


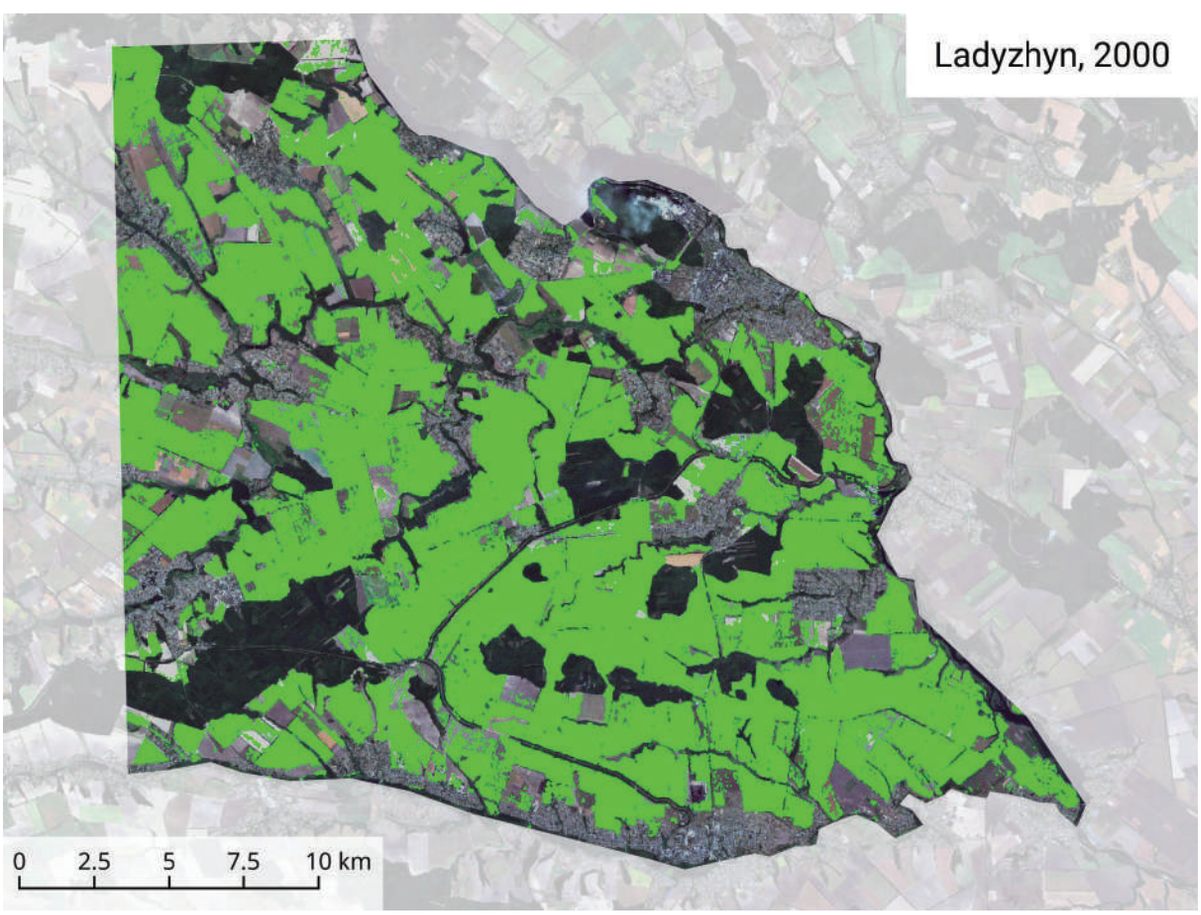

Halych, 2004
0
2.5
5
7.5
10 km

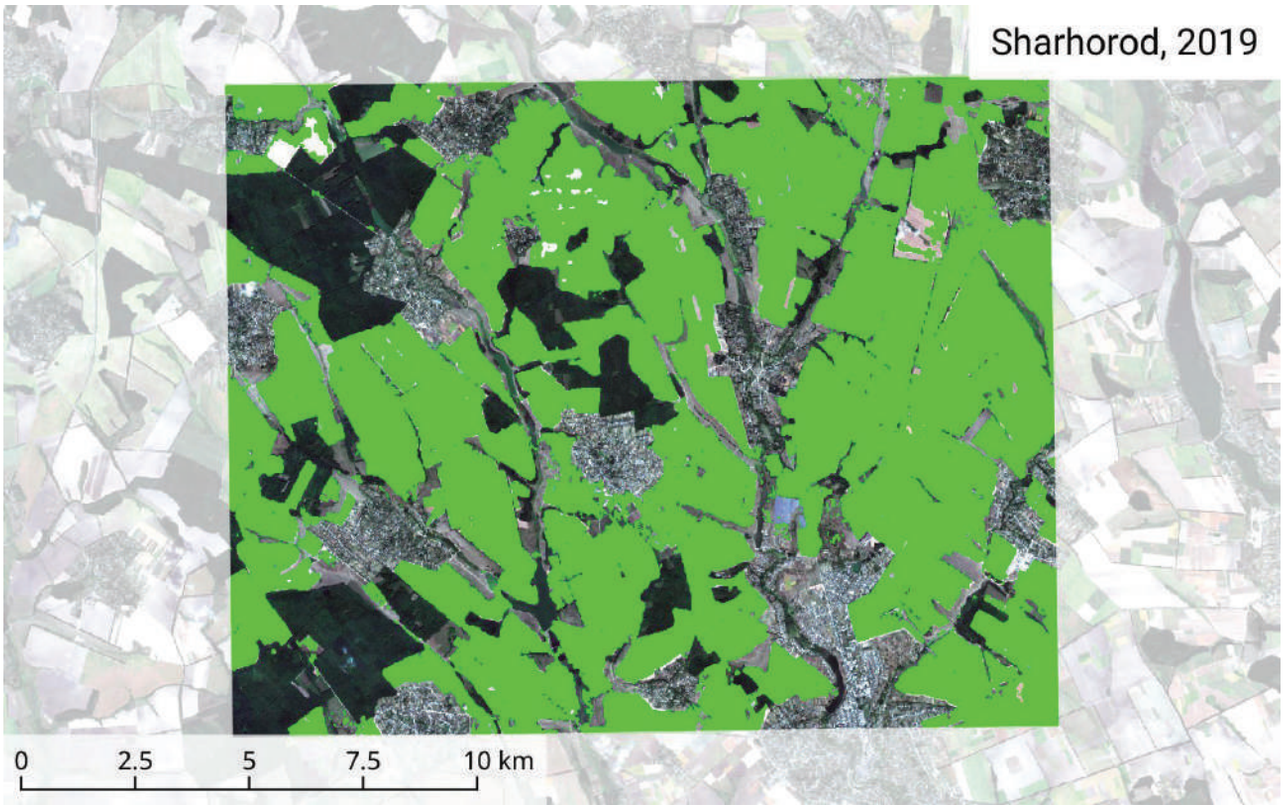
Halych, 2000
0
2.5
5
7.5
10 km

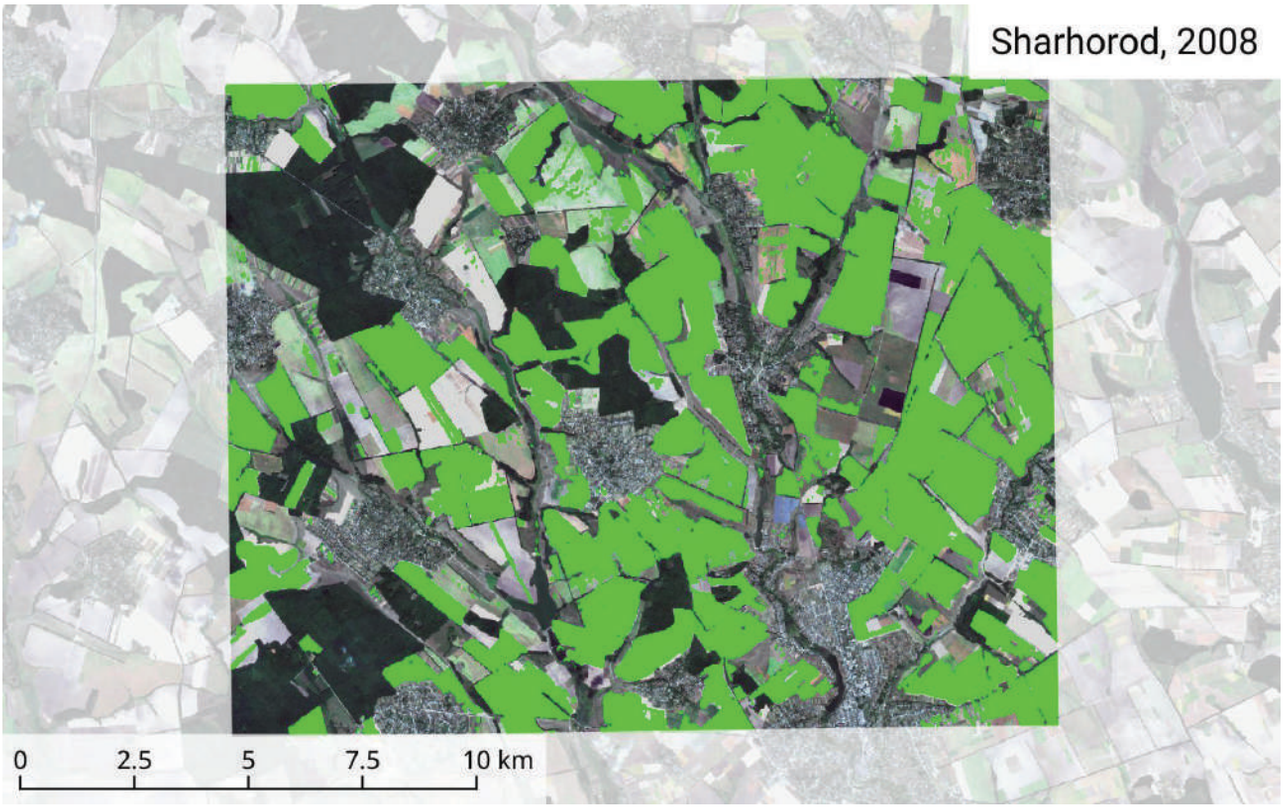

Ladyzhyn, 2019
