

УДК 504:528.8

DOI <https://doi.org/10.32782/geochasvnu.2024.4.15>

Віктор Денисюк

аспірант кафедри геодезії, землевпорядкування та кадастру,
Волинський національний університет імені Лесі Українки
denysiuk.viktor@vnu.edu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-9313-4244>

Олександр Мельник

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри геодезії, землевпорядкування та кадастру,
Волинський національний університет імені Лесі Українки
hockins@vnu.edu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5429-4038>

ДИСТАНЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ ЗМІН ЗЕМЛЕКОРИСТУВАНЬ У МЕЖАХ ВОДОЗБОРУ РІЧКИ СТОХІД

Анотація. У статті розглянуто зміни водно-болотних ландшафтів басейну річки Стохід на Волині та їх вплив на сталий розвиток регіону та природний баланс із застосуванням ГІС та ДЗЗ. За допомогою геоспросторових даних проаналізовано структуру та розподіл ландшафтів для точного картографування території. Висвітлено екологічні аспекти та визначено найкращі стратегії для збереження й управління природними ресурсами. Застосування ГІС дало змогу дослідити зміни водно-болотних ландшафтів та розробити стратегії для контролю та раціонального використання територій. Контрольована класифікація була проведена за допомогою сервісу Earth Engine, в якому класифікатор SmileCART показав найвищу точність (99,50%).

Ключові слова: геоінформаційні системи, дистанційне зондування Землі, Google Earth Engine, QGIS, земельний покрив, водозбірний басейн, річка Стохід.

Denysiuk Viktor, Melnyk Oleksandr. THE REMOTE MONITORING OF CHANGES IN LAND USE WITHIN THE BOUNDARIES OF THE STOKHID RIVER CATCHMENT

Abstract. The article examines the changes in wetland landscapes within the Stokhid River basin in Volyn and their impact on the region's sustainable development and ecological balance, using GIS and remote sensing data. Geospatial data was used to analyze the structure and distribution of landscapes for accurate area mapping. Environmental aspects are highlighted, and optimal strategies for natural resource conservation and management are identified. GIS enabled the investigation of wetland landscape changes and the development of methods for controlling and sustainably using the land. Supervised classification was performed using the Earth Engine service, where the SmileCART classifier demonstrated the highest accuracy (99,50%). The identification and detailed analysis of statistical data on land cover changes in the Stokhid River basin is a key step in studying the impact of human activity on the natural ecosystems of this region. The research findings can serve as a basis for developing strategies for sustainable land use and implementing effective environmental protection measures, particularly for the preservation of forested areas in the studied location.

Key words: geoinformation systems, remote sensing of the Earth, Google Earth Engine, QGIS, land cover, catchment basin, Stokhid river.

Актуальність теми дослідження. Зміна землекористування/земельного покриття (land-use/land-cover (LULC)) є одним із факторів, що викликають екологічні зміни в локальному, регіональному та глобальному масштабі. Зміни LULC можуть відбуватися внаслідок прямого чи непрямого втручання людини [5; 21] й можуть впливати на клімат або піддаватися його впливу. Наприклад, зміна LULC впливає на погоду та клімат як у локальному, так і в глобальному масштабах, змінюючи взаємодію енергії, парникових газів і води між землею й атмосферою [31]. Подібним чином зміна клімату прямо чи опосередковано впливає на землекористування та екосистеми, змінюючи розподіл, структуру та практику землекористування [33]. Крім того, такі зміни, як вирубка лісів, урбанізація та розширення орних угідь, впливають на

такі гідрологічні процеси, як структура опадів, випаровування, інфільтрація та стік [7; 23]. Також зміни у землекористуванні/покриві безпосередньо пов'язані з продуктивністю землі та біологічним різноманіттям [13; 19].

Водно-болотні ландшафти Волині є ключовим компонентом природного середовища регіону, що відіграє важливу роль у різних сферах області. Використання геоінформаційних систем (ГІС) та технологій дистанційного зондування Землі дає змогу детально досліджувати та аналізувати ці унікальні ландшафти, забезпечуючи інструменти для ефективного управління та збереження природних ресурсів.

ГІС дає змогу створювати точні карти, що детально відображають геопросторову структуру водно-болотних ландшафтів, їхню топографію, розташування ключових екосистем і зміни, які відбуваються з часом. Це забезпечує можливість глибокого аналізу різних класів ландшафтів і допомагає виявити проблеми та виклики, пов'язані з управлінням природними ресурсами.

Застосування ГІС-технологій у наукових дослідженнях дає змогу глибоко аналізувати вплив водно-болотних ландшафтів на сільське господарство, водопостачання, туризм та інші ключові галузі регіону.

Використання супутникових даних у вигляді космічних знімків, отриманих на різних часових проміжках, сприяє точній візуалізації та аналізу змін у ландшафтах і землекористуваннях.

Земельний покрив (ландшафт) – це біофізичний стан земної поверхні, який у цьому дослідженні включає такі класи: відкриті водойми, підтоплені (заболочені) території, сільськогосподарські землі (відкритий ґрунт), сільськогосподарські землі (зелений покрив), кущі, ліси, пустощі, урбанізовані землі, а також все те, що можна безпосередньо побачити за допомогою наземних спостережень або за допомогою даних дистанційного зондування.

Землекористування визначають людською господарською діяльністю [14; 20; 25]. Оскільки землекористувань не видно безпосередньо за допомогою методів спостереження, потрібна додаткова інформація – польові дослідження [14; 25].

Зміна земельного покриву за різні проміжки часу може стосуватися як ландшафтів, так і землекористувань. Гейст та ін. диференціюють зміну земельного покриву на конверсію або модифікацію. Конверсія виникає, коли один тип земельного покриву замінюється іншим і його легко виявити. Модифікація відрізняється поступовою зміною характеру класу земельного покриву й ця зміна ледь помітна [14].

Стан вивчення питання, основні праці. Зміни земельного покриву є надзвичайно важливою й актуальною темою, що привертає увагу вчених усього світу. Дослідження земельного покриву річкових басейнів за допомогою методів дистанційного зондування проводились у різних країнах, зокрема: у Бразилії присвячена робота авторів Rafaella Leal, Najdacleia Almeida, Milena Dutra da Silva [30], у Бангладеші – Sameena Begum, Sultana Jahan Ophra, Arafat Hossain, Md Tasim Ferdous, Farhan Ahmed Rafid [6], в Ефіопії – R. S. Dwivedi, Sreenivas Kandrika, K. V. Ramana [10], в Індії – Jatan Debnath, Nibedita Das (Pan), Istak Ahmed, Moujuri Bhowmik [9], у Китаї – Finglei Fan, Weng Qihao, Yunpeng Wang [12], у Шотландії – Sandy Winterbottom [35] та в Україні – С. Burmeister та J. Schanze [8].

