

# ГЕОДЕЗІЯ ТА ЗЕМЛЕУСТРІЙ. ДИСТАНЦІЙНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗЕМЛІ

УДК 528.88; 311.2

<http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2023.01.12>

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІН ТИПІВ ЗЕМЕЛЬНОГО ПОКРИВУ В УКРАЇНІ НА ОСНОВІ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

**Л. ЖЕНЬ,**

аспірант\*

*zhen\_l@knuba.edu.ua*

*Київський національний університет будівництва і архітектури*

**Анотація.** *Зміна ґрунтового покриття є актуальним напрямком досліджень глобальних екологічних змін та сталого розвитку. Розуміння тенденцій змін земного покриття є основою для раціонального планування та управління земельними ресурсами і має важливе значення для забезпечення охорони земель та сталого розвитку. У цьому дослідженні було використано матрицю змін земельного покриття (land-cover transition matrix), оскільки її результати не залежать від типів та кількості земного покриття, а дані були проаналізовані за 2000-2015 роки. У цій статті запропоновано метод використання сервісу Google Earth для отримання публічних наборів даних про земний покрив, а потім виконання операцій картографічної алгебри над цими даними для побудови матриці змін земельного покриття, яка може бути використана для великої досліджуваної території з метою аналізу змін земного покриття в Україні. Використано цей метод для побудови цієї матриці за період 2000-2015 рр. на території України. Дані матриці показують, що зміна земельного покриття в Україні за період 2000-2015 рр. є помірною, із загальною зміною 2,244%, що є дуже низьким відносно усієї площі України. Частка орних земель зменшилася, а частка міських та забудованих земель збільшилася. Практичною значущістю результатів є можливість оперативно та ефективно отримувати дані про зміни земного покриття на досліджуваній території та надавати допомогу користувачам в аналізі тенденцій та закономірностей змін земного покриття.*

**Ключові слова:** *зміна земного покриття, Google Earth Engine, матриця змін земельного покриття*

\* Науковий керівник – Н. Ю. Лазоренко, кандидат технічних наук, доцент Київського національного університету будівництва і архітектури.

### **Постановка проблеми.**

Зі зростанням чисельності населення та економічним розвитком конфлікт між людьми і природними ресурсами стає все більш помітним, а земельні ресурси, як один з найважливіших природних та економічних ресурсів – більш вразливими. Зростання населення збільшить попит на орні землі, ліси і луки будуть вирубуватися, а економічне зростання сприятиме розширенню міських територій і перетворенню орних земель. Зміна ґрунтового покриву є однією з важливих тем досліджень у сфері глобальних екологічних змін та сталого розвитку з 1990-х років [1-4].

Останнім часом, з розвитком дистанційного зондування та сенсорних технологій, супутникові знімки дистанційного зондування Землі стали важливим джерелом даних для дослідження змін земельних ресурсів. Покращені можливості довгострокового моніторингу та просторова роздільна здатність отриманих космічних знімків зробили можливим створення регіональних і навіть глобальних довгострокових наборів даних з високою роздільною здатністю про зміни земельних ресурсів. Наприклад, база даних Global Land Cover Characteristics, створена дослідниками з Геологічної служби США, Університету Небраски-Лінкольна та Об'єданого дослідницького центру Європейської Комісії на основі даних AVHRR з просторовою роздільною здатністю 1 км [5]. Глобальний земний покрив MODIS Collection 5 з просторовою роздільною здатністю 500 м був створений Бостонським університетом, США [6], а Об'єднаний дослідницький центр Європейської Комісії координував роботу 30

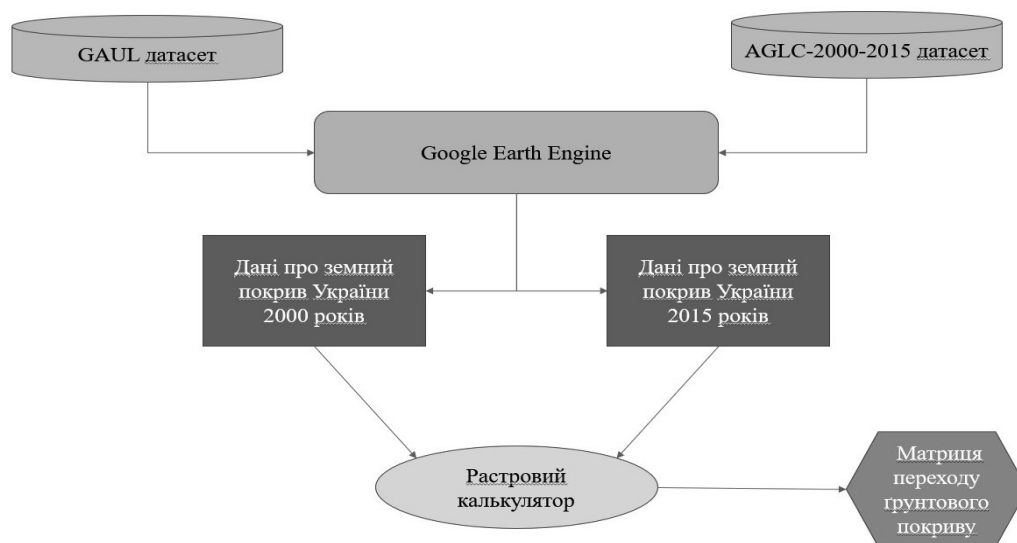
міжнародних дослідницьких груп з метою створення Глобальної бази даних земного покриву за 2000 рік (GLC2000) [7]. Хоча ці набори даних мають велику цінність для глобальних досліджень змін у землекористуванні та екологічних досліджень, вони також мають проблеми з низькою роздільною здатністю та офіційними посиланнями для завантаження, які не працюють після випуску наборів даних.