0 2.5 5 7.5 10 km

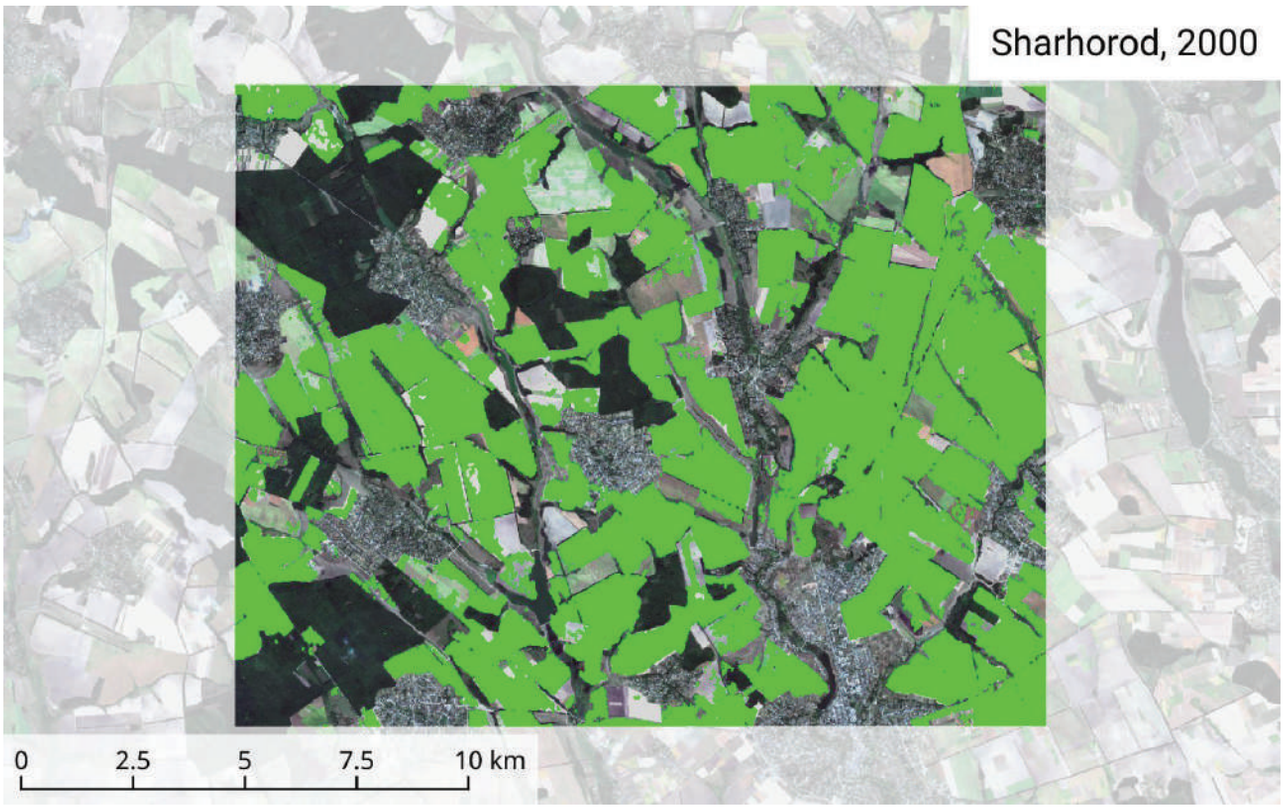

Ladyzhyn, 2010
0 2.5 5 7.5 10 km


Ladyzhyn, 2009
0
2.5
5
7.5
10 km


Ladyzhyn, 2000
0
2.5
5
7.5
10 km

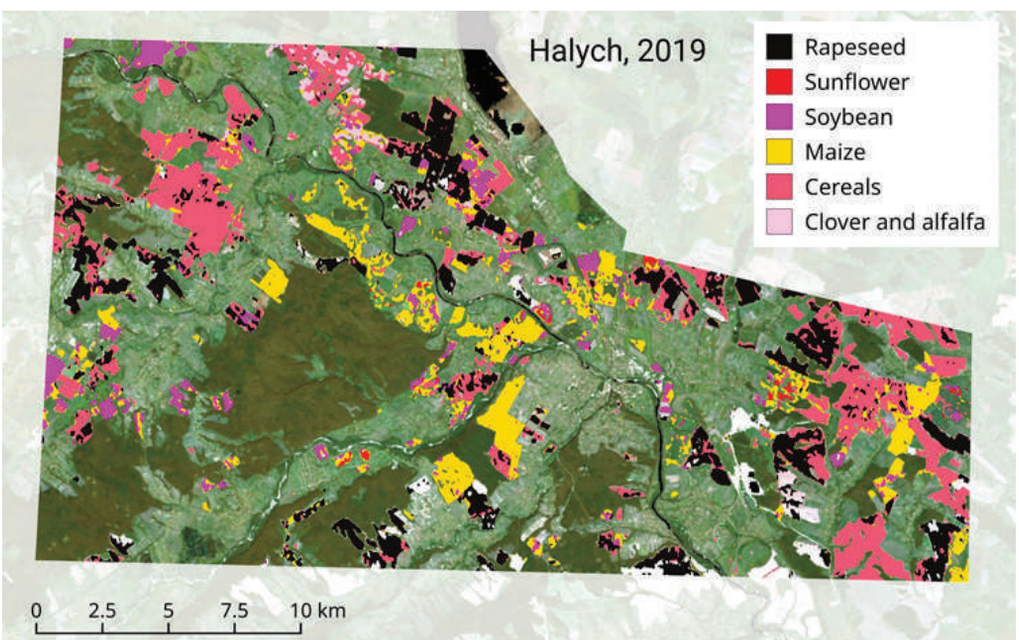

Sharhorod, 2019