Метою дослідження є виявлення змін земельного покриву водозбірного басейну річки Стохід станом на 2000, 2010 та 2020 роки та комплексне дослідження водно-болотних ландшафтів регіону з використанням даних ДЗЗ та ГІС-технологій. Нині можливості оцінювання стану водно-болотних ландшафтів водозбірного басейну р. Стохід та інших річок Волинської області за допомогою методів ГІС та ДЗЗ залишаються як ніколи актуальними, оскільки різка зміна клімату приносить величезні зміни для природних ландшафтів досліджуваного регіону.

Матеріали та методи дослідження. У роботі використано різні методи дистанційного зондування та ГІС, що дають змогу кількісно визначити зміну ландшафтів/землекористувань, наприклад, коли картографічні дані змін із різних часових кроків порівнюються одні з іншими. Результатом порівняння є здебільшого табличні дані переходів, які представляють перехід однієї категорії земельного покриву в іншу [22; 27; 32].

Зміна ландшафтів на додаток до зміни клімату послужила рушійною силою для моделювання довгострокової зміни водного та речовинного балансу [26; 28; 29].

Для досягнення мети дослідження вирішувалися такі завдання:

- побудова всеохоплюючої ландшафтної карти території дослідження за 2000, 2010 та 2020 роки на основі класифікації супутникових даних;
- проведення оцінки їх точності;
- здійснення статистичного аналізу на основі отриманих даних змін земельного покриття басейну р. Стохід.

Виклад основного матеріалу з обґрунтуванням наукових результатів

Територія дослідження

Річка Стохід є найдовшою річкою Волинської області та належить до басейну річки Прип'ять, будучи її правою притокою першого порядку. Витоки річки розташовані поблизу села Семеринське, на висоті 241 м над рівнем моря. Стохід протікає через усі чотири адміністративні райони Волині: Луцький, Володимир-Волинський, Ковельський та Камінь-Каширський.

На певних ділянках біля села Утриничі річка розгалужується на безліч рукавів, проток та стариць, що утворюють складну систему, відому як «стоходи». Густота річкової мережі становить 0,27 км/км². Всього в басейні Стоходу нараховується 144 річки, з яких 12 мають довжину понад 10 км, а решта – менше.

Ширина річки варіює залежно від ділянки: на перекатах вона становить 5–15 м, на плесах – 20–60 м, а глибина на перекатах сягає 0,5–1,5 м, на плесах – до 8–10 м. Річкова долина має заболочений характер із широкою заплавою та пологими схилами.

За фізико-географічним районуванням, басейн річки розташований у межах Камінь-Каширського та Поворського фізико-географічних районів Верхньоприп'ятського Полісся, а також Озерянського та Ківерцівського районів Буго-Стирського Полісся. Ландшафти басейну характеризуються великою лісистістю та заболоченістю.

Рельєф території представлений піщаними рівнинами, зандровими ділянками, грядами, валами та дюнами. Заплавні ділянки займають найнижчий ландшафтний рівень, характеризуються густою мережею річкових рукавів, стариць та озер, а також болотистими урочищами.

У басейні річки Стохід нараховується 41 об'єкт природно-заповідного фонду, серед яких сім мають загальнодержавне значення, включаючи Національний природний парк «Прип'ять-Стохід». Незважаючи на це, частка заповідних територій від загальної площі басейну є невеликою – лише 3,8%, що значно менше середнього показника для Волинської області (10,7%).

Басейн річки є частиною Волино-Подільського артезіанського басейну. Рівень ґрунтових вод коливається залежно від пори року: у весняний період вони знаходяться на глибині 0,5–1 м, а влітку – на 1–2 м. Заплавні території мають вищий рівень ґрунтових вод. Долина річки здебільшого має пологі схили, лише на окремих ділянках вона набуває трапецієподібної форми.

Досліджуваний регіон – водозбірний басейн річки Стохід розташований на заході України, частково в центральному та переважно у північно-східному регіоні Волинської області та своєю основною площею лежить на Поліській низовині та частково на Волинській височині (рис. 1). Досліджувана ріка впадає в річку Прип'ять та межує водозбірними басейнами з такими річками, як: на сході з річкою Стир, на півдні – Серна, на заході – Турія, Цир та Коростянка, а на півночі межує водозбором із річкою Прип'ять в яку й впадає. Остання потім впадає в річку Дніпро, яка впадає у Чорне море [26; 28; 4].

Водозбір Стоходу має площу (за результатами обрахунків) 3930,38 км², довжина усіх потоків басейну – 7240,16 км. Басейн р. Стохід досягає на півночі крайньої точки в околицях села Прикладники. Крайні південні точки водозбору знаходяться біля сіл: Семеринське – витік річки Стохід та с. Веселе. Єдиним міським поселенням, що розташоване в межах водозбору є селище Любешів. Територія спостереження характеризується сільськогосподарською діяльністю та щільною структурою розселення в сільській місцевості.

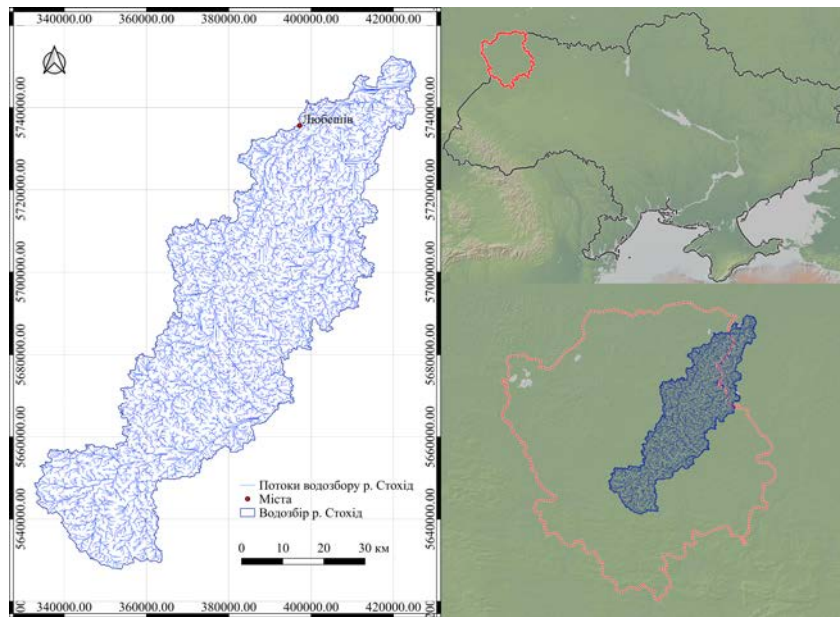


Рис. 1. Територія дослідження: Водозбір річки Стохід. Україна з виділеним фрагментом Волинської області; Волинська область з виділеним фрагментом водозбору річки Стохід

