

УДК 528.4:502.5+504.064.2
UDC 528.4:502.5+504.064.2

DOI:10.33744/0365-8171-2025-118.1-167-179

**ГЕОДЕЗИЧНІ МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗНОГО МОНІТОРИНГУ ЗЕМЕЛЬНИХ
РЕСУРСІВ В УМОВАХ КЛІМАТИЧНИХ ТРАНСФОРМАЦІЙ**

**GEODETIC METHODS OF ASSESSMENT AND PREDICTIVE MONITORING OF LAND
RESOURCES IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE**



Сербов Микола Георгійович, доктор економічних наук, професор, декан факультету гідрометеорології і екології, Одеський національний університет ім. І.І. Мечникова, м. Одеса, Україна. e-mail: serbovng@gmail.com

<http://orcid.org/0000-0002-0220-6745>



Шемякін Михайло Васильович, кандидат сільськогосподарських наук, доцент, заступник завідувача кафедри, Уманський національний університет, м. Умань, Україна. e-mail: misha.uman@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-3621-1446>



Прокопенко Наталія Іванівна, кандидат економічних наук, доцент кафедри геодезії та землеустрою, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна. e-mail: bilanp79@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-5046-6122>

Анотація. Стаття присвячена розвитку геодезичних методів та створенню високоточних систем моніторингу земельних ресурсів у контексті зміни клімату. Вона аналізує підходи до формування геоінформаційної основи адаптивного управління землекористуванням. Актуальність дослідження зумовлена інтенсивними кліматичними трансформаціями, які впливають на природні процеси та вимагають точних інструментів для прогнозування стану земель. Геодезичні системи забезпечують просторову достовірність даних, необхідних для ефективного управління ресурсами в умовах екологічної нестабільності. Метадослідження зосереджені на розробці геодезично орієнтованих методів створення тривимірних моделей та когнітивних карт для аналізу та прогнозування змін земельних ресурсів. Цілі включають підвищення точності моніторингу та створення основи для адаптивного планування розвитку земель. Дослідження включає геодезичні вимірювання, дані дистанційного зондування та програмне забезпечення, ArcMap та ArcScene. Для створення цифрових моделей місцевості (DEM) було складено TIN-модель, а текстуру створено на основі високоякісних супутникових знімків (SPOT, QuickBird). Автоматизовану векторизацію контурів було проведено з використанням різних алгоритмів класифікації. Отримані результати включають

тривимірні моделі зонування земель з використанням «призмових карт» та об'ємних діаграм, що відображають масштаби активності та динаміку змін. Розроблено технологічну схему геоінформаційного моніторингу, яка інтегрує геодезичні дані для прогнозування деградації ґрунтів та оцінки екологічних ризиків. DEM та макети, створені в ArcScene, забезпечують високу точність просторового аналізу. Перспективи подальших досліджень включають вдосконалення автоматизованих систем векторизації та інтеграцію людського інтелекту для обробки геопросторових даних. Розробка багатомасштабних моделей та розширення баз даних підвищать точність прогнозів та оптимізують управління земельними ресурсами у свідомості активістів боротьби зі зміною клімату.

Ключові слова: геодезія, моніторинг земель, цифрова модель рельєфу, зміна клімату, прогнозування, геоінформаційні технології.

Вступ. Актуальність дослідження зумовлена потребою в системному і науково обґрунтованому забезпеченні ефективного управління земельними ресурсами, які є базисним компонентом екологічної безпеки, економічного розвитку та соціальної стабільності будь-якої держави. В умовах зростання кліматичних ризиків, що проявляються у формі опустелювання, деградації ґрунтів, підвищення ерозійних процесів та нестабільності гідрологічного режиму, особливої ваги набуває впровадження інноваційних геодезичних технологій, які дозволяють здійснювати постійний моніторинг стану земель та забезпечують високу точність у виявленні просторово-часових змін природного середовища.