### **Аналіз останніх наукових досліджень і публікацій.**

Традиційний метод аналізу змін земельних ресурсів полягає в отриманні знімків дистанційного зондування Землі досліджуваної території в різні періоди часу, і після класифікації типів земного покриву за допомогою попередньої обробки зображень, покращення зображень та відповідних алгоритмів класифікації отримують карту класифікації земель, а потім використовують програмне забезпечення геоінформаційної системи (далі – ГІС) для обробки і, зрештою, отримують матрицю змін земель для аналізу ступеня, місця та типу змін земельних ресурсів.

Питання щодо застосування космічних знімків для моніторингу змін земного покриву були досліджені багатьма вченими: Manandhar R., Odeh I. O., Pontius R. G., Mallinis G., Koutsias N., Arianoutsou M., Phalke A. R., Özdoğan M., Thenkabail P. S., Erickson T., Gorelick N., Yadav K., Congalton R. G., Tamiminia H., Salehi B., Mahdianpari M., Quackenbush L., Adeli S., Brisco B., Солом'яничук Л. Ю., Кохан С. С. та інші [8-12, 25, 27].

Manandhar та ін. побудували матрицю переміщення землі для те-



**Рис. 1.** Процес створення матриці змін земельного покриття

риторії площею приблизно 379 квадратних кілометрів у Новому Південному Уельсі, Австралія, на основі класифікаційних карт, отриманих із зображень наземних супутників у 1985 та 2005 роках, для аналізу змін землі. Результати дослідження демонструють, що чиста зміна в цій області склала менше 7%, а загальні зміни більше 28% [8]. Mallinis та ін. побудували три матриці переміщення земель для двох гірських районів у межах 20 кілометрів від грецької столиці, щоб проаналізувати зміни з 1945 по 2007 рр. Остаточні результати показали, що, хоча два місця були географічно близькі, зміни земного покриття відбувалися по-різному [9]. Традиційний метод побудови матриці земель вимагає від дослідників високої здатності інтерпретувати зображення дистанційного зондування, щоб визначити відмінності в типах рослинності на досліджуваній території, а обробка даних також вимагає певних апаратних ресурсів. З цього випливає, що нам потрібно знайти швидкий метод обробки даних для

оцінки зміни рослинності на території дослідження.

Google Earth Engine (GEE) – це хмарна платформа обробки геопросторових даних, яка використовує високопродуктивні обчислювальні ресурси Google для обчислення геопросторових даних планетарного рівня. Платформа також включає велику колекцію загальнодоступних наборів геопросторових даних, таких як Landsat, MODIS, Sentinel 1, 2, 3, а також кліматичні та соціально-економічні дані, що складають петабайти і постійно оновлюються. Користувачі можуть працювати з наборами даних безпосередньо на платформі GEE без необхідності завантажувати дані на локальний комп'ютер. Tamiminia та інші проаналізували 349 статей на тему GEE, опублікованих у 146 різних журналах з 2010 по 2019 рік, і виявили, що 90% досліджень використовували набори даних дистанційного зондування, а 10% використовували готові до використання продукти [11]. Phalke та ін. використали дані Landsat-7 і

Landsat-8 на платформі GEE в поєднанні з алгоритмом випадкового лісу, щоб намалювати карти ареалу сільськогосподарських угідь 64 країн Європи, Близького Сходу, Росії та Центральної Азії в 2015 році [12]. Усе це підтверджує надійність і потенціал GEE при роботі з великомасштабними географічними даними.

**Метою дослідження** є аналіз змін земного покриву в Україні за 15 років шляхом створення матриці змін земного покриву на основі даних класифікації земного покриву на територію України за 2000-2015 роки за допомогою GEE.

### ***Матеріали і методи наукового дослідження.***

Основним методами дослідження є аналіз і синтез. Також було використано теорію алгебри карт та математичні моделі для статистичного аналізу зміни площ типів земного покриву. Слід зазначити, що GEE було використано для отримання даних про земний покрив для України за 2000 та 2015 роки з загальнодоступного глобального набору даних про земний покрив AGLC-2000-2015. Дані є растровим зображенням, а величина значень елементів зображення є кодом класу для класифікації земного покриву. Потім растрові дані були оброблені за допомогою картографічної алгебри з використанням ГІС-технологій для визначення кількості ділянок, що зазнали змін, після чого дані були експортовані у формат CSV та виконані статистичні розрахунки для створення матриці змін земного покриву. Нарешті, дані цієї матриці були проаналізовані для отримання тенденцій змін земного покриву за 15 років в Україні.