Дані та попередня обробка

В нашому дослідженні для отримання дійсних карт змін ландшафтів із часовим кроком у 10 років за допомогою класифікації з необхідним масштабом для послідовної параметризації різного роду ландшафтів використовувався сервіс Google Earth Engine, який об’єднує багатопетабайтний каталог супутникових зображень і наборів геопросторових даних із можливостями аналізу планетарного масштабу. Вчені, дослідники та розробники використовують Google Earth Engine для виявлення змін, картографування тенденцій і кількісного визначення відмінностей на поверхні Землі [15].

Супутникові сцени Landsat 7 містять якісну супутникову інформацію на вказаний регіон на задані часові проміжки. Платформа Landsat обрана тому, що вона забезпечує безперервність протягом тривалого періоду часу. Три часові кроки 2000, 2010, 2020 (див. табл. 1) були використані для аналізу змін ландшафтів з 2000-го по 2020 рік.

Таблиця 1

Супутникові сцени використані для трьох часових кроків

Часовий крок	Часовий проміжок	Супутниковий сенсор	Геометрична роздільна здатність
2000	01.05–01.06	Landsat-7	30×30
2010	01.05–01.06	Landsat-7	30×30
2020	01.05–01.06	Landsat-7	30×30

Кожен часовий проміжок представлений сценою на період місяця травня, який характеризуються найменшою хмарністю та найменшою кількістю опадів. Для якісної класифікації ландшафтів усі супутникові зображення виправлені на атмосферу та мають географічну прив’язку (Landsat) і збільшені як мінімум до 30×30 м [32; 29; 17].

Як додаткове джерело даних, сцени Google Earth Pro використовуються для отримання наземних правдивих завіркових даних, особливо для часового кроку 2000 року.

Процес класифікації супутникових знімків Landsat 7 у Google Earth Engine

Використання бінарних дерев рішень для класифікації є непараметричним підходом до розпізнавання образів. Дерево рішень забезпечує ієрархічне представлення простору ознак,

в якому x_i вибірки розподілені по класах w_j ($j = 1, 2, \dots, k$) відповідно до результату, отриманого в результаті виконання рішень, прийнятих у послідовності вузлів, в яких гілки дерева розходяться. Тип дерева рішень, що використовується у цій роботі, докладно розглядається в роботі [16], внесок якої був узагальнений в алгоритм CART (Classification And Regression Trees).

Цей підхід полягає в тому, що дерева можуть бути використані не тільки для класифікації об'єктів на дискретне число груп, а й як альтернативний підхід до регресійного аналізу, при якому значення змінної відповіді (залежної) повинно оцінюватися з урахуванням значення кожної змінної в наборі пояснювальних (незалежних) змінних. Бінарні дерева рішень складаються з множинного поділу простору ознак на два підпростори, з кінцевими вузлами, пов'язаними з класами w_j . Бажане дерево рішень – це дерево, яке має відносно невелику кількість гілок, відносно невелике число проміжних вузлів, від яких ці гілки розходяться, і високий поріг прогнозування, при якому об'єкти правильно класифікуються на кінцевих вузлах.

CART передбачає виявлення та побудову бінарного дерева рішень на основі вибірки тренувальних даних, для яких відома правильна класифікація. Число об'єктів у двох підгрупах, визначених на кожному двійковому розділі, що відповідають двом гілкам, що виходять із кожного проміжного вузла, послідовно зменшується, так що для отримання хороших результатів потрібна досить велика навчальна вибірка.

Дерево рішень починається з кореневого вузла t , з якого виходить змінна в просторі ознак мінімізує ступінь домішки двох пов'язаних вершин. Використовуючи визначення, наведене в [24], міра домішки у вузлі t , що позначається $i(t)$, має вигляд, як показано в наступному рівнянні (1),

$$i(t) = - \sum_{j=1}^k p(w_j | t) \log p(w_j | t), \quad (1)$$

де $p(w_j | t)$ – частина паттернів x_i , віднесена до класу w_j по вершині t .

Потім кожна некінцева вершина розбивається на дві наступні вершини, t_L і t_R , так що p_L , p_R є частками сутностей, переданих новим вершинам t_L і t_R , відповідно. Найкращим поділом є той, який максимізує різницю, наведену в (2):

$$\Delta i(s, t) = i(t) - p_L i(t_L) - p_R i(t_R) \quad (2)$$

Дерево рішень росте шляхом послідовних поділів до тих пір, поки не буде досягнута стадія, на якій не відбувається значного зниження ступеня домішки з подальшим додатковим поділом s . При досягненні цієї стадії вершина t не ділиться далі й автоматично стає кінцевою вершиною. Клас w_j , пов'язаний із кінцевим вузлом t , є класом, який максимізує умовну ймовірність $p(w_j | t)$.

Основним джерелом актуальної інформації щодо наявних класів ландшафтів та землекористувань на місцевості були польові дослідження у 2020 р. на території Камінь-Каширського району, а саме в селах: Оленине, Седлище та безпосередньо у селищі Любешів, на території яких наявні усі розглянуті в дослідженні класи ландшафтів.

Оцінка точності

При здійсненні контрольованої класифікації виникає низка помилок, обумовлених спектральною схожістю класів або помилками користувачів при визначенні областей інтересу. З цією метою була проведена оцінка точності класифікації земельного покриття для визначення та вимірювання значень похибки отриманого зображення. Найбільш поширеним методом оцінки точності є розрахунок матриці похибок [11], при якому дані отриманого зображення порівнюються з контрольними даними для відповідного числа одиниць класифікації. Відповідно, на основі отриманої матриці похибок розраховується загальна точність класифікації як відношення правильно класифікованих елементів до загального числа елементів вибірки.

Оцінка точності була використана для перевірки класифікації з використанням 30% контрольних точок. Еталонне значення, що вводиться дослідником, ґрунтується на даних

про надійність земельного покриття. У цій класифікації точність виробника (включає пропуски помилок, що стосуються ступеня спостережуваного аспекту на місцевості, яка не класифікована на карті) й точність користувача (оцінює пропуски помилок і пояснює можливість того, що піксель відноситься до категорії). Завдяки використанню даних Landsat 7 із просторовою роздільною здатністю 30 м, середня мінімальна площа, для якої можна провести розрахунки, становить 0,337 га.