Сучасне управління земельними ресурсами потребує інтеграції геоінформаційних систем, дистанційного зондування Землі, автоматизованого аналізу даних і геодезичного моделювання для досягнення збалансованого поєднання економічної доцільності та екологічної відповідальності. Саме завдяки таким підходам стає можливим не лише своєчасно оцінювати стан природних екосистем і прогнозувати ймовірні негативні наслідки від господарського втручання, а й формувати ефективні управлінські рішення на основі інтеграції великого обсягу просторових і статистичних даних. В таких умовах відсутність цілісної концепції моніторингу та управління земельними ресурсами із застосуванням геодезичних підходів і цифрових технологій значно ускладнює реалізацію принципів сталого землекористування, призводить до фрагментарного прийняття рішень і спричиняє незворотні екологічні та соціальні втрати. Зокрема, неефективність існуючих методів контролю за станом земель стає одним із чинників поглиблення кліматичної кризи, зростання навантаження на навколишнє середовище, втрати родючості ґрунтів, ризиків техногенних аварій, зниження вартості земельних активів і погіршення якості життя населення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Огляд наукової літератури засвідчує наукову зацікавленість у вдосконаленні теоретичних і практичних засад управління земельними ресурсами на основі сучасних цифрових інструментів. У працях Домбровська О. [2]; Белятинський А., Сорокіна К., Мамонов К., Коваленко Л. [13] розглядаються різноманітні аспекти впровадження геоінформаційних систем у процеси кадастрової діяльності, землеустрою, екологічного моніторингу, збереження й охорони земель, а також — загальні питання забезпечення сталого розвитку територій шляхом цифрової трансформації управлінських рішень у сфері землекористування.

Особлива увага в дослідженні Ситник О., Безлатня Л. [8] приділена обґрунтуванню методології використання ГІС-технологій для створення ефективних механізмів моніторингу стану земель у динамічних природно-кліматичних умовах, що змінюються під впливом глобального потепління, зміщення сезонних режимів та зростання частоти екстремальних погодних явищ. У роботах провідних учених, таких як Фей К., Рехбергер К., Фойт К. [15], детально проаналізовано питання створення цифрових кадастрових моделей, впровадження супутникового зондування та формування комплексних баз даних для прийняття рішень у сфері адаптивного землекористування.

Серед вітчизняних дослідників, чия діяльність суттєво вплинула на формування сучасного уявлення про геодезичне прогнозування і просторове моделювання, слід відзначити наукові праці Вертегел С. та ін. [1]; Могильний С. та ін. [6], в яких надана оцінка економічної ефективності землекористування та автоматизації процесів землеустрою через інтеграцію багаторівневої геопросторової інформації. Окрему увагу в роботі Ямелинець Т. [12] приділено інформаційному

моделюванню складних природно-техногенних територіальних систем, де використання геодезичних методів дозволяє не лише фіксувати та описувати просторові зміни, а й передбачати довгострокові наслідки антропогенного тиску та кліматичних трансформацій. Незважаючи на наявність значного наукового доробку, сучасний науковий дискурс досі не має узгодженого підходу щодо систематизації та практичної реалізації комплексного моніторингу земель в умовах зміни клімату, що створює потребу в подальших міждисциплінарних дослідженнях. Зокрема, актуальним залишається питання інтеграції геодезичних і екологічних у єдину прогностичну платформу, яка могла б стати інструментом для формування політики сталого управління земельними ресурсами країни.

Мета статті – дослідити практичну базу використання сучасних геодезичних методів у системі моніторингу та прогнозування стану земельних ресурсів в умовах кліматичних змін.

Завдання дослідження:

- виявити можливості геодезичних технологій для фіксації просторових змін у природно-техногенних ландшафтах;
- оцінити ефективність цифрових моделей рельєфу у задачах моніторингу та прогнозування деградації ґрунтів;
- обґрунтувати технологічну схему інтеграції даних ДЗЗ, геодезичних вимірювань і аерофотознімання у єдину систему просторового аналізу;
- запропонувати методологію імітації аерофотознімання як інструменту підвищення точності геодезичного моніторингу земель.