0
2.5
5
7.5
10 km

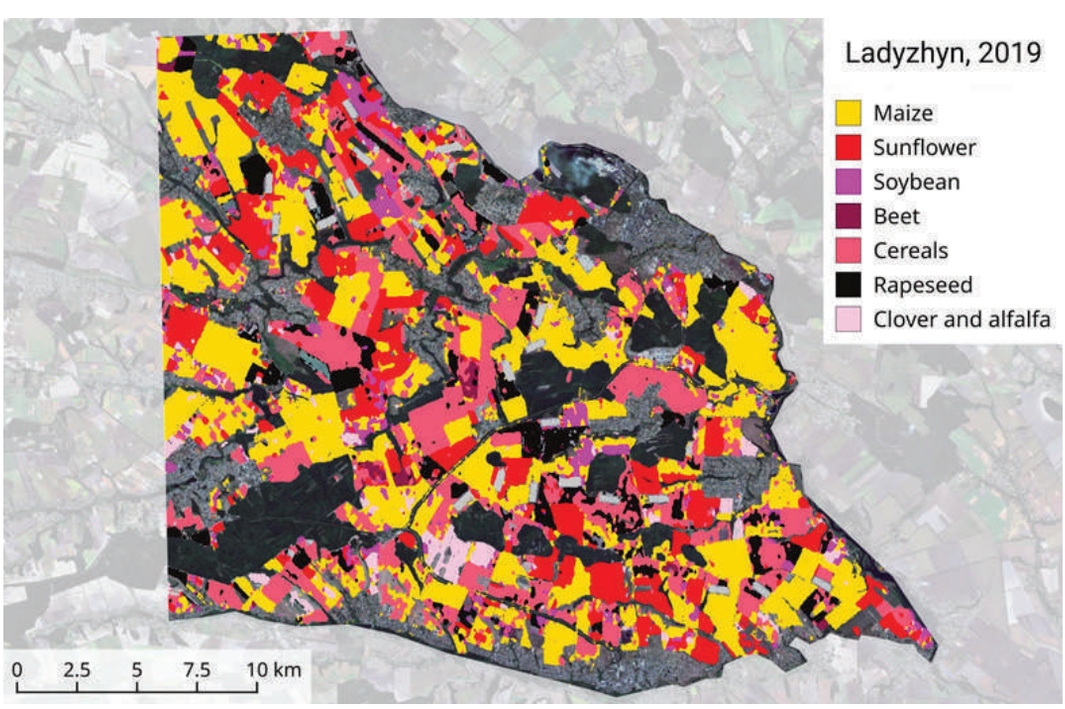

Sharhorod, 2008
0
2.5
5
7.5
10 km

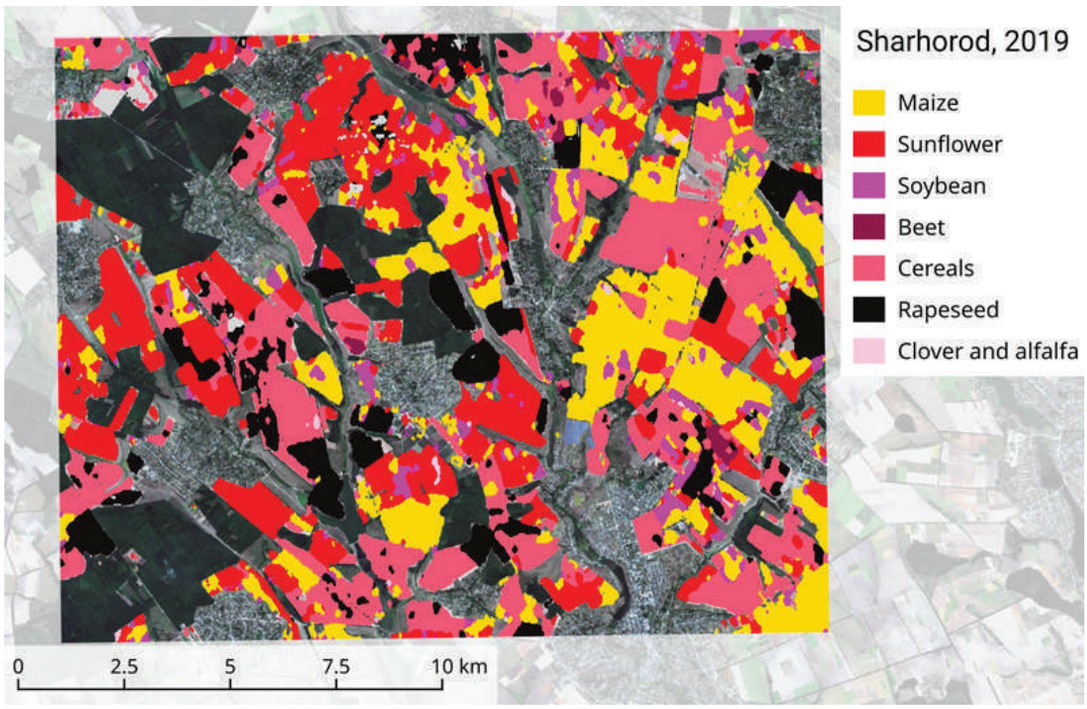

Sharhorod, 2000
0
2.5
5
7.5
10 km

Додаток 2

