

DOI: 10.32347/2076-815X.2025.89.472-487

УДК 528.8+528.9:332.3

д.п.н., професор **Браславська О.В.**,

oksana.braslavaska@udpu.edu.ua, ORCID: 0000-0003-0852-686X,

Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини

ГІС-ТЕХНОЛОГІЇ ТА ДИСТАНЦІЙНЕ ЗОНДУВАННЯ У МОНІТОРИНГУ ЗМІН ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ

Розглянуто теоретичні та практичні аспекти використання ГІС-технологій та дистанційного зондування у моніторингу змін землекористування. Зазначено, що сучасне землекористування є складним динамічним процесом, який зазнає постійних змін під впливом природних та антропогенних факторів. Підкреслено значення геоінформаційних систем (ГІС) та дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) як незамінних інструментів аналізу, оцінки та прогнозування змін землекористування, що забезпечують оперативний доступ до актуальних просторових даних та дозволяють приймати обґрунтовані рішення у сферах містобудування, екологічного менеджменту та земельного управління. Урбанізація, розширення сільськогосподарських угідь, вирубка лісів, кліматичні зміни та деградація земель вимагають застосування ефективних методів моніторингу. Визначено основні інструменти та методи обробки супутникових даних, зокрема багатоспектральний аналіз, індекси вегетації (NDVI, NDBI, NDWI), машинне навчання, а також просторове моделювання. Особливу увагу приділено можливостям ГІС у виявленні тенденцій змін землекористування, картографуванні урбанізованих зон, оцінці стану природних екосистем та прогнозуванні майбутніх трансформацій територій. Розглянуто перспективи впровадження автоматизованих ГІС-рішень для моніторингу територій у режимі реального часу. Досліджено міжнародний досвід застосування ДЗЗ у контролі змін землекористування та можливість його адаптації в національних умовах. Запропоновано рекомендації щодо вдосконалення підходів до моніторингу деградаційних процесів та інтеграції різних джерел геопросторових даних для забезпечення ефективного управління земельними ресурсами. Результати дослідження підтверджують, що використання ГІС-методів та дистанційного зондування дозволяє значно підвищити точність, оперативність і наочність аналізу змін землекористування. Інноваційні технології сприяють впровадженню сталих підходів до просторового планування та екологічного моніторингу, забезпечуючи збереження природних ландшафтів і раціональне використання земельних ресурсів.

Ключові слова: ГІС-технології; дистанційне зондування Землі; супутниковий моніторинг; землекористування; картографування; аналіз змін; прогнозне моделювання; екологічний моніторинг.

Постановка проблеми. Сучасне землекористування характеризується багатофункціональністю, виступаючи одночасно як механізм виробництва, інструмент раціонального природокористування та просторовий регулятор, що визначає структуру земельних відносин. Його позиціонують як елемент соціо-територіальних комплексів регіонального та локального рівнів, що реалізується через інфраструктурне забезпечення використання земельних ресурсів. Організація процесу землекористування повинна відбуватись згідно з принципу раціонального використання земельних ресурсів, що передбачає гармонізацію суспільних та приватних інтересів у досягненні балансу між економічними, соціальними та екологічними потребами. Відповідно можна прийти до висновку, що землекористування є динамічним процесом, що зазнає значних змін під впливом природних і антропогенних факторів. Інтенсивна урбанізація, розширення сільськогосподарських угідь, вирубка лісів та зміни клімату вимагають ефективних методів моніторингу. ГІС-технології та дистанційне зондування забезпечують інноваційні рішення для аналізу змін землекористування. Вони дозволяють оперативне отримання актуальних просторових даних, виявлення тенденцій та прогнозування майбутніх змін територій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Геоінформаційні системи (ГІС) та дистанційне зондування у моніторингу змін землекористування є предметом активного наукового дослідження, що підтверджено значною кількістю публікацій. Дослідники акцентують увагу на широкому спектрі питань, зокрема на нормативно-правових аспектах, технічних можливостях ГІС і ДЗЗ, картографуванні екзогенних процесів та оцінці змін землекористування. Значну увагу об'єктивній необхідності впровадження ГІС-технологій у систему управління земельними ресурсами приділяють О. Лазарева, К. Вакар та К. Платонова [1]. Вони наголошують на важливості використання сучасних цифрових інструментів для підвищення ефективності управлінських рішень у сфері земельних відносин. Аспекти 3D-моделювання та картографування проявів екзогенних процесів розглядають Л. Казаченко, В. Казаченко та Т. Жидкова [2]. Їхнє дослідження демонструє можливості ГІС у відновленні територій, що зазнали природних і техногенних змін. Науковці [3] аналізують перспективи та виклики використання ГІС у процесі нормативної грошової оцінки земель за межами населених пунктів. Автори підкреслюють, що впровадження ГІС-методів дозволяє значно підвищити точність і прозорість

земельної оцінки. Важливий внесок у дослідження техногенно-екологічної безпеки територій зробили В. Охарєв та С. Підсадній [4]. Вони розглядають інформаційну підтримку прийняття рішень на основі геопросторових даних, що є ключовим для мінімізації ризиків у сфері екологічної безпеки.

Моніторинг деградації ґрунтів розглядається в роботі Л. Казаченко [5], де авторка звертає увагу на проблему ерозії та зниження родючості ґрунтового покриву. Подібну тематику продовжують В. Соловей, Ю. Залавський, В. Лебедь, М. Солоха та А. Кучер [6], які пропонують методичні засади картографування наслідків мілітарної деградації ґрунтів. Їхнє дослідження є особливо актуальним у контексті сучасних військових викликів та екологічних наслідків воєнних дій. Дистанційне зондування та географічні інформаційні системи (ГІС) є потужними інструментами для отримання точної та своєчасної інформації про просторовий розподіл землекористувань та землеволодінь територіальних громад, дозволяючи створювати не лише актуальні кадастрові карти, а й актуальні та інтегровані цифрові моделі землекористувань. При цьому підвищити точність, оперативність прийняття рішень, щодо управління земельними ресурсами на основі комплексного аналізу просторових даних [7;8].