Виклад основного матеріалу. Констатація факту кліматичних трансформацій, що дедалі інтенсивніше впливають на динаміку природних процесів, формує необхідність у створенні та підтриманні високоточних геодезичних систем, які забезпечують просторову достовірність і аналітичну глибину прогнозування стану земельних ресурсів. Геодезична основа геоінформаційного забезпечення, яка включає в себе сукупність цифрових картографічних матеріалів, зведених до єдиної координатної системи та сформованих відповідно до уніфікованих принципів опису й відображення просторових об'єктів, відіграє ключову роль у формуванні ефективної системи моніторингу й адаптивного управління землекористуванням (рис. 1.) [7, с. 98].

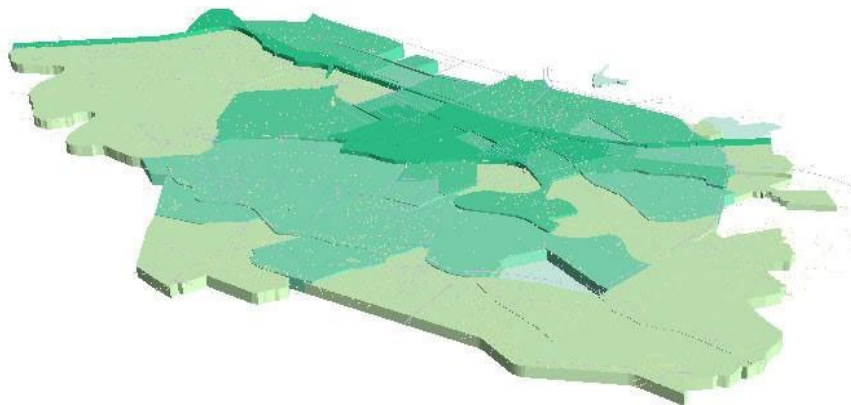


Рисунок 1 – Тривимірна модель оцінювального зонування земельних ресурсів з урахуванням просторових відмінностей (побудовано на основі [9])

Figure 1 – Three-dimensional model of land resources assessment zoning taking into account spatial differences (based on [9])

З огляду на те, що процес створення такої геодезично-орієнтованої бази є надзвичайно ресурсомістким та потребує значних фінансових, технічних і кадрових витрат, її економічна доцільність виправдана лише за умови регулярного оновлення даних та безперервного контролю за змінами параметрів земельних ділянок у просторі й часі. Саме геодезія, як наука і практична діяльність,

забезпечує фундамент для підтримки системи в актуальному стані, дозволяючи оперативно фіксувати просторові деформації, зміни меж земель, зсуви, ерозійні процеси та інші прояви екологічної дестабілізації, зумовленої зміною клімату. У межах сучасних досліджень, що стосуються підвищення ефективності просторового аналізу в умовах кліматичних змін, особливе значення набуває розробка мультимасштабних тривимірних моделей, здатних візуалізувати та структурувати складні дані про стан земельних ресурсів на основі геодезичних вимірювань [21]. Запропоновані геодезично орієнтовані підходи до побудови тривимірних когнітивних карт дають змогу не лише фіксувати територіальні зміни, а й прогнозувати трансформації у структурі землекористування на основі низки просторових та екологічних індикаторів.

Перший із розглянутих варіантів візуалізації, це так звана «карта-призма», що поєднує геодезичну точність і візуальну виразність для просторового моделювання зон однорідного стану чи вартості земельних ділянок, включаючи їх вертикальний вимір у межах одного показникового діапазону. Така карта не лише окреслює межі зон, а й за допомогою колірної палітри, що відповідає певним рівням оцінки, дозволяє інтегрувати додаткові параметри як то щільність інфраструктури, транспортну доступність, віддаленість до соціальних об'єктів, що у поєднанні з геодезичними координатами забезпечує високу точність при аналізі територіальної нерівномірності розвитку земель (рис. 2.) [4, с. 20].