КАРТИ РЕЗУЛЬТАТІВ РЕТРОСПЕКТИВНОГО РОЗПІЗНАВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР ЗА НАВЧАЛЬНИМИ ДАНИМИ 2019 РОКУ







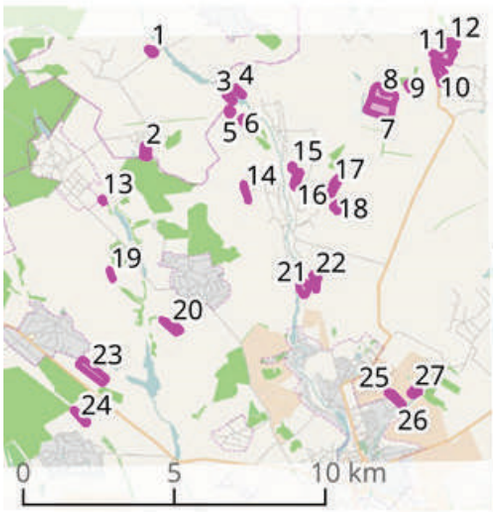
Детальні мапи ділянок дослідження можна знайти тут
http://bit.ly/agromap4ea

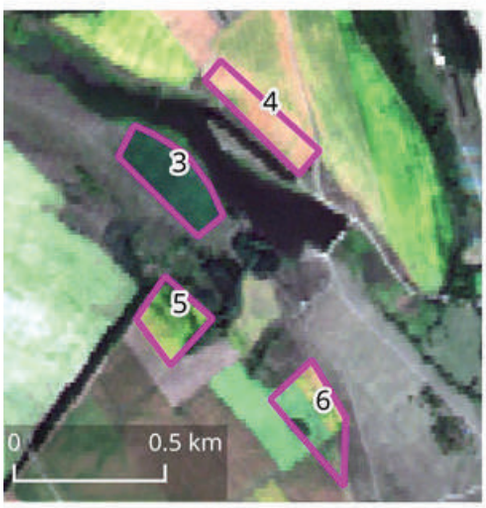
Додаток 3

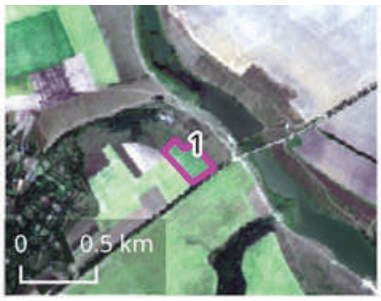
КАРТИ ДІЛЯНОК, ВПЕРШЕ РОЗОРАНИХ ПІСЛЯ 2008 РОКУ НА ТЕРИТОРІЇ ДІЛЯНОК ДОСЛІДЖЕННЯ «ЛАДИЖИН» І « ШАРГОРОД»