Окремо слід відзначити міжнародний досвід моніторингу змін землекористування, представлений у дослідженні щодо території Індії [9]. У ньому демонструється використання методів дистанційного зондування та ГІС для аналізу змін у землекористуванні, що підтверджує універсальність цих підходів для глобальних досліджень.

Таким чином, попри значний науковий доробок, залишається низка невирішених питань, пов'язаних зі стандартизацією ГІС-методів, інтеграцією різних джерел геопросторових даних та удосконаленням підходів до моніторингу деградаційних процесів.

Актуальність дослідження. Сучасні процеси землекористування є надзвичайно динамічними та залежать від антропогенних і природних факторів. Інтенсивна урбанізація, зміни клімату, розширення сільськогосподарських угідь і вирубка лісів вимагають застосування інноваційних методів моніторингу. ГІС-технології та дистанційне зондування (ДЗЗ) забезпечують оперативний аналіз змін землекористування, дозволяючи приймати обґрунтовані рішення у сфері містобудування, екологічного менеджменту та земельного управління.

Новизна дослідження. Дослідження спрямоване на інтеграцію сучасних ГІС-методів та алгоритмів аналізу супутникових знімків для оцінки змін землекористування. Новизна полягає у використанні багатоспектрального аналізу супутникових даних та прогнозного моделювання для оцінки динаміки змін територій землекористування.

Метою статті є аналіз і оцінка можливості моніторингу змін землекористування на основі даних дистанційного зондування та ГІС-технологій.

Результати та їх обґрунтування. Для ефективного моніторингу динаміки землекористування ключову роль відіграють геоінформаційні системи (ГІС) та дистанційне зондування Землі (ДЗЗ). Інтеграція кадастрової, супутникової та топографічної інформації в ГІС сприяє створенню динамічних моделей, необхідних для раціонального територіального планування. Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) розширює можливості ГІС, забезпечуючи аналіз змін на основі аерокосмічних даних, оцінку природних процесів та прогнозування антропогенних трансформацій земельних ресурсів [7]. Потрібно зазначити, що геоінформаційні системи на рівні землекористування територіальної громади вивчають з чотирьох різних точок зору: 1) як продукт – призначений для збору, обробки, зберігання, аналізу, відображення та поширення просторових даних; 2) як програмне забезпечення – набір програмних засобів, який забезпечує спеціалізовані функції, такі як об'єднання, обрізання та розчинення, для обробки даних; 3) як джерело або споживач даних; 4) як процес, що сприяє прийняттю рішень і включає шість ключових кроків: визначення проблеми, збір та обробка геопросторових даних, аналіз, візуалізація результатів, розробка та практичне застосування рішення [10].

Відповідно геоінформаційні системи (ГІС) відіграють ключову роль у моніторингу землекористування, забезпечуючи ефективний аналіз, візуалізацію та управління просторовими даними. ГІС забезпечують можливість накопичення, зберігання та організацію великих масивів географічних даних, що стосуються землекористування (табл.1).

Таблиця 1

Основні функції ГІС у моніторингу змін землекористування

Функція	Зміст функції	Приклади застосування, Джерела інформації, інструменти	Обґрунтування
1	2	3	4
Збір та управління просторовими даними	Накопичення, зберігання та організація великих за обсягом географічних даних про землекористування	Супутникові знімки, аерофотознімки, GPS-вимірювання, дані дистанційного зондування	Швидке оновлення бази інформацією про використання земель, для прийняття управлінських рішень.
Аналіз змін землекористування	Ідентифікує, аналізує та візуалізує зміни в структурі землекористування	Урбанізація, вирубка лісів, деградація ґрунтів, зміни в аграрному секторі.	Встановлення екологічних наслідків та оцінювання впливу людської діяльності на довкілля.

1	2	3	4
Моделювання та прогнозування	Моделювання можливих сценаріїв розвитку територій.	Оцінювання впливу кліматичних змін, інтенсивності використання земельних ресурсів та ефективності заходів зі збереження навколишнього середовища.	Контроль за нерегульованим розвитком територій та поліпшення екологічного планування
Картографування та візуалізація	Створення детальних карт та схем використання земель.	ArcGIS, QGIS, Google Earth Engine, ENVI дозволяють наочно демонструвати зміни, що відбуваються в межах певної території	Візуалізація даних спрощує аналіз та робить його доступним для прийняття рішень на всіх рівнях
Моніторинг екологічного стану	Відстеження стану ґрунтів, лісових масивів, водних ресурсів і загальний рівень антропогенного навантаження.	Аналіз рівня ерозії ґрунтів, забруднення та ефективність природоохоронних заходів.	Система оперативного моніторингу в режимі реального часу дозволяє своєчасно реагувати на потенційні загрози та зменшувати екологічні ризики
Прийняття управлінських рішень	На основі ГІС-аналізу ухвалювати рішення щодо раціонального використання земельних ресурсів.	Впровадження програм відновлення природних ресурсів та управління урбаністичним розвитком	ГІС у державному управлінні дозволяють досягти ефективнішого та екологічно збалансованого використання земельних ресурсів.

На сьогодні дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) – це метод спостереження за поверхнею нашої планети з космосу або з повітря, використовуючи спеціальне обладнання, встановлене на космічних апаратах, літаках або безпілотних літальних апаратах. Дистанційне зондування Землі використовує різні типи сенсорів для збору інформації: оптичні сенсори (Sentinel-2, Landsat) – отримують зображення у видимому та інфрачервоному спектрах; радарні сенсори (Sentinel-1, ALOS PALSAR) – забезпечують аналіз незалежно від погодних умов; лідарні технології – створюють детальні цифрові моделі рельєфу та структури рослинності. До основних методів обробки супутникових знімків відносять – класифікацію зображень (спостережувана та неспостережувана класифікація), індекси рослинного покриття (NDVI, SAVI, EVI), методи виявлення змін (порівняння багаточасових знімків, машинне навчання, нейронні мережі).