Другий метод, який активно інтегрується в геодезичну практику прогнозування, ґрунтується на побудові тривимірних об'ємних діаграм безпосередньо в структурі картографічного простору. Такі діаграми дають змогу досліднику одночасно оцінити взаємозв'язок кількох чинників, що впливають на стан земельних ресурсів, включно з антропогенними впливами та природними характеристиками ділянки. В умовах зміни клімату, коли часовий фактор набуває критичного значення, візуалізація за допомогою вертикальних стовпців: параметрів рельєфу, вологості ґрунту, щільності рослинного покриву та забезпечує багатовимірне геодезичне представлення динаміки змін тощо [3, с. 261].

Третій спосіб тривимірного картографування також базується на створенні об'ємних графіків, однак у цьому випадку йдеться про побудову складених діаграм, де кожен сегмент відображає питомий внесок конкретного фактора у загальний показник – рівень деградації ґрунтів чи зниження продуктивності землі.

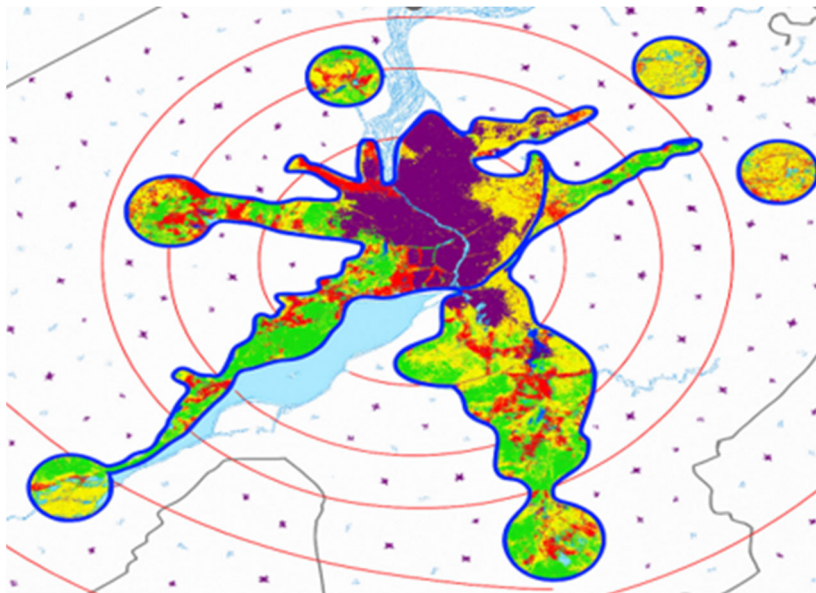


Рисунок 2 – Когнітивне оцінювальне зонування території з урахуванням просторових факторів землекористування [16]

Figure 2 – Cognitive evaluative zoning of the territory taking into account spatial factors of land use [16]

Для уніфікації просторових параметрів і забезпечення порівнюваності, значення приводяться до єдиної шкали, наприклад, у вигляді відсотків, що відкриває можливості для стандартизованого аналізу впливів різної природи. У межах здійснення прогнозування та моніторингу стану земельних ресурсів в умовах глобальних кліматичних змін особливу роль відіграють геодезичні методи, що забезпечують точну просторову фіксацію та відображення трансформацій природно-техногенних територій. Одним із ключових напрямів такої діяльності є автоматизована векторизація контурів земельних об'єктів за результатами дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), яка здійснюється з використанням алгоритмів класифікації [5, с. 204]. У контексті зміни клімату, яка суттєво впливає на характер функціонування природно-техногенних територіальних комплексів, зростає значення створення баз геодезично узгоджених даних, які дозволяють відстежувати динаміку змін у стані земельних ресурсів (рис. 3.).