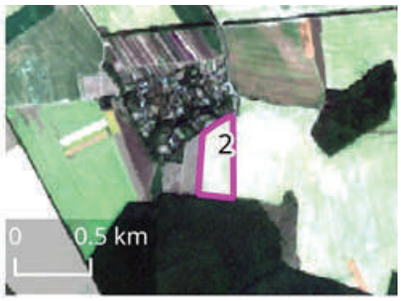
id	Area, Ha	Average slope	Years of tillage	Latitude	Longitude
1	10.9	5.8	2017 - 2019	48.72683	28.98292
2	15.4	4.6	2008 - 2019	48.74502	29.07583
3	3.9	4.1	2014 - 2019	48.70687	29.00976
4	3.4	3.7	2014 - 2019	48.70066	29.00791
5	10.7	7.1	2017 - 2019	48.71175	29.05489
6	2.4	6.9	2019	48.72511	29.11641
7	3	1.8	2009 - 2019	48.6231	29.03247
8	6.1	6.8	2019	48.65184	29.1181
9	6.4	3.2	2018	48.66713	29.29171
10	6.9	7.7	2019	48.58526	28.99639
11	10.7	3.6	2019	48.62103	29.14503
12	1.2	6.5	2014 - 2019	48.5659	29.06447
13	6.4	5	2008 - 2019	48.54794	29.10386
14	7.4	3.9	2013, 2015 - 2019	48.52996	29.34727
15	16.5	3	2017 - 2019	48.5456	29.36273