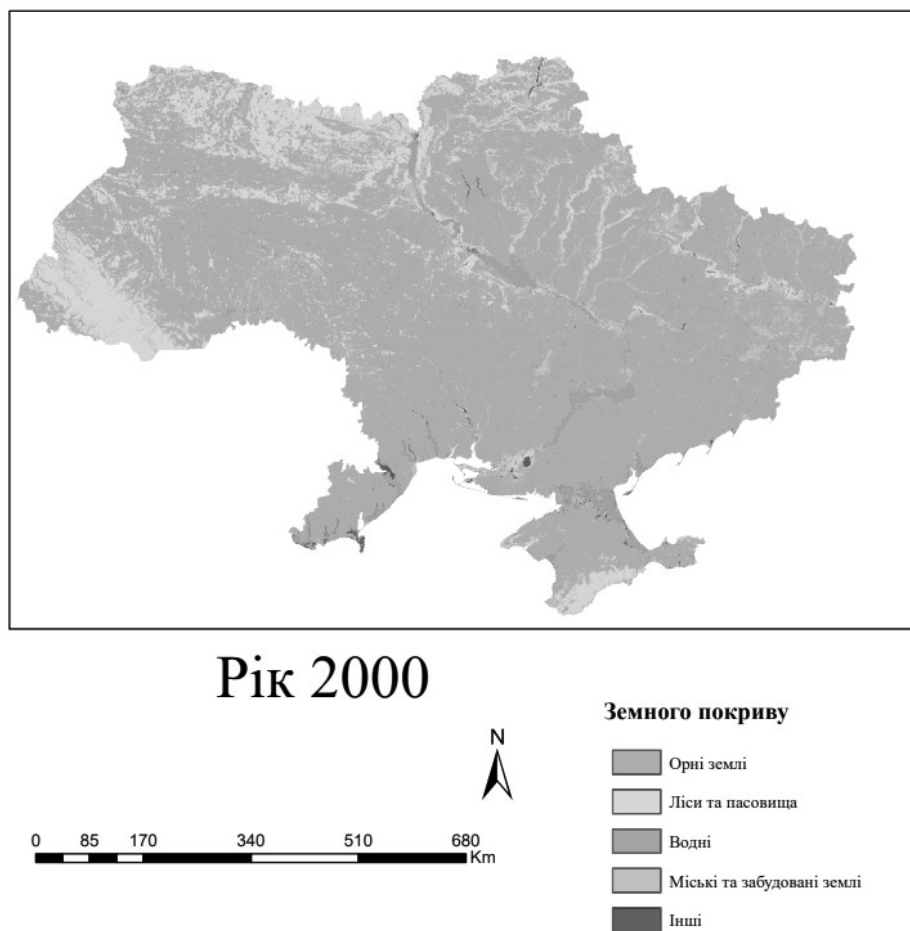
### ***Результати дослідження.***

Ця стаття є прикладом використання матриці змін земного покриву для досліджуваної території за допомогою платформи GEE на основі загальнодоступних космічних знімків та набору даних про земний покрив.

Матриця змін земного покриву надає цінну інформацію для аналізу змін, втрат, надходжень і обмінів категорій земного покриву, але матриця не може відображати зміни земельних угідь у безперервному часі і, таким чином, не може всебічно показати процес зміни земельних угідь. Крім того, якщо досліджувана територія є занадто великою, наприклад, на рівні країни, то локальні радикальні зміни можуть бути пропущені.

Територією дослідження є вся територія України, а національні адміністративні кордони визначаються за допомогою набору даних Global Administrative Unit Layer (GAUL), що входить до платформи GEE. Цей набір даних було впроваджено ФАО в рамках проектів CountrySTAT та Інформаційної системи аграрного ринку (AMIS). Ця версія набору даних GAUL є спрощеною з роздільною здатністю 500 метрів [13].

Набір даних про земний покрив використовує Щорічний глобальний набір даних про земний покрив за 2000-2015 роки (AGLC-2000-2015), створений Xu та ін. у 2021 році [14]. Набір даних було створено з використанням численних глобальних продуктів з вивчення земного покриву, даних космічних знімків, отриманих за допомогою супутників серії Landsat, великої кількості інтерпретованих вручну зразків у поєднанні з різними алгоритмами машинного навчання та за допомогою платформи



**Рис. 2. Карта земного покриття – Україна 2000 рік**

Google Earth Engine. Середня загальна точність, заснована на моделях класифікації випадкових лісів, становить понад 80% у континентальному масштабі.

GEE також включає інші набори даних про земний покрив, такі як ESA World Cover 10m v100, створений Європейським космічним агентством (ESA) на основі даних Sentinel-1 та Sentinel-2, він містить глобальні дані про земний покрив за 2020 рік [15]. CGLS-LC100 Collection 3, компонент Глобальної земельної служби Copernicus (CGLS), цей набір даних містить глобальні карти земного покриття з просторовою роздільною здатністю 100 м за 2015-2019 роки [16]. MCD12Q1 створюється Геологіч-

ною службою США (UCGS) і містить глобальні карти земного покриття з просторовою роздільною здатністю 500 м за 2001-2021 роки [17].

Порівняно з цими наборами даних, AGLC-2000-2015 має більш відповідну часову та просторову роздільну здатність і може ефективно відображати розподіл та щорічні зміни земного покриття в Україні з роздільною здатністю 30 м, починаючи з 2000 року.

В AGLC-2000-2015 земний покрив класифікується на 10 категорій: Орні землі, Ліси, Пасовища, Чагарники, Водно-болотні угіддя, Водні, Тундра, Міські та забудовані землі, Безплідні землі, Постійний сніг та лід. Відповідно до фактичної ситуа-