Слід зазначити, що подібні комплекси часто мають нормативно визначені параметри допустимих навантажень, екологічної стійкості та граничних концентрацій забруднюючих речовин, які вказані у чинних законодавчих та санітарних документах. Отже, моніторинг таких територій не повинен обмежуватись лише фіксацією змін, а має включати геодезично точне прогнозування сценаріїв їх подальшого використання та впливу на екологічну рівновагу. Геодезія, у поєднанні з геоінформаційними технологіями та даними дистанційного зондування, створює підґрунтя для формування розгалужених баз даних, які охоплюють інформацію з різних часових періодів. Саме ці бази слугують основою для побудови моделей, здатних імітувати майбутні зміни та виявляти потенційні ризики для земельного фонду. Відповідно, запропоновані технічні рішення дали змогу розробити технологічну схему геоінформаційного моніторингу стану територій, орієнтовану на практичне застосування інструментів високоточної геодезії (рис. 4.) [11, с. 352].

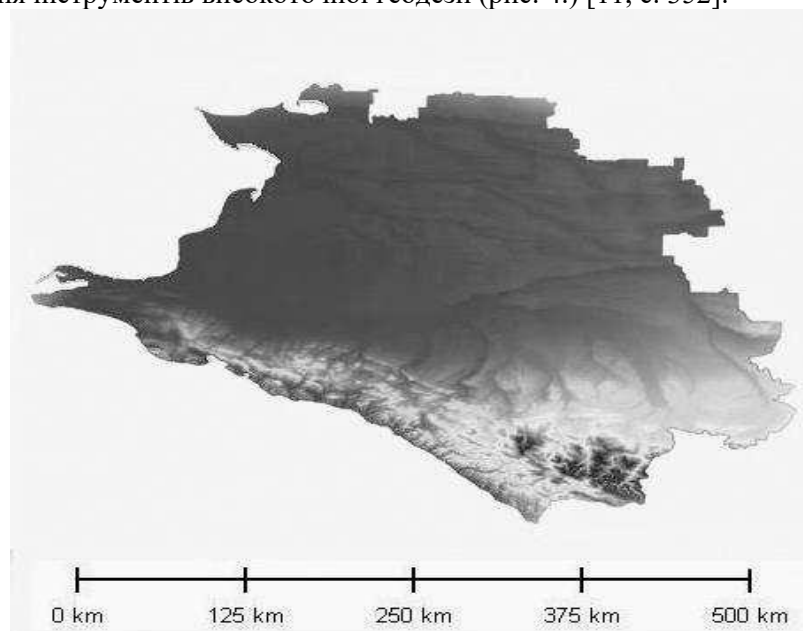


Рисунок 3 – Цифрова модель рельєфу (ЦМР) для просторової оцінки стану земельних ресурсів в умовах кліматичних змін [9]

Figure 3 – Digital Elevation Model (DEM) for spatial assessment of land resources under climate change conditions [9]

Запропонована схема базується на принципах інтеграції просторово-координованої інформації, модулів оцінювання змін, геодезичних моделей та елементів цифрової обробки знімків, що у сукупності забезпечують раціональне використання земельних ресурсів з урахуванням екологічних обмежень та чинників кліматичної нестабільності. Крім того, наведена схема орієнтована на

досягнення цілей сталого розвитку територій із суворим дотриманням принципів екологічної безпеки, мінімізації ризиків техногенного навантаження та впровадження адаптивного підходу до управління землекористуванням.

Оцифрування відсканованих картографічних джерел здійснювалося з використанням програмного середовища ArcMap, яке відзначається зручністю у користуванні та необхідною функціональністю для подібного роду завдань. У процесі оцифрування було сформовано кілька тематичних шарів, зокрема шар рельєфу, що містить горизонталі, шар гідрографії, шар з елементами орографії, а також окремий шар, що відображає ерозійно небезпечні ділянки, зокрема яри, які відіграють важливу роль у побудові цифрової моделі рельєфу (ЦМР) як індикатори різкої зміни морфології місцевості.



Рисунок 4 – Просторове моделювання змін рельєфу кар'єру за результатами геодезичного лазерного сканування місцевості [17]

Figure 4 – Spatial modeling of quarry relief changes based on the results of geodetic laser scanning of the area [17]

Побудова самої ЦМР здійснювалась у середовищі ArcMap із застосуванням модуля 3D Analyst у форматі TIN-моделі (Triangulated Irregular Network), яка дозволяє з високою просторовою точністю відтворити рельєф місцевості. Згенеровану модель можна подальше візуалізувати як у ArcMap, так і у спеціалізованому візуалізаційному середовищі ArcScene, що особливо актуально для геодезичних досліджень, орієнтованих на моделювання просторових змін у геоструктурі земель (рис. 5.) [20].