Матриця похибок була розрахована для оцінки точності класів землекористування та земельного покриття. Існують чотири конкретні статистичні показники точності, а саме загальна точність (OA), точність виробника (PA), точність користувача (UA) і κ, які були отримані для

Таблиця 2

Схема класифікації ландшафтів [1; 2; 3]

Клас ландшафту	Опис класу
0 – (В) відкриті водойми	Відкриті водойми (наземні води) поділяються на природні (річки, озера) та штучні (водосховища, канали).
1 – (ПЗ) підтоплені (заболочені) території	Заболочені території – це надмірно зволожені ділянки, що розташовані у зоні надмірного зволоження на понижених елементах рельєфу або на слабодренуваних, вирівняних, плоских територіях, а також на окраїнах боліт із вологолюбною трав'яною рослинністю.
2 – (СГ) сільськогосподарські землі (відкритий ґрунт)	Сільськогосподарські угіддя, які систематично обробляються й використовуються під посіви сільськогосподарських культур.
3 – (СЗ) сільськогосподарські землі (зелений покрив)	Пасовища – земельні угіддя вкриті багаторічною трав'яною рослинністю та систематично використовуються для випасання худоби. Сіножаті – земельні угіддя вкриті багаторічною трав'яною рослинністю, які систематично використовуються для сінокосіння.
4 – (К) кущі	Кущі (чагарники) – земельні ділянки, які не входять до лісового фонду, зайняті полезахисними лісовими смугами, іншими захисними або озеленювальними деревно-чагарниковими насадженнями, деревами або групами дерев на землях сільськогосподарських підприємств.
5 – (Л) ліси	Лісові землі – це земельні ділянки покриті лісом, включаючи лісові культури, що зімкнулися.
6 – (П) пустощі	Пустощі – згарища або зруби, які більше 10 років знаходяться в безлісому стані. Зруби – площі, на яких деревостан вирубаний, а молоді дерева не зімкнулися.
7 – (У) урбанізовані землі	Урбанізована місцевість – це місцевість, частина (ділянка), район території з усіма її компонентами (населеними пунктами, об'єктами архітектури та промисловості, соціально-культурними спорудами та шляхами сполучення).

Таблиця 3

Кількість полігонів вибірки для різних часових кроків при обробці супутникових зображень Landsat-7 в Google Earth Engine для оцінки точності

Клас ландшафту	2000 р.	2010 р.	2020 р.
	Кількість полігонів вибірки		
0 – (В) відкриті водойми	6	11	6
1 – (ПЗ) підтоплені (заболочені) території	3	5	2
2 – (СГ) сільськогосподарські землі (відкритий ґрунт)	15	24	12
3 – (СЗ) сільськогосподарські землі (зелений покрив)	9	10	8
4 – (К) кущі	11	11	4
5 – (Л) ліси	8	15	6
6 – (П) пустощі	4	5	7
7 – (У) урбанізовані землі	8	16	6
Кількість елементів вибірки	4680	4633	4788

оцінки точності класифікації. Найбільш репрезентативними з них є загальна точність (ОА).

На основі проведеної оцінки точності було встановлено, що загальна точність роботи класифікатора SmileCART становить 99,50%, що підтверджує високу точність роботи алгоритму та ретельний вибір завіркових ділянок.

Висновки. Результатом процесу класифікації є растрові зображення, в яких відповідні ідентифікатори класів співставлені з окремими пікселями вихідного зображення й відображаються в обраній користувачем кольоровій гамі. На основі запропонованої методики та створених навчальних вибірок було виконано контрольовану класифікацію фрагментів території водозбірного басейну р. Стохід спочатку в середовищі GEE, які в результаті були обчислені та оформлені у QGIS.

Графічно результати контрольованої класифікації в GEE водозбору р. Стохід на травень місяць 2000, 2010 та 2020 рр. (система координат WGS 84 | UTM zone 35N) представлено на рисунку 3. Вихідні дані класифікації та зміни земельного покриття між 2000, 2010 та 2020 роками отримані з супутникових зображень Landsat-7.

Виявлення змін ландшафтів на основі отриманої інформації

Виявлення змін після класифікації можна здійснити шляхом порівняння площ класів ландшафтів у вигляді графіка (див. рис. 2).

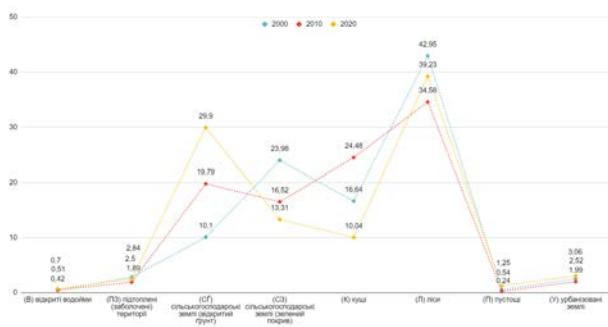


Рис. 2. Графік результатів зміни ґрунтового покриття між 2000, 2010 та 2020 роками, %

Таблиця 4

Результати зміни ґрунтового покриття між 2000, 2010 та 2020 роками, %

Рік\Клас ландшафту	В	ПЗ	СГ	СЗ	К	Л	П	У
2000	0,42	2,84	10,10	23,98	16,64	42,95	0,54	2,52
2010	0,51	1,89	19,79	16,52	24,48	34,58	0,24	1,99
2020	0,70	2,50	29,90	13,31	10,04	39,23	1,25	3,06

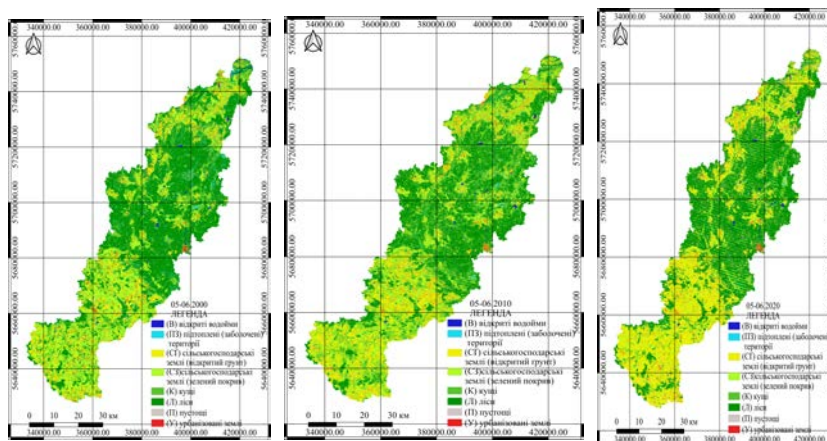


Рис. 3. Результати контрольованої класифікації в GEE водозбору р. Стохід на 2000, 2010 та 2020 роки відповідно (система координат WGS 84 | UTM zone 35N)