ГІС є незамінним інструментом для дослідження просторових даних, забезпечуючи збір, зберігання, обробку, аналіз та візуалізацію географічної інформації, а також створення картографічних та інших вихідних документів [6]. Підвищення ефективності землекористування вимагає дослідження потенціалу земель сільськогосподарського призначення та інших категорій, з паралельним внутрішнім структурним перерозподілом кожної категорії з урахуванням регіональної специфіки. Завдання планування землекористування, пошук оптимального розташування підприємств або поселень, а також управління навколишнім середовищем потребують використання не лише стандартних ГІС-інструментів для обробки та представлення просторових даних, але й методів багатокритеріального аналізу рішень для всебічної оцінки альтернатив.

Методи виявлення змін землекористування за допомогою ГІС-технологій та дистанційного зондування включають класифікацію типів землекористування, використання індексів для оцінки змін, геопросторове прогнозування змін. Класифікація дозволяє автоматично розрізняти різні типи землекористування (ліси, міські території, водні об'єкти тощо), а для точного розпізнавання категорій земного покриття та автоматичної інтерпретації великих масивів даних використовують алгоритми ШІ як Random Forest та Support Vector Machines (SVM) та Deep Learning (глибоке навчання).

Моніторинг змін землекористування проводять за супутниковими індексами, які допомагають оцінювати вегетаційний покрив, вологість ґрунту та деградацію земель. До числа найбільш важливих індексів можна віднести NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) з оцінки рослинного покриття; NDWI (Normalized Difference Water Index) з вивчення водних ресурсів та NDBI (Normalized Difference Built-up Index) з визначення урбанізованих територій.

Моделювання змін землекористування дозволяє прогнозувати майбутні сценарії розвитку територій завдяки методів: моделі клітинних автоматів (Cellular Automata), марковані ланцюги (Markov Chains), агентне моделювання (Agent-based modeling).

Створення бази геоданих відкриває можливості для просторового накладання тематичних шарів (їх прив'язки в обраній системі координат), аналізу вертикальної структури ґрунтів, оцінки впливу різних факторів на ґрунтоутворення, вивчення поширеності ґрунтів у ландшафтах, а також для врахування впливу геокомпонентів на господарську діяльність при прийнятті управлінських рішень. Успішним прикладом якого є дослідження динаміки зміни лісового покриття за 25 років (1982–2007) на території площею 618 км² (61 800 га) у південно-західній частині Козелецького району Чернігівської області, що становить 23% від загальної площі району або 2% від площі області.

Завдяки просторовому підходу стало можливим використання комплексних, багатовимірних та багатокритеріальних моделей при аналізі процесів землекористування та оцінці негативних наслідків діяльності людини [11].

Прогнозування руйнівних процесів на земній поверхні потребує актуальні дані та сучасні технології, такі як ГІС і ДЗЗ, які дозволяють створювати моделі розвитку та передбачати подальші зміни ґрунтового покриву, що є важливим для прийняття управлінських рішень. Растрова карта та космічний знімок дають уяву про розвиток екзогенних процесів – зсуви, ерозію ґрунту, карстові відкладення. Наприклад, зсуви, які розвинуті по яружно-балковій системі, загрожують інженерній інфраструктурі та житловій забудові населених пунктів, сільськогосподарським землям. Прогнозувати зсуви та, відповідно, зменшити їх негативний вплив можна завдяки 3-D-моделюванню. Програмне забезпечення Digitala дає змогу змодельовати розвиток зсуву. Моделювання рельєфу територій землекористування в форматі 3-D дає об'ємне уявлення, через періодичне внесення інформації про дію зсуву (рис.1) [2]. Побудова моделей розвитку природних явищ, дозволяє приймати своєчасні управлінські рішення, це зменшує або зовсім усуває негативні наслідки руйнування, та небезпеку для людей.



Рис. 1. Побудова 3D-моделі в програмі Digitala: а – цифрова модель розвитку дії зсуву на космічному знімку; б – Побудова моделі розвитку небезпечних екзогенних; в – 3D-модель розвитку зсуву. Джерело [2]

Можливості даних ДЗЗ та ГІС при моніторингу змін довкілля дозволяють рис. 2 моделювати рівень підтоплення територій весняною повінню при 1, 5, 10, 25, 50% забезпеченості р. Десна в межах м. Чернігова (рис. 2) [12].

Еволюційні процеси, зокрема глобальні зміни клімату, а також людська діяльність (осушення земель, неконтрольоване використання підземних вод, незаконний видобуток бурштину тощо) призводять до зникнення десятків озер, які перетворюються на водно-болотні комплекси. З огляду на вищесказане, актуальним стає завдання кадастрового обліку озер та екологічної оцінки їхніх природно-антропогенних змін з використанням сучасних методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), геоінформаційних систем (ГІС) та

науково обґрунтованих рекомендацій щодо раціонального використання та охорони. Для оцінювання стану озер широко використовують методи ДЗЗ.