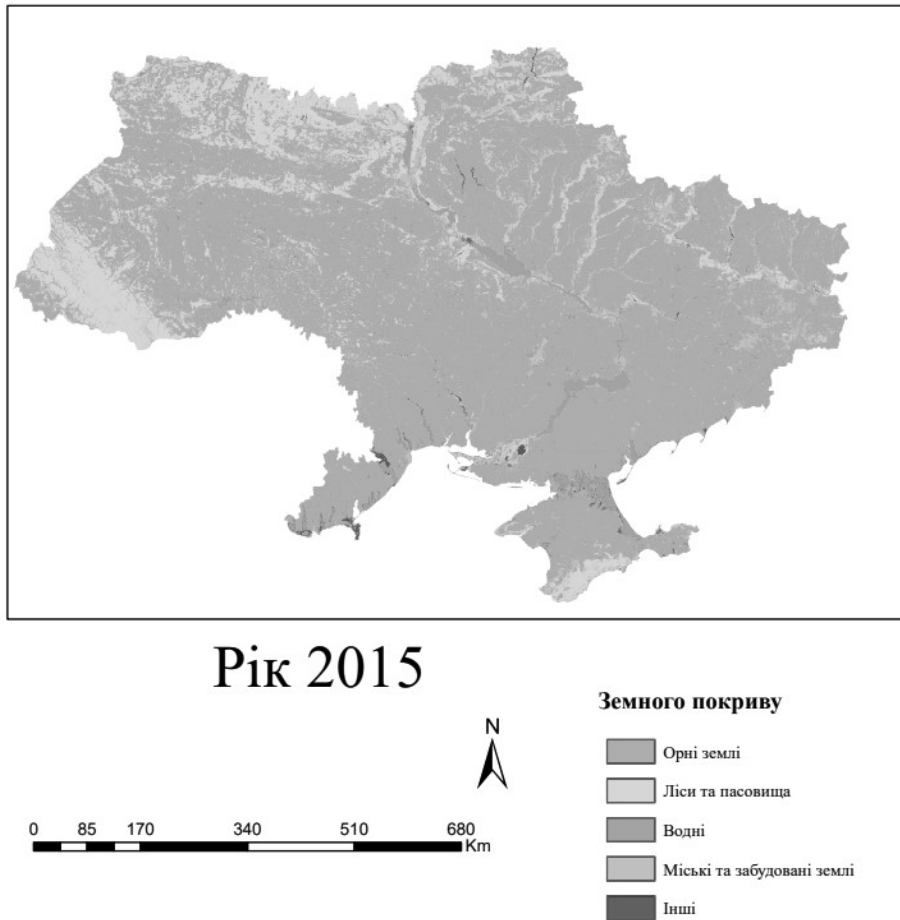


Рис. 3. Карта земного покриття – Україна 2015 рік

ції, ми перекласифікували дані про земний покрив у 5 категорій: Орні землі, Ліси та пасовища (ЛП), Міські та забудовані землі (МЗЗ), Водні, Інші (рис. 2 – 4). До інших належать безплідні землі, чагарники, водно-болотні угіддя, постійний сніг і лід.

Матриця переходу земель описує зміну статусу землекористування в часі, і її принцип полягає в тому, щоб перерахувати ймовірність переходу типу зміни землекористування у вигляді матриці, яка може візуально відображати зміну площі землекористування в певному регіоні, значення площ якого визначені за методами описаною у роботі [24], а також детально відображати взаємоперетворення та ймовірність джерела між

кожною категорією, а потім розуміти структурні характеристики типів земного покриття до і після переходу. Хоча цей метод має певні обмеження, він є одним з найпоширеніших методів вивчення процесу зміни землекористування [18-22]. Математичні вирази виглядають наступним чином:

$$P = (P_{ij}) = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} \end{pmatrix}$$

n - кількість типів землекористування.  $P_{ij}$  - ймовірність переходу від типу i до типу j за наступних умов:

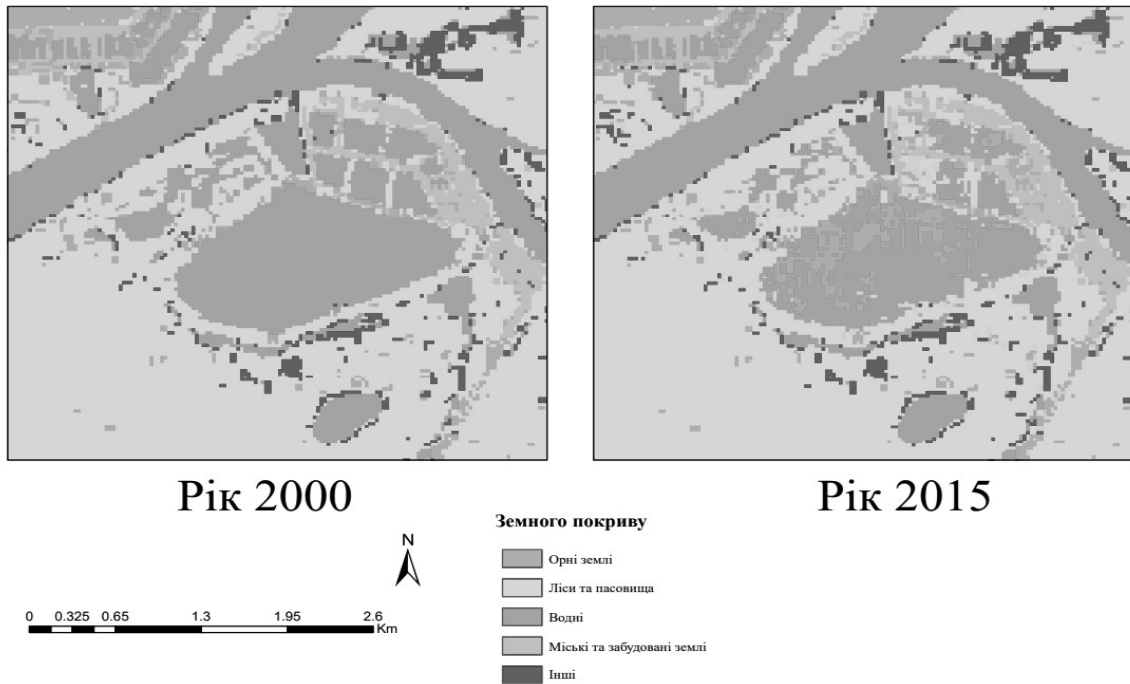


Рис. 4. Карта категорій земного покритву – фрагмент

$$0 \leq P_{ij} \leq 1 (i, j = 1, 2, 3, \dots, n)$$

$$\sum_{i=1}^n P_{ij} = 1$$

У дослідженні були безпосередньо оброблені растрові зображення земного покритву за різні роки за допомогою алгебри карт. Після цього знайдено добуток площі зміни категорії земного покритву (кількість пікселів, що змінилися, помножено на площу цього пікселя) і, нарешті, обчислено відсоток для побудови матриці зміни

категорії земного покритву. В Таблиці 1 наведено розгорнуту статистичну інформацію.

На рисунку 5 квадрати позначають пікселі, цифри в квадратах – класифікаційні номери земного покритву, а зеленим кольором позначені пікселі, які не змінилися. Жовтим кольором позначені пікселі, які змінилися.

Матриця перерахунку для категорій земного покритву в Україні за 2000-2015 рр. наведена у таблиці 1, де значення представляють відсоток кожної категорії земель з точністю до 3 знаків після коми. Матриця тран-

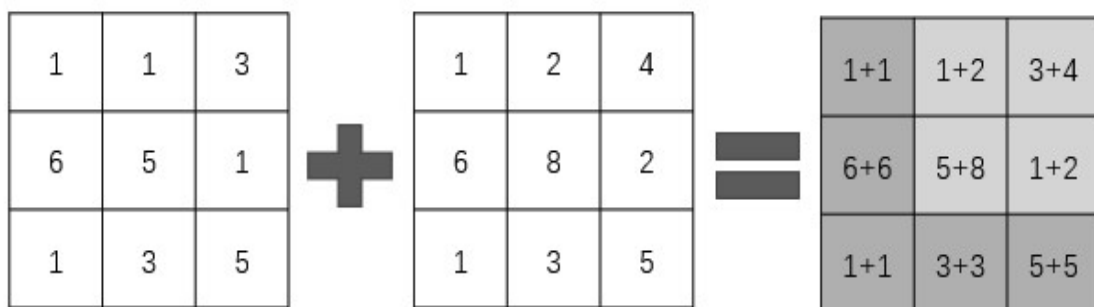


Рис. 5. Теорія обчислення растрів

## 1. Матриця зміни земного покриття за 2000-2015 рр (%)

Рік 2000	Рік 2005					Всього 2015 ( $P_{i+}$ )	Втрати
	Орні землі	ЛП	МЗЗ	Вода	Інші		
Орні землі	64.477	0.209	0.571	0.001	0.002	65.261	0.784
ЛП	0.144	28.233	0.022	0.025	0.005	28.429	0.196
МЗЗ	0.028	0.007	3.370	0.001	0.001	3.407	0.037
Вода	0.037	0.042	0.003	2.547	0.004	2.633	0.087
Інші	0.002	0.013	0.001	0.002	0.252	0.270	0.018
Всього 2015 ( $P_{+j}$ )	64.688	28.505	3.966	2.576	0.264		
Приріст	0.212	0.272	0.597	0.030	0.012		

сформації фактично є двовимірною таблицею. Підсумкові значення рядків показують частку категорій земного покриття на початковий момент часу, підсумкові значення стовпців показують частку категорій земного покриття на кінцеву дату, а значення по діагоналі вказують на ймовірність того, що зміни не відбудуться.

Чиста зміна ( $D_j$ ) представляє різницю в загальній кількості. Чиста зміна для категорії земного покриття – це різниця між часткою в початковий період і часткою в кінцевий період, тобто різниця між підсумками рядків і підсумками стовпців для певної категорії земного покриття в матриці, причому результат береться як абсолютна величина. Він розраховується за наступною формулою:

$$D_j = |P_{+j} - P_{j+}| \quad (1)$$

$P_{+j}$  – частка земного покриття категорії J на початку дослідження

$P_{j+}$  – частка земного покриття категорії J на кінець дослідження

Однак, чиста зміна відображає лише пропорційну зміну певної категорії земельного покриття і не може відображати зміну просторового роз-

ташування цієї категорії земельного покриття. Наприклад, якщо сільськогосподарські землі вилучаються для будівництва, а та ж сама площа сільськогосподарських земель компенсується в іншому місці, то чиста зміна сільськогосподарських земель дорівнює нулю, але фактичне просторове розташування змінилося. Цей тип змін називається обміном ( $S_j$ ), який відноситься до прибутків і збитків для категорії земель у різних місцях і розраховується як подвоєна мінімальна величина прибутків і збитків [23]. Цей показник обчислюється за наступною формулою:

$$S_j = 2 * \text{MIN}(P_{+j} - P_{jj}, P_{+j} - P_{jj}) \quad (2)$$

Загальна зміна категорії земного покриття, яка є сумою чистої зміни та зміни внаслідок обміну, розраховується за такою формулою:

$$C_j = D_j + S_j \quad (3)$$

Згідно з даними, наведеними в Таблиці 1, всі типи землекористування в Україні змінилися, але масштаби змін не є очевидними. Найбільшою категорією земельного покриття є орні



## 2. Зведені дані про зміни ландшафту (%)

	Всього, 2000 р	Всього, 2015 р.	Приріст	Втрати	Всього зміни	Обмін	Абсолютна величина чистої зміни
Орні землі	65.261	64.688	0.212	0.784	0.996	0.423	0.573
ЛП	28.429	28.505	0.272	0.196	0.468	0.392	0.076
МЗЗ	3.407	3.966	0.597	0.037	0.634	0.074	0.559
Вода	2.633	2.576	0.030	0.087	0.116	0.059	0.057
Інші	0.270	0.264	0.012	0.018	0.030	0.025	0.006
Всього	100	100	1.122	1.122	2.244	0.973	1.271

землі, за нею йдуть ліси та пасовища, а потім міські та забудовані землі.