Площі (С1) сільськогосподарських земель (відкритого ґрунту) збільшуються з 2000 р. з сумарних 10,1% до 29,9% на 2020 р. Площі (В) відкритих водойм також систематично зростають за 20 років з 0,42% до 0,70%, тобто територія дослідження з часом все більше підтоплюється; території (С3) сільськогосподарських земель (зеленого покриву) зменшуються з 2000 р. з сумарних 23,98% до 13,31% на 2020 р. Загальну картину площ сільськогосподарських угідь можна вважати систематично зростаючою, оскільки (С1) сільськогосподарські землі (відкритого ґрунту) та (С3) сільськогосподарські землі (зеленого покриву) взаємозаміняють одна одну з урахуванням сівозмін і сумарно для трьох часових кроків зміни в даних типах ландшафтів у відсотках складають на 2000 р. – 34,08%, на 2010 р. – 36,31% та на 2020 р. – 43,21% (табл. 4). Причиною цього зростання можна вважати прихід на територію великих фермерських господарств, які системно обробляють сільськогосподарські землі, освоюючи закинуті території. Разом із тим, зменшуються площі лісів з 42,95% до 39,23% із 2000 по 2020 рік. Особливо швидко зменшуються площі лісів у проміжку між 2000 та 2010 роками – з 42,95% до 34,58%. Зменшення лісових площ характеризується неконтрольованою вирубкою лісів у промислових масштабах [34], а також шкоди лісам завдають бурштинокопачі, винищуючи значні площі лісів і роблячи ці території непридатними для будь-якого використання, що несе катастрофічні наслідки для флори та фауни й цьому питанню варто приділити увагу. Дистанційний моніторинг є чи не найкращим методом глибокого дослідження цього питання для розробки стратегії контролю та збереження навколишнього середовища в регіоні.

Ефективну технологію інформаційного забезпечення управління екологічними наслідками видобутку бурштину доцільно базувати на методах ДЗЗ та інструментарію ГІС. Перспективи досліджень – розробка системи моніторингу кризових територій за допомогою дистанційних даних, визначення обсягів рекультивації ґрунтів і відновлення екосистем [18].



Рис. 4. Зображення стану земельного покриву з виділеними фрагментами територій, які ще не зазнали нищівних наслідків видобування бурштину на 05.2019 року в околицях сіл Кухітська Воля, Річки, Ждань Рівненської області, що входять до водозбірного басейну річки Стохід, із сервісу Google Earth Pro



Рис. 5. Зображення стану земельного покриву з виділеними фрагментами територій, які зазнали нищівних наслідків після видобування бурштину на 05.2020 року в околицях сіл Кухітська Воля, Річки, Ждань Рівненської області, що входять до водозбірного басейну річки Стохід, із сервісу Google Earth Pro

Із результатів дослідження помітно, що стрімко зростають території пустощів (П) і саме видобуток бурштину є одним із головних чинників цього процесу.

Високу динаміку змін ландшафтів у межах усіх класів відображено на картах (див. рис. 3). Площа земель вкритих (К) кущами зменшилась з 16,64% до 10,04%. Сильна систематична зміна відбувається між (СГ) сільськогосподарськими землями (відкритого ґрунту) та (СЗ) сільськогосподарськими землями (зеленого покриву), а також між (Л) лісами та (К) кущами.

Значні зміни спостерігаються навколо населених пунктів. Багато територій під (СЗ) сільськогосподарськими землями (зеленого покриву) було перетворено на (СГ) сільськогосподарські землі (відкритого ґрунту) для ведення особистого господарства після розформування колгоспів, що в порівнянні можна побачити на супутникових сценах 2000 і 2010 років (рис. 3). Це стало причиною збільшення ведення громадянами особистого господарства на присадибних ділянках, що знаходяться в безпосередній близькості до населених пунктів для вирощування продуктів харчування. Після 2020 р. в інтенсивнішому обробітку піддаються (СГ) сільськогосподарські землі (відкритого ґрунту) в результаті діяльності великих фермерських господарств, що відображено на карті (рис. 3). Інші систематичні зміни для категорії сільськогосподарських земель (СГ) (відкритого ґрунту) полягають у тому, що вона систематично не перетворюється на інші види угідь окрім (СЗ) сільськогосподарських земель (зеленого покриву), щодо категорії (СЗ) сільськогосподарських земель (зеленого покриву), то вона систематично змінюється на сільськогосподарські землі (СГ) (відкритого ґрунту) (табл. 5).

Дослідження ландшафтних перетворень на території водозбору річки Стохід дало змогу виявити значущі статистичні дані, які вказують на значні зміни площ ландшафтів у досліджуваному регіоні. Аналіз та використання отриманих результатів може відігравати важливу роль у нормалізації використання природних ресурсів.

Детальне вивчення цих статистичних даних є важливим кроком у розумінні впливу людської діяльності на природні екосистеми в досліджуваному регіоні. Зміни в ландшафтах можуть відображати як вплив кліматичних факторів, так і безпосередній вплив антропогенних чинників. Це важливе спостереження може слугувати підґрунтям для розробки стратегій із нормалізованого природокористування, а також для впровадження ефективних заходів з охорони природи на території водозбору річки Стохід зокрема й для збереження лісових площ регіону.

Наукова новизна. У статті вперше досліджено територію водозбірного басейну річки Стохід для трьох часових кроків: на 2000, 2010 та 2020 рр.; за допомогою геоінформаційного моделювання відображено зміни ландшафтів для 8 класів; виявлено переходи класів ландшафтів з одного в інший та проаналізовано їх причини та наслідки. Ще більшої актуальності набув аналіз змін покриву територій Волинської області в умовах глобальної зміни клімату та антропогенних чинників.