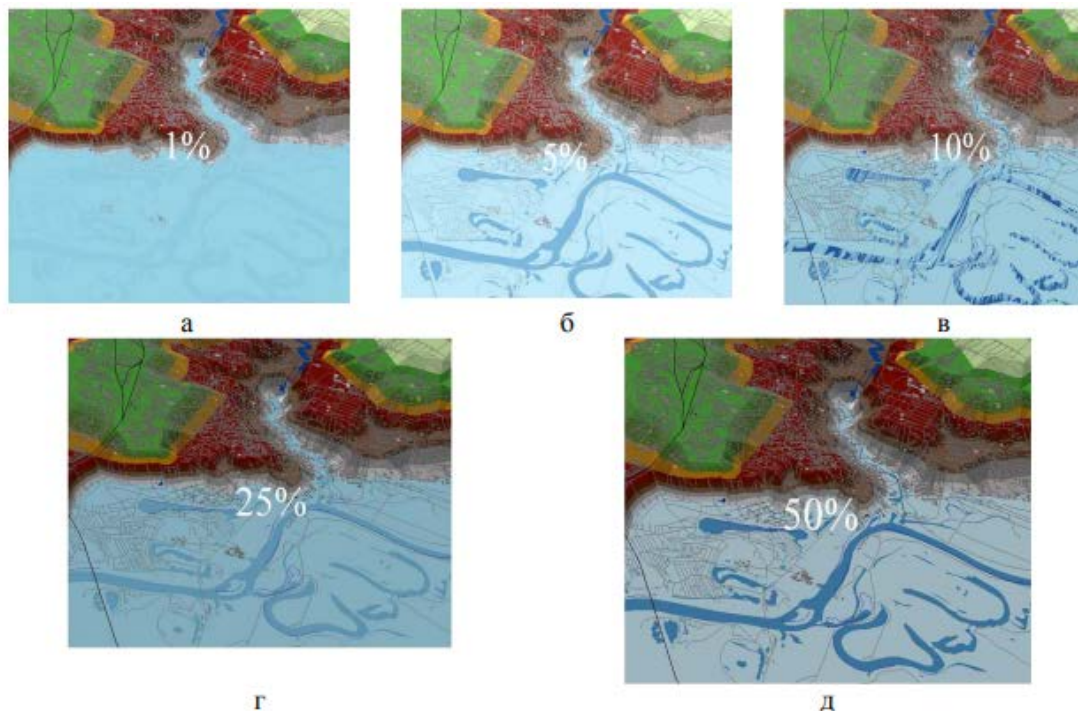


Рис. 2. Моделювання підтоплення територій р. Десна в адміністративних межах м. Чернігова весняною повінню: а) рівень підтоплення 1 раз на 100 років; б) рівень підтоплення 1 раз на 20 років; в) рівень підтоплення 1 раз на 10 років; г) рівень підтоплення 1 раз на 4 роки; д) рівень підтоплення 1 раз на рік. Джерело: [12]

Рекомендується застосовувати вегетаційний індекс NDVI (нормалізований диференційний вегетаційний індекс) для визначення стану рослинності замкнених природних водойм з високим вмістом органічних речовин та низьким вмістом кисню. Його обчислюють за формулою: $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$. У цій формулі NIR відповідає інфрачервоній частині спектра (760–900 нм), а RED – червоній видимій частині спектра (630–690 нм).

З метою виявлення часової динаміки коефіцієнта зволоження (КЗ) надводно-підводної рослинності різної площі в межах визначеного часового інтервалу (1 місяць – 5 років) застосовується фільтрація супутникових зображень за критерієм хмарності, що не перевищує 10,0 %. Зміни КЗ корелюють з варіаціями площі рослинності, віалізують градієнтом зелених відтінків та кількісно оцінюють відповідними значеннями NDVI в діапазоні від - 1 до +1. Наприклад, дослідження озер Поліського регіону, проведене із застосуванням сучасної методики, продемонструвало значне скорочення площ їхніх акваторій, зумовлене природно-антропогенними трансформаціями. Кількісна оцінка змін площ показала діапазон від 15,63 % (оз. Кримне) до 88,66

% (оз. Горіхове). Встановлено, що для подальшого дослідження та картографування озер доцільним є комплексний підхід, що включає: визначення вегетаційного індексу за даними КЗ Sentinel-2 (EO Browser), оцінку термального режиму на основі даних Landsat-8 (TIRS) (EO Browser), а також інтеграцію космознімків Google Earth та EO Browser. Поєднання кількісних даних, отриманих у різних спектральних каналах, з результатами інструментальних досліджень є фундаментальною основою для розробки ландшафтної (ландшафтно-екологічної) карти озер (рис. 3) [13]. Застосування методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та геоінформаційних систем (ГІС) є критично важливим інструментом для проведення регіональних ландшафтно-лімнологічних досліджень, зокрема, для розробки екологічних паспортів озер. Це забезпечує формування референційної бази даних, необхідної для здійснення ефективного геоекологічного моніторингу озерних екосистем та сприяє впровадженню принципів сталого управління водними об'єктами з уповільненим водообміном.