Діагональна лінія в Таблиці 1 показує відсоток різних категорій земельного покриття, який залишився незмінним між 2000 і 2015 рр. Близько 64,477% орних земель у 2000 р. залишилися незмінними у 2015 р., але найбільші втрати орних земель за 15-річний період припадають на міські та забудовані землі, а також ліси і пасовища. Найбільше відсоткове зростання відбулося в категорії "Міські та забудовані землі".

Дані в Таблиці 2 розраховані на основі даних в Таблиці 1 та рівнянь (1), (2) і (3). Згідно з даними, наведеними в Таблиці 2, міські та забудовані землі отримали найбільшу частку трансфертів з інших категорій земель. Сільськогосподарські угіддя втратили найбільший відсоток площі, головним чином з точки зору зміни кількості. Зміни в лісах і пасовищах відображають, головним чином, зміни в просторовому розташуванні.

### Висновок.

Метод, представлений у цій роботі, передбачає мінімальну необхідну кількість етапів для побудови матриці зміни земного покриття і виконує ста-

тистичний аналіз на основі даних матриці. Як один з найважливіших природних ресурсів, тісно пов'язаних з діяльністю людини, земельні ресурси часто перебувають під впливом різних комплексних факторів, таких як соціокультурне середовище, економічні інтереси, а також політика та регулювання. Щоб виявити закономірності змін типів земельного покриття під впливом зазначених факторів, необхідне подальше дослідження шляхом синтезу різноманітних даних, що буде досліджено у наступних роботах.

### Список літератури

1. Fischer, G., & Sun, L. Model based analysis of future land-use development in China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2001. 85(1–3), 163–176. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0167-8809\(01\)00182-7](https://doi.org/10.1016/s0167-8809(01)00182-7)
2. De Freitas, M. W. D., Muñoz, P., Dos Santos, J. R., & Alves, D. S. Land use and cover change modelling and scenarios in the Upper Uruguay Basin (Brazil). *Ecological Modelling*, 2018. 384, 128–144. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.06.009>
3. Zhou, Y., Li, X., & Liu, Y. Land use change and driving factors in rural China during the period 1995-2015. *Land Use Pol-*

- icy, 2020. 99, 105048. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.105048>
4. Cui, X., Liu, C., Shan, L., Lin, J., Zhang, J., Jiang, Y., & Zhang, G. Spatial-Temporal Responses of Ecosystem Services to Land Use Transformation Driven by Rapid Urbanization: A Case Study of Hubei Province, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021. 19(1), 178. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph19010178>
  5. Loveland, T. R., Reed, B. C., Brown, J. F., Ohlen, D. O., Zhu, Z., Yang, L., & Merchant, J. W. Development of a global land cover characteristics database and IGBP DISCover from 1 km AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 2000. 21(6–7), 1303–1330. DOI: <https://doi.org/10.1080/014311600210191>
  6. Friedl, M. A., Sulla-Menashe, D., Tan, B., Schneider, A., Ramankutty, N., Sibley, A., & Huang, X. MODIS Collection 5 global land cover: Algorithm refinements and characterization of new datasets. *Remote Sensing of Environment*, 2010. 114(1), 168–182. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.08.016>
  7. Bartholomé, E., & Belward, A. S. GLC2000: a new approach to global land cover mapping from Earth observation data. *International Journal of Remote Sensing*, 2005. 26(9), 1959–1977. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431160412331291297>
  8. Manandhar, R., Odeh, I. O., & Pontius, R. G. Analysis of twenty years of categorical land transitions in the Lower Hunter of New South Wales, Australia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2010. 135(4), 336–346. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.10.016>
  9. Mallinis, G., Koutsias, N., & Arianoutsou, M. Monitoring land use/land cover transformations from 1945 to 2007 in two peri-urban mountainous areas of Athens metropolitan area, Greece. *Science of the Total Environment*, 2014. 490, 262–278. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.04.129>
  10. Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 2017. 202, 18–27. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
  11. Tamiminia, H., Salehi, B., Mahdianpari, M., Quackenbush, L., Adeli, S., & Brisco, B. Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2020. 164, 152–170. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.04.001>
  12. Phalke, A. R., Özdoğan, M., Thenkabail, P. S., Erickson, T., Gorelick, N., Yadav, K., & Congalton, R. G. Mapping croplands of Europe, Middle East, Russia, and Central Asia using Landsat, Random Forest, and Google Earth Engine. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2020. 167, 104–122. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.06.022>
  13. FAO GAUL 500m: Global Administrative Unit Layers 2015, First-Level Administrative Units. URL: [https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/FAO\\_GAUL\\_SIMPLIFIED\\_500m\\_2015\\_level1](https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/FAO_GAUL_SIMPLIFIED_500m_2015_level1) (дата звернення: 18.02.2023).
  14. Xu X C, Li B J, Liu X P, Li X and Shi Q. Mapping annual global land cover changes at a 30 m resolution from 2000 to 2015. *National Remote Sensing Bulletin*, 2021. 25(9) 1896-1916. DOI: 10.11834/jrs.20211261.
  15. Zanaga, D., Van De Kerchove, R., De Keersmaecker, W., Souverijns, N., Brockmann, C., Quast, R., ... & Arino, O. (2021). ESA WorldCover 10 m 2020 v100. URL: [https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/ESA\\_WorldCover\\_v100](https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/ESA_WorldCover_v100) (дата звернення: 18.02.2023).