Таблиця 5

Динаміка зростання/спадання площ ландшафтів

Крок у роках	2000–2010	2000–2010	2010–2020	2010–2020
Клас ландшафту	Δ % 10 років	Δ % 1 рік	Δ % 10 років	Δ % 1 рік
(В) відкриті водойми	+0,09	+0,01	+0,19	+0,02
(ПЗ) підтоплені (заболочені) території	-0,95	-0,10	+0,61	+0,06
(СГ) сільськогосподарські землі (відкритий ґрунт)	+9,69	+0,97	+10,11	+1,01
(СЗ) сільськогосподарські землі (зелений покрив)	-7,45	-0,75	-3,21	-0,32
(К) кущі	+7,83	+0,78	-14,44	-1,44
(Л) ліси	-8,37	-0,84	+4,65	+0,47
(П) пустощі	-0,31	-0,03	+1,02	+0,10
(У) урбанізовані землі	-0,53	-0,05	+1,07	+0,11

Враховуючи виявлені зміни, можна сформувані рекомендації щодо раціонального використання природних ресурсів та введення екологічно-орієнтованих практик для забезпечення сталого розвитку досліджуваного регіону з мінімальною шкодою для довкілля у Волинській області загалом. Подальші дослідження у цьому напрямі можуть допомогти розкрити більше деталей та поглибити наше розуміння взаємодії людини та природи на цій території, а також запобігти проблемам, які можуть виникнути в результаті нераціонального використання природних ресурсів.

Список використаних джерел:

1. Загальна гідрологія / за ред. В.К. Хільчевського і О.Г. Ободовського : підручник. 2-ге вид., доповнене. Київ : ВПЦ «Київ. університет», 2008. 399 с.
2. Паньків З.П. Земельні ресурси : навч. посіб. Львів : Вид. центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2008. 272 с.
3. Перелік угідь згідно з Класифікацією видів земельних угідь (КВЗУ). URL: <https://shels.com.ua/document.htm?doc=471> (дата звернення: 10.09.2024).
4. Стохід (річка). *Вікіпедія*. URL: <https://uk.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%A1%D1%82%D0%BE%D1%85%D1%96%D0%B4&oldid=41599826> (дата звернення: 10.09.2024).
5. Armenteras D., Rodríguez N., Sua S., Romero M. Patterns and causes of deforestation in the Colombian Amazon. *Ecological Indicators*. 2005. Vol. 6. Is. 2. P. 353–368. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2005.03.014>.
6. Begum S., Ophra, S.J., Hossain A., Ferdous M.T., Rafid F.A. (2024). Land Cover Change using GIS and RS Techniques of the Padma River Floodplain in the Three Adjacent Districts in Bangladesh. *Jagannath University Journal of Science*. 2024. Vol. 10. Is. 1. P. 43–54. DOI: <https://doi.org/10.3329/jnujs.v10i1.71249>.
7. Bradshaw J., Hoelscher P., Richardson D. An Index of Child Well-Being in the European Union. *Social Indicators Research*. 2007. Vol. 80. Is. 1. P. 133–177. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11205-006-9024-z>.
8. Burmeister C., Schanze J. Retrospective Analysis of Systematic Land-Cover Change in the Upper Western Bug River Catchment, Ukraine. *ACC Journal*. 2016. Vol. 22. Is. 1. P. 7–18. DOI: <https://doi.org/10.15240/tul/004/2016-1-001>.
9. Debnath J., Das (Pan) N., Ahmed I., Bhowmik M. Channel migration and its impact on land use/land cover using RS and GIS: A study on Khowai River of Tripura, North-East India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. 2017. Vol. 20. Is. 2. P. 197–210. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2017.01.009>.
10. Dwivedi R.S., Sreenivas K., Ramana K.V. Cover: Land-use/land-cover change analysis in part of Ethiopia using Landsat Thematic Mapper data. *International Journal of Remote Sensing*. 2005. Vol. 26. Is. 7. P. 1285–1287. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431160512331337763>.
11. Ee.Classifier.confusionMatrix. *Google Earth Engine. Google for Developers*. URL: <https://developers.google.com/earth-engine/apidocs/ee-classifier-confusionmatrix> (дата звернення: 10.09.2024).
12. Fan F., Weng Q., Wang Y. Land Use and Land Cover Change in Guangzhou, China, from 1998 to 2003, Based on Landsat TM/ETM+ Imagery. *Sensors*. 2007. Vol. 7. Is. 7. P. 1323–1342. DOI: <https://doi.org/10.3390/s7071323>.
13. Geist H.J., Lambin E.F. Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation. *BioScience*. 2002. Vol. 52. No 2. P. 143–150. DOI: [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0143:PCAUDF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0143:PCAUDF]2.0.CO;2).
14. Geist H., McConnell W., Lambin E.F., Moran E., Alves D., Rude, T. Causes and Trajectories of Land-Use/Cover Change. В E.F. Lambin, H. Geist (ed.), *Land-Use and Land-Cover Change*. Springer Berlin Heidelberg. P. 41–70. DOI: https://doi.org/10.1007/3-540-32202-7_3.
15. Google Earth Engine. URL: <https://earthengine.google.com> (дата звернення: 10.09.2024).
16. Gordon A.D., Breiman L., Friedman J.H., Olshen R.A., Stone, C.J. Classification and Regression Trees. *Biometrics*. 1984. Vol. 40. No 3, P. 874. DOI: <https://doi.org/10.2307/2530946>.
17. Griffiths P. Utilizing the depth of the Landsat archive to reconstruct recent land change in the Carpathian ecoregion: doctoral Thesis, Humboldt-Universität zu Berlin, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät II, 2013. DOI: <https://doi.org/10.18452/16827>.
18. Krasovskyi H.Ya., Shumeiko V.O., Klochko T.O., Sementsova N.I. Information technologies for monitoring the environmental consequences of amber production in Ukraine. *Ecological Safety and Balanced Use of Resources*. 2018. Vol. 2. Is. 18. P. 107–117. DOI: [https://doi.org/10.31471/2415-3184-2018-2\(18\)-107-117](https://doi.org/10.31471/2415-3184-2018-2(18)-107-117).
19. Lambin E.F., Geist, H. (ed.). *Land-Use and Land-Cover Change: Local Processes and Global Impacts*. Springer, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1007/3-540-32202-7>.