Sharhorod

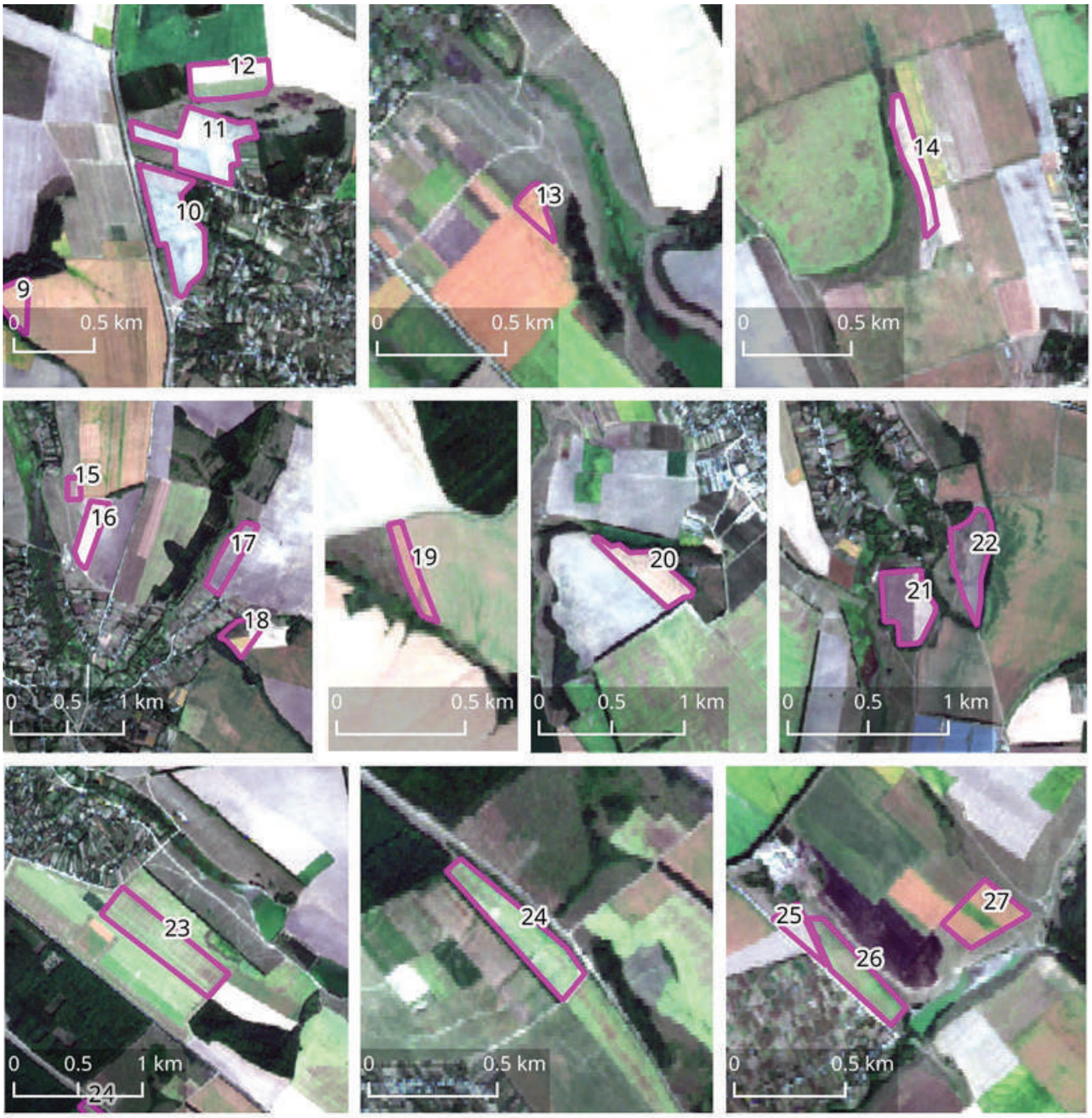






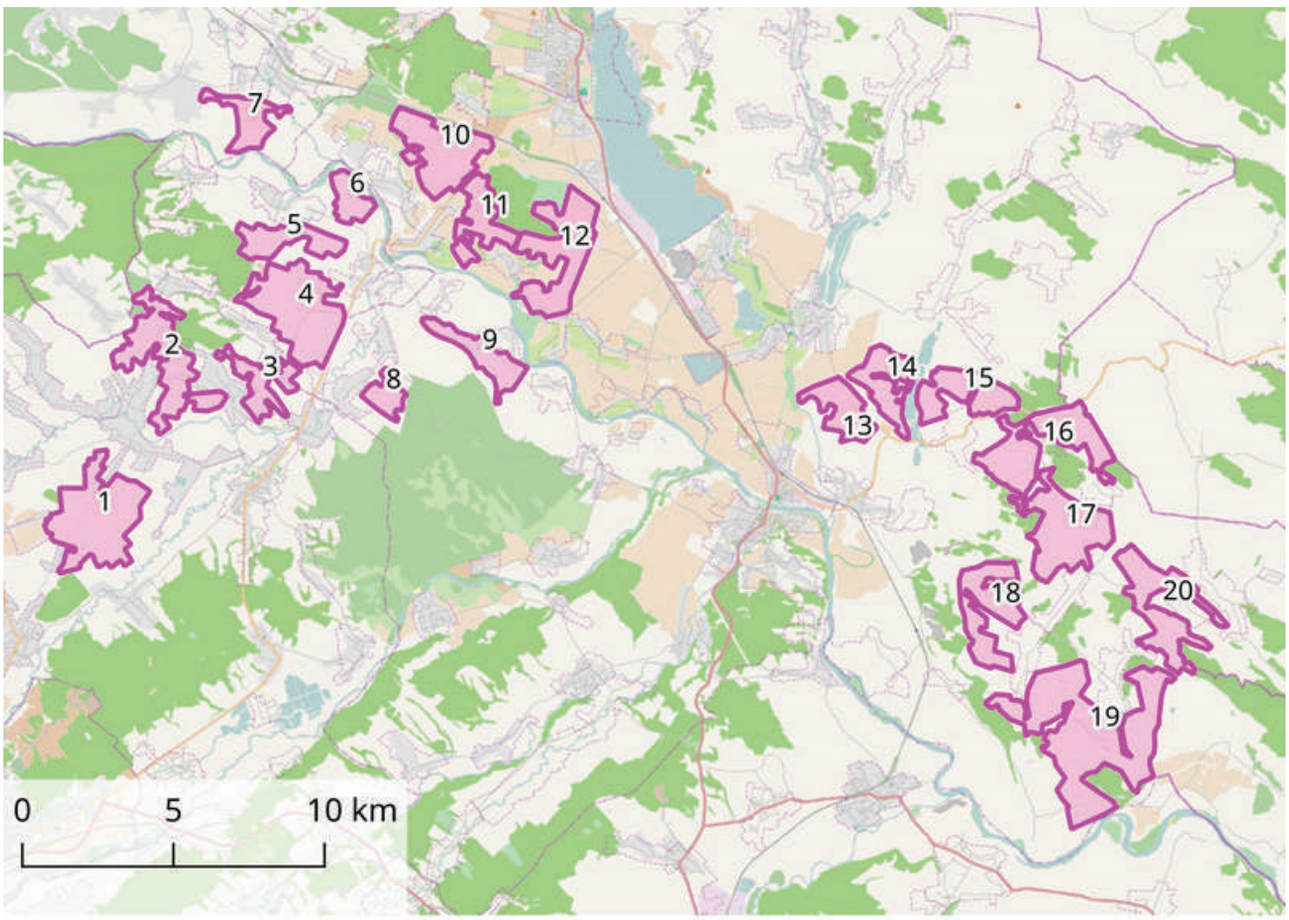


id	Area, Ha	Average slope	Years of tillage	Latitude	Longitude
1	4.7	5.9	2019	48.86424	27.98955
2	10.4	3	2008 - 2019	48.83464	27.98643
3	5.7	4.8	2017 - 2019	48.85016	28.02455
4	4.2	7.2	2010 - 2019	48.85194	28.02869
5	3.8	4.4	2009 - 2019	48.84595	28.02449
6	4.9	5.8	2019	48.84301	28.03089
7	37.8	4.8	2008 - 2019	48.84624	28.09232
8	29.1	4	2010 - 2019	48.85007	28.09373
9	4.2	3.6	2009 - 2019	48.8529	28.10587
10	17.5	3.5	2018, 2019	48.85708	28.11945
11	17.8	3.3	2018, 2019	48.86169	28.1218
12	10.6	2.2	2016 - 2019	48.86524	28.12422
13	1.5	5.9	2018, 2019	48.81997	27.96659
14	4.2	6.1	2018, 2019	48.82192	28.03116
15	2.2	6	2018, 2019	48.82906	28.05232
16	8.7	4.8	2018, 2019	48.82562	28.05423
17	10.6	4.9	2018, 2019	48.82341	28.07113
18	7.4	5	2018, 2019	48.81722	28.07255
19	2.2	4.1	2008 - 2019	48.79779	27.96995
20	11.2	4.2	2015 - 2019	48.78205	27.99732
21	11.2	2.6	2015 - 2019	48.79294	28.05662
22	10.8	6.1	2019	48.79557	28.06215
23	27.7	3.6	2013 - 2019	48.76902	27.96091
24	7.9	5.4	2019	48.7554	27.95559
25	2	5.6	2018 - 2019	48.76108	28.09469
26	6.4	6.7	2019	48.75929	28.09817
27	6	6.1	2017 - 2019	48.76154	28.10602


12
11
10
9
0 0.5 km
13
0 0.5 km
14
0 0.5 km
15
16
17
18
0 0.5 1 km
19
0 0.5 km
20
0 0.5 1 km
22
21
0 0.5 1 km
23
0 0.5 1 km
24
0 0.5 km
25
26
27
0 0.5 km

Додаток 4

КАРТИ НАЙБІЛЬШИХ ЦІЛЬНИХ МАСИВІВ ПОЛІВ НА ТЕРИТОРІЇ «ГАЛИЧ», ЗАЙНЯТИХ ЄДИНОЮ СІЛЬГОСПКУЛЬТУРОЮ У 2019 РОЦІ



id	Area_Ha	Latitude	Longitude
1	715.3	49.11752	24.42265
2	580.5	49.16201	24.45437
3	251.1	49.15943	24.4958
4	704.4	49.18144	24.51075
5	267.2	49.20248	24.5004
6	151.6	49.21495	24.53249
7	223	49.2377	24.48502
8	130.5	49.15684	24.5518
9	257.6	49.16956	24.59493