16. Buchhorn, M., Lesiv, M., Tsendbazar, N. E., Herold, M., Bertels, L., & Smets, B. Copernicus Global Land Cover Layers—Collection 2. *Remote Sensing*, 2020. 12(6), 1044. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12061044>
17. Friedl, M., Sulla-Menashe, D. (2022). MODIS/Terra+Aqua Land Cover Type Yearly L3 Global 500m SIN Grid V061. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. URL: [https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/MODIS\\_061\\_MCD12Q1](https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/MODIS_061_MCD12Q1) (дата звернення: 18.02.2023).
18. Pontius, R. G., Shusas, E., & McEachern, M. Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2004. 101(2–3), 251–268. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.09.008>
19. LIANG, J., CHEN, J., TONG, D., & LI, X. Planning control over rural land transformation in Hong Kong: A remote sensing analysis of spatio-temporal land use change patterns. *Land Use Policy*, 2022. 119, 106159. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106159>
20. Gutiérrez Angonese, J., & Grau, H. R. Assessment of swaps and persistence in land cover changes in a subtropical peri-urban region, NW Argentina. *Landscape and Urban Planning*, 2014. 127, 83–93. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.021>
21. Guan, D., Li, H., Inohae, T., Su, W., Nagaie, T., & Hokao, K. Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model. *Ecological Modelling*, 2011. 222(20–22), 3761–3772. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.09.009>
22. Ning, J., Liu, J., Kuang, W., Xu, X., Zhang, S., Yan, C., . . . Ning, J. Spatiotemporal patterns and characteristics of land-use change in China during 2010–2015. *Journal of Geographical Sciences*, 2018. 28(5), 547–562. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11442-018-1490-0>
23. Braimoh, A. K. Random and systematic land-cover transitions in northern Ghana. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2006. 113(1–4), 254–263. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.10.019>
24. Kin, D., & Karpinskyi, Y. (2020). Peculiarities of the method of calculation feature's geodetic area on the reference ellipsoid in GIS. *GeoTerrace-2020*. Vol. 2020, No. 1, 1-5. EAGE Publications BV. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20205757>.
25. Солом'яничук, Л. Ю. (2017). Аналіз використання даних дистанційного зондування землі в сільському господарстві. *Інженерна геодезія*, 99.
26. Кохан, С.С. (2011). Дослідження динаміки вегетаційних індексів для оцінювання стану сільськогосподарських культур на основі даних IRS-1D LISS-III. *Вісник геодезії та картографії*, (4), 20-24

---

### References

1. Fischer, G., & Sun, L. (2001). Model based analysis of future land-use development in China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 85(1–3), 163–176. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0167-8809\(01\)00182-7](https://doi.org/10.1016/s0167-8809(01)00182-7)
2. De Freitas, M. W. D., Muñoz, P., Dos Santos, J. R., & Alves, D. S. (2018). Land use and cover change modelling and scenarios in the Upper Uruguay Basin (Brazil). *Ecological Modelling*, 384, 128–144. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.06.009>
3. Zhou, Y., Li, X., & Liu, Y. (2020). Land use change and driving factors in rural China during the period 1995–2015. *Land Use Policy*, 99, 105048. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.105048>
4. Cui, X., Liu, C., Shan, L., Lin, J., Zhang, J., Jiang, Y., & Zhang, G. (2021). Spatial-Temporal Responses of Ecosystem Services to