20. Lambin E.F., Turner B.L., Geist H.J., Agbola S.B., Angelsen A., Bruce J.W., Coomes O.T., Dirzo R., Fischer G., Folke C., George P.S., Homewood K., Imbernon J., Leemans R., Li X., Moran E.F., Mortimore M., Ramakrishnan P.S., Richards J.F., ... Xu J. The causes of land-use and land-cover change: Moving beyond the myths. *Global Environmental Change*. 2001. Vol. 11. Is. 4, P. 261–269. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(01\)00007-3](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(01)00007-3).
21. Manandhar R., Odeh I., Ancev T. Improving the Accuracy of Land Use and Land Cover Classification of Landsat Data Using Post-Classification Enhancement. *Remote Sensing*, 2009. Vol. 1 (3). P. 330–344. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs1030330>.
22. Manandhar R., Odeh I.O.A., Pontius R.G. Analysis of twenty years of categorical land transitions in the Lower Hunter of New South Wales, Australia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2010. Vol. 135. Is. 4. P. 336–346. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.10.016>.
23. Mahmood R., Pielke Sr.R., Loveland T., Mcalpine C. Climate Relevant Land Use and Land Cover Change Policies. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2015. Vol. 97. Is. 2. P. 195–202. DOI: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00221.1>.
24. McLachlan J.G. Discriminant analysis and statistical pattern recognition. New York : John Wiley, 1992. 526 p. DOI: <https://doi.org/10.1002/0471725293>.
25. Nations F. and A. O. of the U., & Programme, U. N. E. The Future of Our Land: Facing the Challenge. URL: <https://wedocs.unep.org/xmlui/handle/20.500.11822/32745> (дата звернення: 10.09.2024).
26. Pluntke T., Pavlik D., Bernhofer C. Reducing uncertainty in hydrological modelling in a data sparse region. *Environmental Earth Sciences*. 2014. Vol. 72. Is. 12. P. 4801–4816. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3252-3>.
27. Pontius R.G., Shusas E., McEachern M. Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2004. Vol. 101. Is. 2–3. P. 251–268. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.09.008>.
28. Schanze J., Trümper J., Burmeister C., Pavlik D., Kruhlov I. A methodology for dealing with regional change in integrated water resources management. *Environmental Earth Sciences*. 2012. Vol. 65. Is. 5. P. 1405–1414. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1311-6>.
29. Seegert J., Berendonk T. U., Bernhofer C., Blumensaat F., Dombrowsky I., Fuehner C., Grundmann J., Hagemann N., Kalbacher T., Kopinke F.-D., Liedl R., Leidel M., Lorz C., Makeschin F., Markova D., Niemann S., Röstel G., Schanze J., Scheifhacken N., Krebs P. Integrated water resources management under different hydrological, climatic and socio-economic conditions: Results and lessons learned from a transdisciplinary IWRM project IWAS. *Environmental Earth Sciences*. 2014. Vol. 72. Is. 12. P. 4677–4687. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3877-2>.
30. Silva Leal R.S.L., Almeida N.V., Silva M.D.D. Impacts of changes in land cover and land use on the hydrological cycle of the Tapuio River sub-basin/AL. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*. 2023. Vol. 13. Is. 4. P. 497–511. DOI: <https://doi.org/10.29150/jhrs.v13.4.p497-511>.
31. Sleeter R., Sleeter B.M., Williams B., Hogan D., Hawbaker T., Zhu Z. A carbon balance model for the great dismal swamp ecosystem. *Carbon Balance and Management*. 2017. Vol. 12. No 2. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13021-017-0070-4>.
32. Takada T., Miyamoto A., Hasegawa S.F. Derivation of a yearly transition probability matrix for land-use dynamics and its applications. *Landscape Ecology*. 2010. Vol. 25 Is. 4. P. 561–572. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10980-009-9433-x>.
33. Turner M.G., Gardner R.H. *Landscape Ecology in Theory and Practice: Pattern and Process*. 2nd ed. Springer, 2015. 482 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2794-4>.
34. Uhl A., Melnyk O., Melnyk Y., Manko P., Brunn A., Fesyuk V. Remote sensing monitoring of changes in forest cover in the Volyn region: A cross section for the first two decades of the 21st century. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series "Geology. Geography. Ecology"*. 2024. Vol. 60. P. 272–283. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2024-60-19>.
35. Winterbottom S.J. Medium and short-term channel planform changes on the Rivers Tay and Tummel, Scotland. *Geomorphology*. 2000. Vol. 34. Is. 3–4. P. 195–208. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(00\)00007-6](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(00)00007-6).

References:

1. Khilchevskyi, V.K., Obodovskyi, O.H. (ed. by). (2008). *General hydrology: textbook*. 2nd ed., supplemented. Kyiv: University Publishing and Printing Center, 399 [In Ukrainian].