10	514.3	49.23013	24.57256

id	Area_Ha	Latitude	Longitude
11	293.1	49.20965	24.59194
12	576.2	49.20119	24.62838
13	267	49.15686	24.75878
14	301.2	49.16517	24.77857
15	357.4	49.16248	24.81366
16	612.5	49.1466	24.8438
17	569.6	49.12277	24.86167
18	460.1	49.09863	24.82859
19	1396.4	49.06255	24.87512
20	510	49.09831	24.9056

УДК 528:633

Великомасштабні інвестиції та землекористування в Україні на космічних знімках: Дослідження/Біатов Антон, Прилуцький Олег, Амосов Михайло. – К., 2019. – 52 с.

Редактор: Заворотна Ганна

Видано за фінансової підтримки Land Matrix та його донорів: Європейської Комісії (ЄК), Німецького Федерального міністерства економічного співробітництва та розвитку (BMZ), а також Швейцарської агенції з розвитку та співробітництва (SDC).

Висловлюємо подяку за волонтерську допомогу у зборі польових даних: Лілії Юрків, Марії Дячук та Богдану Кученку.

Цей документ дозволяється копіювати з некомерційною ціллю без спеціального дозволу Центру екологічних ініціатив Екодія, однак посилання на джерело інформації є обов'язковим.

екодія
ecoaction.org.ua

LAND MATRIX

Зміст цього посібника є відповідальністю авторів і не має розглядатися як такий, що відображає думку Land Matrix
The support of Land Matrix and its donors, the European Commission (EC), German Federal Ministry for Economic Cooperation and Development (BMZ), and the Swiss Agency for Cooperation and Development (SDC), is greatly appreciated. The views herein shall not necessarily be taken to reflect the official opinion of Land Matrix.

Розповсюджується безкоштовно
Наклад: 100 шт.
Видавництво ФОП Попов Д.В.

екодія
ecoaction.org.ua

м. Київ,
вул. Саксаганського, 52а

+38 (044) 353-78-41

info@ecoaction.org.ua

Переходь за посиланням та завантажуй публікацію на сайті Екодії