- Land Use Transformation Driven by Rapid Urbanization: A Case Study of Hubei Province, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(1), 178. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph19010178>
5. Loveland, T. R., Reed, B. C., Brown, J. F., Ohlen, D. O., Zhu, Z., Yang, L., & Merchant, J. W. (2000). Development of a global land cover characteristics database and IGBP DISCover from 1 km AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 21(6–7), 1303–1330. DOI: <https://doi.org/10.1080/014311600210191>
  6. Friedl, M. A., Sulla-Menashe, D., Tan, B., Schneider, A., Ramankutty, N., Sibley, A., & Huang, X. (2010). MODIS Collection 5 global land cover: Algorithm refinements and characterization of new datasets. *Remote Sensing of Environment*, 114(1), 168–182. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.08.016>
  7. Bartholomé, E., & Belward, A. S. (2005). GLC2000: a new approach to global land cover mapping from Earth observation data. *International Journal of Remote Sensing*, 26(9), 1959–1977. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431160412331291297>
  8. Manandhar, R., Odeh, I. O., & Pontius, R. G. (2010). Analysis of twenty years of categorical land transitions in the Lower Hunter of New South Wales, Australia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 135(4), 336–346. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.10.016>
  9. Mallinis, G., Koutsias, N., & Arianoutsou, M. (2014). Monitoring land use/land cover transformations from 1945 to 2007 in two peri-urban mountainous areas of Athens metropolitan area, Greece. *Science of the Total Environment*, 490, 262–278. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.04.129>
  10. Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
  11. Tamiminia, H., Salehi, B., Mahdianpari, M., Quackenbush, L., Adeli, S., & Brisco, B. (2020). Google Earth Engine for geobig data applications: A meta-analysis and systematic review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 164, 152–170. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjrs.2020.04.001>
  12. Phalke, A. R., Özdoğan, M., Thenkabail, P. S., Erickson, T., Gorelick, N., Yadav, K., & Congalton, R. G. (2020). Mapping croplands of Europe, Middle East, Russia, and Central Asia using Landsat, Random Forest, and Google Earth Engine. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 167, 104–122. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjrs.2020.06.022>
  13. FAO GAUL 500m: Global Administrative Unit Layers 2015, First-Level Administrative Units. Available at : [https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/FAO\\_GAUL\\_SIMPLIFIED\\_500m\\_2015\\_level1](https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/FAO_GAUL_SIMPLIFIED_500m_2015_level1)
  14. Xu X C, Li B J, Liu X P, Li X and Shi Q. (2021). Mapping annual global land cover changes at a 30 m resolution from 2000 to 2015. *National Remote Sensing Bulletin*, 25(9): 1896-1916. DOI:10.11834/jrs.20211261. [In Chinese]
  15. Zanaga, D., Van De Kerchove, R., De Keersmaecker, W., Souverijns, N., Brockmann, C., Quast, R., ... & Arino, O. (2021). ESA WorldCover 10 m 2020 v100. Available at : [https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/ESA\\_WorldCover\\_v100](https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/ESA_WorldCover_v100)
  16. Buchhorn, M., Lesiv, M., Tsensbazar, N. E., Herold, M., Bertels, L., & Smets, B. (2020). Copernicus Global Land Cover Layers—Collection 2. *Remote Sensing*, 12(6), 1044. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12061044>
  17. Friedl, M., Sulla-Menashe, D. (2022). MODIS/Terra+Aqua Land Cover Type Yearly

- L3 Global 500m SIN Grid V061. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. Available at : [https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/MODIS\\_061\\_MC-D12Q1](https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/MODIS_061_MC-D12Q1)
18. Pontius, R. G., Shusas, E., & McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 101(2–3), 251–268. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.09.008>
19. LIANG, J., CHEN, J., TONG, D., & LI, X. (2022). Planning control over rural land transformation in Hong Kong: A remote sensing analysis of spatio-temporal land use change patterns. *Land Use Policy*, 119, 106159. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106159>
20. Gutiérrez Angonese, J., & Grau, H. R. (2014). Assessment of swaps and persistence in land cover changes in a subtropical periurban region, NW Argentina. *Landscape and Urban Planning*, 127, 83–93. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.021>
21. Guan, D., Li, H., Inohae, T., Su, W., Nagaie, T., & Hokao, K. (2011). Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model. *Ecological Modelling*, 222(20–22), 3761–3772. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.09.009>
22. Ning, J., Liu, J., Kuang, W., Xu, X., Zhang, S., Yan, C., . . . Ning, J. (2018). Spatiotemporal patterns and characteristics of land-use change in China during 2010–2015. *Journal of Geographical Sciences*, 28(5), 547–562. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11442-018-1490-0>
23. Braimoh, A. K. (2006). Random and systematic land-cover transitions in northern Ghana. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 113(1–4), 254–263. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.10.019>
24. Kin, D., & Karpinskyi, Y. (2020). Peculiarities of the method of calculation feature's geodetic area on the reference ellipsoid in GIS. *GeoTerrace-2020*. Vol. 2020, No. 1, 1-5. EAGE Publications BV. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20205757>
25. Solomianchuk, L. Yu. (2017). Analiz vikoristannya danih distancijnogo zonduvannya zemli v silskomu gospodarstvi. [Analysis of the use of remote sensing data in agriculture]. *Engineering geodesy*, 99.
26. Kohan, S. S. (2011). Doslidzhennya dinamiки vegetacijnih indeksiv dlya ocinyuvannya stanu silskogospodarskih kultur na osnovi danih IRS-1D LISS-III [Research on the dynamics of vegetation indices for assessing the condition of agricultural crops based on IRS-1D LISS-III data]. *Journal of Geodesy and Cartography*, 4, 20-24.

---

**Ren L.**

**STUDY OF CHANGES IN LAND COVER CATEGORIES IN UKRAINE BASED ON REMOTE SENSING DATA**

*LAND MANAGEMENT, CADASTRE AND LAND MONITORING 1'232: 127-140.*

<http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2023.01.12>

**Abstract.** *Land cover change is an important research area in global environmental change and sustainable development. Understanding land cover trends is the basis for rational planning and management of land resources, and is essential for land conservation and sustainable development. In this study, the land cover transition matrix was used because its results do not depend on the type and amount of land cover, and the data were analyzed for 2000-2015. This article proposes a method of using Google Earth to obtain public land cover datasets, and then performing mapping algebra operations on these data to construct a land cover transition matrix that*

*can be used for a large study area to analyze land cover change in Ukraine. This method was used to construct this matrix for the period 2000-2015 in Ukraine. The matrix data show that the land cover change in Ukraine for the period 2000-2015 is moderate, with a total change of 2.244%, which is very low compared to the total area of Ukraine. The share of cropland decreased, while the share of urban and built-up land increased. The practical significance of the results is the ability to quickly and efficiently obtain data on land cover changes in the study area and to assist users in analyzing trends and patterns of land cover changes.*

**Keywords:** *Land cover change, Google Earth Engine, Land cover transition matrix*

---