2. Pankiv, Z. P. (2008). Land resources: study guide. Lviv: Ivan Franko LNU Publishing Center, 272 [In Ukrainian].
3. List of lands according to the Classification of Types of Land (CTL). Retrieved 10.09.2024 from <https://shels.com.ua/document.htm?doc=471> [In Ukrainian].
4. Stokhid (river). *Wikipedia*. Retrieved 10.09.2024 from <https://uk.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%A1%D1%82%D0%BE%D1%85%D1%96%D0%B4&oldid=41599826> [In Ukrainian].
5. Armenteras, D., Rodríguez, N., Sua, S., & Romero, M. (2005). Patterns and causes of deforestation in the Colombian Amazon. *Ecological Indicators*, 6(2), 353–368. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2005.03.014>.
6. Begum, S., Ophra, S.J., Hossain, A., Ferdous, M.T., & Rafid, F.A. (2024). Land Cover Change using GIS and RS Techniques of the Padma River Floodplain in the Three Adjacent Districts in Bangladesh. *Jagannath University Journal of Science*, 10(1), 43–54. <https://doi.org/10.3329/jnujs.v10i1.71249>.
7. Bradshaw, J., Hoelscher, P., & Richardson, D. (2007). An Index of Child Well-Being in the European Union. *Social Indicators Research*, 80(1), 133–137. <https://doi.org/10.1007/s11205-006-9024-z>
8. Burmeister, C., & Schanze, J. (2016). Retrospective Analysis of Systematic Land-Cover Change in the Upper Western Bug River Catchment, Ukraine. *ACC Journal*, 22(1), 7–18. <https://doi.org/10.15240/tul/004/2016-1-001>.
9. Debnath, J., Das (Pan), N., Ahmed, I., & Bhowmik, M. (2017). Channel migration and its impact on land use/land cover using RS and GIS: A study on Khowai River of Tripura, North-East India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 20(2), 197–210. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2017.01.009>.
10. Dwivedi, R.S., Sreenivas, K., & Ramana, K.V. (2005). Cover: Land-use/land-cover change analysis in part of Ethiopia using Landsat Thematic Mapper data. *International Journal of Remote Sensing*, 26(7), 1285–1287. <https://doi.org/10.1080/01431160512331337763>.
11. Ee.Classifier.confusionMatrix. *Google Earth Engine. Google for Developers*. Retrieved 10.09.2024 from <https://developers.google.com/earth-engine/apidocs/ee-classifier-confusionmatrix>
12. Fan, F., Weng, Q., & Wang, Y. (2007). Land Use and Land Cover Change in Guangzhou, China, from 1998 to 2003, Based on Landsat TM /ETM+ Imagery. *Sensors*, 7(7), 1323–1342. <https://doi.org/10.3390/s7071323>.
13. Geist, H.J., & Lambin, E.F. (2002). Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation. *BioScience*, 52(2), 143–150. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0143:PCAUDF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0143:PCAUDF]2.0.CO;2).
14. Geist, H., McConnell, W., Lambin, E.F., Moran, E., Alves, D., & Rudel, T. (2006). Causes and Trajectories of Land-Use/Cover Change. B E. F. Lambin & H. Geist (ed.), Land-Use and Land-Cover Change. Springer Berlin Heidelberg, 41 – 70. https://doi.org/10.1007/3-540-32202-7_3.
15. Google Earth Engine. Retrieved 10.09.2024 from <https://earthengine.google.com>
16. Gordon, A.D., Breiman, L., Friedman, J.H., Olshen, R.A., & Stone, C.J. (1984). Classification and Regression Trees. *Biometrics*, 40(3), 874. <https://doi.org/10.2307/2530946>.
17. Griffiths, P. (2013). Utilizing the depth of the Landsat archive to reconstruct recent land change in the Carpathian ecoregion [doctoral Thesis, Humboldt-Universität zu Berlin, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät II]. <https://doi.org/10.18452/16827>.
18. Krasovskyi, H.Ya., Shumeiko, V.O., Klochko, T.O., & Sementsova, N.I. (2018). Information technologies for monitoring the environmental consequences of amber production in Ukraine. *Ecological Safety and Balanced Use of Resources*, 2(18), 107–117. [https://doi.org/10.31471/2415-3184-2018-2\(18\)-107-117](https://doi.org/10.31471/2415-3184-2018-2(18)-107-117).
19. Lambin, E.F., & Geist, H. (ed.). (2006). Land-Use and Land-Cover Change: Local Processes and Global Impacts. Springer. <https://doi.org/10.1007/3-540-32202-7>.
20. Lambin, E.F., Turner, B.L., Geist, H.J., Agbola, S. B., Angelsen, A., Bruce, J. W., Coomes, O.T., Dirzo, R., Fischer, G., Folke, C., George, P.S., Homewood, K., Imbernon, J., Leemans, R., Li, X., Moran, E.F., Mortimore, M., Ramakrishnan, P.S., Richards, J.F., ... & Xu, J. (2001). The causes of land-use and land-cover change: Moving beyond the myths. *Global Environmental Change*, 11(4), 261–269. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(01\)00007-3](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(01)00007-3).
21. Manandhar, R., Odeh, I., & Ancev, T. (2009). Improving the Accuracy of Land Use and Land Cover Classification of Landsat Data Using Post-Classification Enhancement. *Remote Sensing*, 1(3), 330–344. <https://doi.org/10.3390/rs1030330>.
22. Manandhar, R., Odeh, I.O.A., & 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. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.10.016>.
23. Mahmood, R., Pielke Sr.R., Loveland, T., & Mcalpine, C. (2015). Climate Relevant Land Use and Land Cover Change Policies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 97(2), 195–202. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00221.1>.

24. McLachlan, J.G. (1992). *Discriminant analysis and statistical pattern recognition*. New York : John Wiley, 526. <https://doi.org/10.1002/0471725293>.
25. Nations, F. and A. O. of the U., & Programme, U. N. E. (1999). *The Future of Our Land: Facing the Challenge*. Retrieved 10.09.2024 from <https://wedocs.unep.org/xmlui/handle/20.500.11822/32745>
26. Pluntke, T., Pavlik, D., & Bernhofer, C. (2014). Reducing uncertainty in hydrological modelling in a data sparse region. *Environmental Earth Sciences*, 72(12), 4801–4816. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3252-3>.
27. 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. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.09.008>.
28. Schanze, J., Trümper, J., Burmeister, C., Pavlik, D., & Kruhlov, I. (2012). A methodology for dealing with regional change in integrated water resources management. *Environmental Earth Sciences*, 65(5), 1405–1414. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1311-6>.
29. Seegert, J., Berendonk, T.U., Bernhofer, C., Blumensaat, F., Dombrowsky, I., Fuehner, C., Grundmann, J., Hagemann, N., Kalbacher, T., Kopinke, F.-D., Liedl, R., Leidel, M., Lorz, C., Makeschin, F., Markova, D., Niemann, S., Röstel, G., Schanze, J., Scheifhaken, N., & Krebs, P. (2014). Integrated water resources management under different hydrological, climatic and socio-economic conditions: Results and lessons learned from a transdisciplinary IWRM project IWAS. *Environmental Earth Sciences*, 72(12), 4677–4687. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3877-2>.
30. Silva Leal, R.S.L., Almeida, N.V., & Silva, M.D.D. (2023). Impacts of changes in land cover and land use on the hydrological cycle of the Tapuio River sub-basin/AL. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, 13(4), 497–511. <https://doi.org/10.29150/jhrs.v13.4.p497-511>.
31. Sleeter, R., Sleeter, B.M., Williams, B., Hogan, D., Hawbaker, T., & Zhu, Z. (2017). A carbon balance model for the great dismal swamp ecosystem. *Carbon Balance and Management*, 12(2). <https://doi.org/10.1186/s13021-017-0070-4>.
32. Takada, T., Miyamoto, A., & Hasegawa, S.F. (2010). Derivation of a yearly transition probability matrix for land-use dynamics and its applications. *Landscape Ecology*, 25(4), 561–572. <https://doi.org/10.1007/s10980-009-9433-x>.
33. Turner, M.G., & Gardner, R.H. (2015). *Landscape Ecology in Theory and Practice: Pattern and Process*. 2nd ed. Springer, 482. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2794-4>.
34. Uhl, A., Melnyk, O., Melnyk, Y., Manko, P., Brunn, A., & Fesyuk, V. (2024). Remote sensing monitoring of changes in forest cover in the Volyn region: A cross section for the first two decades of the 21st century. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series "Geology. Geography. Ecology"*, 60, 272–283. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2024-60-19>.
35. Winterbottom, S.J. (2000). Medium and short-term channel planform changes on the Rivers Tay and Tummel, Scotland. *Geomorphology*, 34(3–4), 195–208. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(00\)00007-6](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(00)00007-6).

Стаття надійшла до редколегії
23.06.2024 р.