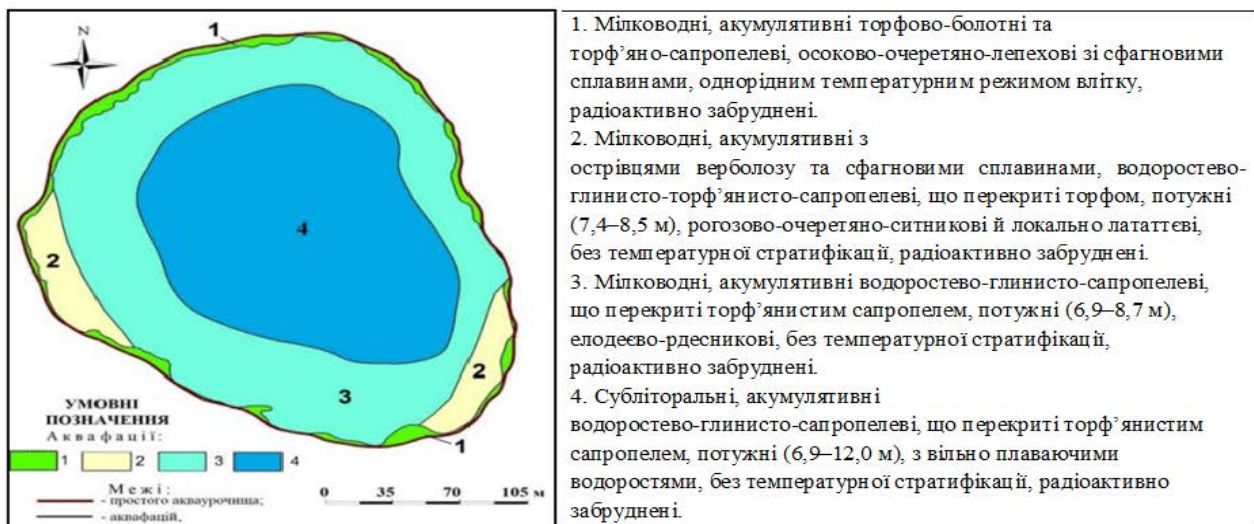


Рис. 3. Структура природно-аквального комплексу оз. Більське. Джерело:[13]

Зважаючи на стан земних ландшафтів, особливо в регіонах, де людина активно впливає на природу, моніторинг ландшафтів стає все більш необхідним. Ландшафтний моніторинг використовується для визначення змін у структурі та функціонуванні ландшафтів. Науковий моніторинг зосереджується на визначенні та обґрунтуванні індикаторів змін ландшафтів. Найчастіше в якості індикатора використовується компонент, який легко ідентифікується за допомогою геоданих. Для ефективного проведення такого моніторингу необхідно поєднувати дані дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) з польовими дослідженнями фацій на ключових ділянках, дотримуючись послідовності з шести етапів: вибір певних оптичних каналів та їхніх оптимальних комбінацій здійснюється на основі польової ідентифікації ділянок (на рівні фацій) та

порівняння з отриманими оптичними зображеннями цих ділянок; збільшення просторової роздільної здатності космічних знімків; тестування існуючих методів класифікації ландшафтних угруповань для їх застосування до геоданих, отриманих з космічних знімків Sentinel-2 та PlanetScope, з використанням наявних результатів; використання оверлейного аналізу для обробки наявних геоданих, класифікація та оптимізація кількості класів з метою створення карти-гіпотези досліджуваної території; перевірка виділених контурів безпосередньо на місцевості, щоб уточнити оптимальні методи дешифрування ландшафтної структури та зафіксувати зміни контурів ідентифікаційних об'єктів; ідентифікація ландшафтних одиниць на основі розпізнавання рослинних угруповань (як ключового елементу ландшафту) та вибір спектральних способів для моніторингу їхнього стану з урахуванням сезонної динаміки рослинності [14].

Зазначимо, що динаміка землекористування в населених пунктах є постійною. Ці зміни зумовлені природними та антропогенними факторами. Для ефективного управління територіями необхідна точна та актуальна інформація про ці зміни. Сучасні ГІС та ДЗЗ забезпечують високоточний аналіз просторових даних, що дозволяє оцінювати, моделювати та прогнозувати зміни землекористування. Використання ГІС і ДЗЗ стає невід'ємним інструментом у містобудуванні, екологічному моніторингу та земельному управлінні. Застосування даних технології дало змогу провести оцінювання лісорекреаційних площ урбанізованих територій обласних центрів карпатських областей України (Івано-Франківська, Ужгорода, Чернівців та Львова). За допомогою нормалізованого диференційного вегетаційного індексу (Normalized Difference Vegetation Index 2024) були ідентифіковані вкриті деревною рослинністю території обласних центрів на космічних мультиспектральних знімках супутника «Sentinel-2A». Використання програмного забезпечення Semi-Automatic Classification Plugin (SCP, Version 6.4.2. – Greenbelt) для QGIS дало змогу реалізувати поетапний процес із трансформації цифрових даних знімків у значення відбиття поверхні, врахування впливу атмосфери (DOS1 корекція), визначення межі досліджуваних населених пунктів. У результаті дослідження було визначено, що лідерами за площею вкритих деревною рослинністю територій, як в абсолютних, так і відсоткових показниках є м. Львів (46,2 км², 30,5 % від загальної площі міста) та м. Чернівці (32,9 км², 21,8 %), значно меншими вони є в м. Ужгород (4,3 км², 11,7 %) та в м. Івано-Франківськ (4,2 км², 10,2 %) [15].

Висновки. ГІС-технології та дистанційне зондування є ефективними інструментами для моніторингу змін землекористування, дозволяючи здійснювати детальний просторовий аналіз та прогнозування. Використання

супутникових знімків у поєднанні з ГІС дозволяє оперативне ідентифікування розширення урбанізованих зон, змін рослинного покриву та деградації ґрунтів. Машинне навчання та алгоритми глибокого навчання значно підвищують точність аналізу змін землекористування, забезпечуючи автоматизовану класифікацію територій. ДЗЗ-методи у поєднанні з геопросторовим аналізом є перспективними для оптимізації управління земельними ресурсами в умовах урбанізації та кліматичних змін.

Удосконалення методів інтеграції ГІС-даних із даними ДЗЗ для підвищення точності аналізу змін землекористування. Дослідження можливостей використання дронів для підвищення деталізації картографічних даних. Впровадження моделей машинного навчання для прогнозування змін територій із врахуванням соціально-економічних факторів. Розробка інтерактивних ГІС-платформ для моніторингу землекористування у режимі реального часу.

Література

1. Лазарева О.В., Вакар К.В., Платонова К.А. Об'єктивна необхідність впровадження ГІС технологій у системі управління земельними ресурсами. *Агросвіт*. 2019. № 22. DOI: 10.32702/2306-6792.2019.22.48.
2. Казаченко Л., Казаченко В., Жидкова Т. ГІС-технології та 3D-моделювання у картографуванні прояву екзогенних процесів на відновлюваних територіях. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2021. Вип. 94. С. 29-34. <https://doi.org/10.23939/istcgcap2021.94.029>.
3. Гой, В., Мамонов, К., Бурвіков, І. Геоінформаційні системи в процесі нормативної грошової оцінки земель за межами населених пунктів: перспективи та виклики. *Просторовий розвиток*. 2024. №10. С. 427–440. <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2024.10.427-440>.
4. Охарєв, В., Підсадній, С. Інформаційна підтримка рішень в сфері техногенно-екологічної безпеки територій на основі технологій обробки геопросторових даних. *Екологічна безпека та природокористування*. 2024. №50(2). С. 115–129. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2024.2.115-129>.
5. Казаченко Л.М. Моніторинг деградації ґрунтового покриву. *Комунальне господарство міст*. 2017. Вип. 139. С. 63-67. URL. <https://core.ac.uk/download/pdf/147455718.pdf>.
6. Соловей В.Б., Залавський Ю.В., Лебедь В.В., Солоха М.О., Кучер А.В. Методичні засади картографування наслідків мілітарної деградації ґрунтів на рівні територіальних громад. *Український географічний журнал*. 2024. №4(128). С. 22-35. <https://doi.org/10.15407/ugz2024.04.022>.

7. Білявський М.О. Розробка методики цифрового моделювання землекористувань та землеволодінь громади. *Український журнал прикладної економіки та техніки*. 2025. Том 10. № 1. С. 133-139. DOI: <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2025-1-22>.
8. Рудомаха, А.В. Геоінформаційний аналіз використання земель об'єднаних територіальних громад. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: технічні науки*. 2019. Вип. 30(69). С. 181-184. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-2/32>.
9. Rawat J.S., Kumar M. Monitoring land use/cover change using remote sensing and GIS techniques: A case study of Hawalbagh block, district Almora, Uttarakhand, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. 2015. Vol. 18. P. 77-84 <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2015.02.002>.
10. Пивовар П., Дема Д., Топольницький П., Николюк О., Пивовар А. Оцінювання впливу структури земного покриву на податкові надходження місцевих бюджетів територіальних громад на основі ГІС-технологій. *Agricultural and Resource Economics*. 2023. Vol. 9. №2. С. 34-62. <https://doi.org/10.51599/are.2023.09.02.02>.
11. Зацерковний В.І. Геоінформаційні системи і системи дистанційного зондування землі в задачах ефективного землекористування. URL: <https://surl.li/rcitvm>.
12. Зацерковний В.І. Аналіз моделей інтеграції технологій ГІС, ДЗЗ і GPS в задачах моніторингу стану навколишнього середовища. *Математичні машини і системи*. 2014. №4. С. 44-52.
13. Мартинюк В.О., Томченко О.В. Використання засобів дистанційного зондування Землі до оцінювання природно-антропогенних трансформацій озер Поліського регіону. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. 2021. №8 (2), С. 27–35. <https://doi.org/10.36023/ujrs.2021.8.2.194>.
14. Черваньов І. Г., Залюбовська О. В., Овчаренко А. Ю. Обґрунтування вибору індикативних об'єктів для ландшафтного моніторингу природоохоронної території та дослідження їх за даними дистанційного зондування й польового знімання. *Український географічний журнал*. 2019. №1(105). С. 15-23. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2019.01.015>.
15. Цепенда М., Данілова О., Заблотовська Н. Застосування ГІС-технологій для оцінювання лісорекреаційних площ урбанізованих територій. *Науковий вісник Чернівецького університету : Географія*. 2024. Вип. 849. С. 155-163. DOI: <https://doi.org/10.31861/geo.2024.849.154-163>.
16. Шевчук С.М., Прокопенко Н.І., Рожі Т.А. Аналіз використання геодезичних даних при плануванні та моніторингу агроландшафтів: оптимізація землекористування та охорони природи. *Просторовий розвиток*, Вип. 7, 2024. С. 445–458. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2024.7.445-458>.
17. Рожі Т.А. Врахування ландшафтної структури територій громад для раціонального природокористування. *Ландшафтознавство : науково-теоретичний журнал*. / головн. ред. Г. Денисик. Вінниця, ВДПУ ім. Михайла Коцюбинського, 2023. Вип. 4 (2). С. 85–91. DOI: <https://doi.org/10.31652/2786-5665-2023-4-85-91>.

18. Рожі І.Г., Рожі Т.А., Федій О.А. Геодезичні аспекти створення цифрових моделей рельєфу для потреб геоінформаційних систем. *Просторовий розвиток*, Вип. 8, 2024. С. 477–491. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2024.8.477-491>.
19. Кирилюк, В., Рожі, Т., Харів, В. Геодезичне планування в агроландшафті: створення цифрових карт та моделей для оптимізації землекористування. *Просторовий розвиток*, (6), (2023). С. 293–308. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2023.6.293-308>.
20. Дець Т.І., Кирилюк В.П., Рожі Т.А. Вивчення відображення і дослідження об'єктів, явищ та процесів у навколишньому середовищі шляхом картографічних зображень та топографо-геодезичних вимірювань. *Містобудування та територіальне планування* : наук.-техн. Збірник. Київ : КНУБА, 2024. Вип. 85. С. 133–145. DOI: <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2024.85.133-145>.
21. Браславська О.В., Дець Т.І., Рожі Т.А. Роль геодезії у розвитку дрон-технологій для вимірювання, картографування та моніторингу територій. *Просторовий розвиток: Науковий збірник / Головн. ред. О. Ковальчук*. Київ, КНУБА, 2023. Вип. 5. С. 268–285. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2023.5.268-285>.

Doctor of Pedagogical Sciences, Professor **Braslavska Oksana Volodymyrivna**,
Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University

GIS TECHNOLOGIES AND REMOTE SENSING IN MONITORING LAND USE CHANGES

The article examines the theoretical and practical aspects of using GIS technologies and remote sensing in monitoring land use changes. It is noted that modern land use is a complex and dynamic process that undergoes constant changes under the influence of natural and anthropogenic factors. The importance of Geographic Information Systems (GIS) and Remote Sensing (RS) as essential tools for analyzing, assessing, and forecasting land use changes is emphasized. These technologies provide real-time access to up-to-date spatial data and enable informed decision-making in urban planning, environmental management, and land administration. Urbanization, the expansion of agricultural lands, deforestation, climate change, and land degradation necessitate the application of effective monitoring methods. The article identifies key tools and methods for processing satellite data, including multispectral analysis, vegetation indices (NDVI, NDBI, NDWI), machine learning, and spatial modeling. Special attention is given to the potential of GIS in detecting land use change trends, mapping urbanized areas, assessing the state of natural ecosystems, and predicting future territorial transformations. The prospects for implementing automated GIS solutions for real-time territory monitoring are explored. The study also examines international

experience in applying RS for land use change control and its potential adaptation to national conditions. Recommendations are proposed for improving approaches to monitoring degradation processes and integrating various sources of geospatial data to ensure effective land resource management. The research findings confirm that the use of GIS methods and remote sensing significantly enhances the accuracy, efficiency, and visualization of land use change analysis. Innovative technologies contribute to the implementation of sustainable approaches to spatial planning and environmental monitoring, ensuring the preservation of natural landscapes and the rational use of land resources.

Key words: GIS technologies; remote sensing; satellite monitoring; land use; mapping; change analysis; predictive modeling; environmental monitoring.

REFERENCES

1. Lazaryeva, O.V., Vakar, K.V., Platonova, K.A. Ob'ektyvna neobkhidnist' vprovadzhennya HIS tekhnolohiy u systemi upravlinnya zemel'nymy resursamy [The objective necessity of implementing GIS technologies in the land resources management system]. *Ahrosvit* [Agrosvit]. 2019, 22 DOI: 10.32702/2306-6792.2019.22.48. {in Ukrainian}
2. Kazachenko, L., Kazachenko, V., Zhydkova, T. HIS-tekhnolohiyi ta 3D-modelyuvannya u kartohrafuvanni proyavu ekzohennykh protsesiv na vidnovlyuvanykh terytoriyakh [GIS technologies and 3D modeling in mapping the manifestation of exogenous processes in restored territories]. *Heodeziya, kartohrafiya i aerofotoznimannya* [Geodesy, Cartography and Aerial Photography.] 2021, 94,29-34. <https://doi.org/10.23939/istcgcap2021.94.029>. {in Ukrainian}
3. Hoy, V., Mamonov, K., Burvikov, I. Heoinformatsiyni systemy v protsesi normatyvnoyi hroshovoyi otsinky zemel' za mezhamy naselenykh punktiv: perspektyvy ta vyklyky [Geoinformation systems in the process of normative monetary valuation of lands outside settlements: prospects and challenges]. *Prostorovyy rozvytok* [Spatial Development]. 2024, 10, 427–440. <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2024.10.427-440>. {in Ukrainian}
4. Okharyev, V., Pidsadniy, S. Informatsiyna pidtrymka rishen' v sferi tekhnohenno-ekolohichnoyi bezpeky terytoriy na osnovi tekhnolohiy obrobky heoprostorovykh danykh [Information support for decisions in the field of technogenic and ecological safety of territories based on geospatial data processing technologies]. *Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannya* [Ecological Safety and Nature Management]. 2024, 50(2), 115–129. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2024.2.115-129>. {in Ukrainian}
5. Kazachenko, L.M. Monitorynh dehradatsiyi gruntovoho pokryvu [Monitoring soil cover degradation]. *Komunal'ne hospodarstvo mist* [Municipal utilities]. 2017, 139, 63-67. URL. <https://core.ac.uk/download/pdf/147455718.pdf>. {in Ukrainian}
6. Solovey, V.B., Zalavs'ky, YU.V., Lebed', V.V., Solokha, M.O., Kucher, A.V. Metodychni zasady kartohrafuvannya naslidkiv militarykh dehradatsiyi gruntiv na rivni terytorial'nykh hromad [Methodological principles of mapping the consequences of military soil

degradation at the level of territorial communities]. *Ukrayins'kyi heohrafichnyi zhurnal* [Ukrainian Geographical Journal]. 2024, 4(128), 22-35. <https://doi.org/10.15407/ugz2024.04.022>. {in Ukrainian}

7. Bilyavs'kyi, M.O. Rozrobka metodyky tsyfrovoho modelyuvannya zemlekorystuvan' ta zemlevolodin' hromady [Development of a methodology for digital modeling of land use and community land tenure]. *Ukrayins'kyi zhurnal prykladnoyi ekonomiky ta tekhniky* [Ukrainian Journal of Applied Economics and Technology]. 2025, 10 (1), 133-139. DOI: <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2025-1-22>. {in Ukrainian}

8. Rudomakha, A.V. Heoinformatsiynny analiz vykorystannya zemel' ob'yednanykh terytorial'nykh hromad [Geoinformation analysis of land use of united territorial communities]. *Vcheni zapysky TNU imeni V. I. Vernads'koho. Seriya: tekhnichni nauky* [Scientific notes of V. I. Vernadsky TNU. Series: technical sciences.]. 2019, 30(69), 181-184. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-2/32>. {in Ukrainian}

9. Rawat, J.S., Kumar, M. (2015) Monitoring land use/cover change using remote sensing and GIS techniques: A case study of Hawalbagh block, district Almora, Uttarakhand, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18, 77-84. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2015.02.002>. {in English}

10. Pyvovar, P., Dema, D., Topol'nyts'kyi, P., Nykolyuk, O., Pyvovar, A. Otsinyuvannya vplyvu struktury zemnoho pokryvu na podatkovy nadkhodzhennya mistsevykh byudzhetyv terytorial'nykh hromad na osnovi HIS-tekhnolohiy [Assessment of the impact of land cover structure on tax revenues of local budgets of territorial communities based on GIS technologies] *Agricultural and Resource Economics*. 2023. 9 (2), 34-62. <https://doi.org/10.51599/are.2023.09.02.02>. {in Ukrainian}

11. Zatserkovnyy, V.I. Heoinformatsiyni systemy i systemy dystantsiynoho zonduvannya zemli v zadachakh efektyvnoho zemlekorystuvannya [Geographical information systems and remote sensing systems in the tasks of effective land use]. Available at: <https://surl.li/rcitvm> (accessed 11 March 2025). {in Ukrainian}

12. Zatserkovnyy, V.I. Analiz modeley intehratsiyi tekhnolohiy HIS, DZZ I GPS v zadachakh monitorynhu stanu navkolyshn'oho seredovyscha [Analysis of models of integration of GIS, remote sensing and GPS technologies in environmental monitoring tasks.]. *Matematychni mashyny i systemy* [Mathematical machines and systems]. 2014, 4, 44-52. {in Ukrainian}

13. Martynyuk, V.O., Tomchenko, O.V. Vykorystannya zasobiv dystantsiynoho zonduvannya Zemli do otsinyuvannya pryrodno-antropohennykh transformatsiy ozer Polis'koho rehionu [Using remote sensing tools to assess natural and anthropogenic transformations of lakes in the Polesie region]. *Ukrayins'kyi zhurnal dystantsiynoho zonduvannya Zemli* [Ukrainian Journal of Remote Sensing]. 2021, 8 (2), 27-35. <https://doi.org/10.36023/ujrs.2021.8.2.194>. {in Ukrainian}

14. Chervan'ov, I.H., Zalyubovs'ka, O.V., Ovcharenko, A.YU. Obgruntuvannya vyboru indykatyvnykh ob'yektiv dlya landshaftnoho monitorynhu pryrodookhoronnoyi terytoriyi ta doslidzhennya yikh za danymy dystantsiynoho zonduvannya y pol'ovoho znimannya [Justification

of the choice of indicative objects for landscape monitoring of a protected area and their study using remote sensing and field survey data.]. *Ukrayins'kyi heohrafichnyi zhurnal* [Ukrainian Geographical Journal]. 2019, 1(105), 15-23. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2019.01.015>. {in Ukrainian}

15. Tsependa M., Danilova O., Zablots'ka N. Zastosuvannya HIS-tekhnologiy dlya otsynuyannya lisorekreatsiynykh ploshch urbanizovanykh terytoriy [Application of GIS technologies for the assessment of forest recreation areas of urbanized territories]. *Naukovyy visnyk Chernivets'koho universytetu : Heohrafiya* [Scientific Bulletin of Chernivtsi University: Geography.]. 2024, 849, 155-163. DOI: <https://doi.org/10.31861/geo.2024.849.154-163>. {in Ukrainian}

16. Shevchuk S.M., Prokopenko N.I., Rozhi T.A. Analiz vykorystannia heodezychnykh danykh pry planuvanni ta monitorynhu ahrolandshaftiv: optymizatsiia zemlekorystuvannia ta okhorony pryrody. *Prostorovyi rozvytok*, Vyp. 7, 2024. S. 445–458. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2024.7.445-458>. {in Ukrainian}.

17. Rozhi T.A. Vrakhuvannia landshaftnoi struktury terytorii hromad dlia ratsionalnoho pryrodokorystuvannia. *Landshaftoznavstvo : naukovo-teoretychnyi zhurnal. / holovn. red. H. Denysyk*. Vinnytsia, VDPU im. Mykhaila Kotsiubynskoho, 2023. Vyp. 4 (2). S. 85–91. DOI: <https://doi.org/10.31652/2786-5665-2023-4-85-91>. {in Ukrainian}.

18. Rozhi I.H., Rozhi T.A., Fedii O.A. Heodezychni aspekty stvorennia tsyfrovyykh modelei reliefu dlia potreb heoinformatsiynykh system. *Prostorovyi rozvytok*, Vyp. 8, 2024. S. 477–491. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2024.8.477-491>. {in Ukrainian}.

19. Kyryliuk, V., Rozhi, T., Khariv, V. Heodezychne planuvannia v ahrolandshafti: stvorennia tsyfrovyykh kart ta modelei dlia optymizatsii zemlekorystuvannia. *Prostorovyi rozvytok*, (6), (2023). S. 293–308. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2023.6.293-308>. {in Ukrainian}

20. Dets T.I., Kyryliuk V.P., Rozhi T.A. Vyvchennia vidobrazhennia i doslidzhennia ob'ektiv, yavlyshch ta protsesiv u navkolyshnomu seredovyschi shliakhom kartohrafichnykh zobrazhen ta topografo-heodezychnykh vymiriuvan. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia : nauk.-tekhn. Zbirnyk*. Kyiv : KNUBA, 2024. Vyp. 85. S. 133–145. DOI: <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2024.85.133-145>. {in Ukrainian}

21. Braslavskaya O.V., Dets T.I., Rozhi T.A. Rol heodezii u rozvytku dron-tekhnologii dlia vymiriuvannia, kartohrafuvannia ta monitorynhu terytorii. *Prostorovyi rozvytok : Naukovyi zbirnyk / Holovn. red. O. Kovalchuk*. Kyiv, KNUBA, 2023. Vyp. 5. S. 268–285. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2023.5.268-285>. {in Ukrainian}