З метою досягнення максимальної реалістичності цифрової моделі рельєфу виконувалося її текстурювання, для чого доцільно використовувати космічні знімки високої та надвисокої роздільної здатності, зокрема такі джерела, як SPOT, FORMOSAT, IKONOS, QuickBird, EROS. Зазначені супутникові системи надають можливість виявлення навіть дрібномасштабних елементів земної поверхні, що дозволяє створити деталізовані макетні зображення, придатні для геодезичних і картографічних завдань у сфері моніторингу земель [18, с. 259].

Ключовим етапом для коректної просторової прив'язки є маркування опорних і контрольних точок, що дає змогу сформувати каталог координат з точними висотними відмітками. У межах даного дослідження в середовищі ArcMap було позначено 10 контрольних точок, висоти яких були визначені на основі побудованої ЦМР, що гарантує геодезичну точність при подальших просторових обчисленнях. Для створення умов, максимально наближених до аерофотознімання, у графічному редакторі Photoshop було змодельовано рамку, яка імітує межі реального знімка [10, с. 417]. Основною перевагою такої штучно створеної рамки є відсутність похибок у позиціонуванні координатних міток, оскільки вони розташовані точно по центру кожної сторони знімка, а відстані між протилежними мітками є фіксованими та заздалегідь відомими, що надзвичайно важливо для геодезичного калібрування (рис. 6.).

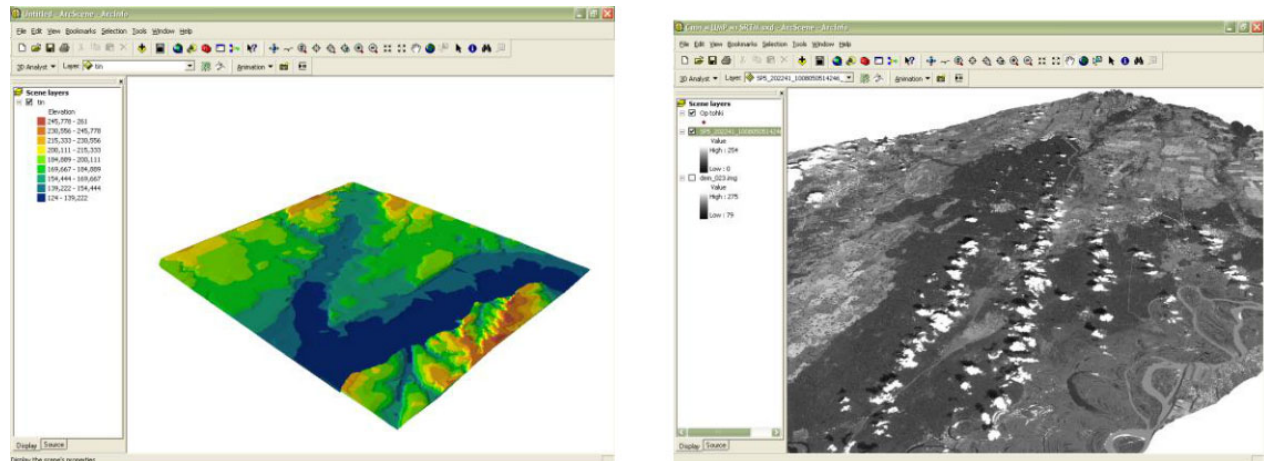


Рисунок 5 – (а) Класифікована та (б) текстурована цифрова модель рельєфу (ЦМР), створена в середовищі ArcGIS для просторового аналізу стану земельних ресурсів [16]

Figure 5 – (a) Classified and (b) textured digital elevation model (DEM) created in ArcGIS for spatial analysis of land resources status [16]



Рисунок 6 – Побудова профілю рельєфу місцевості на основі геодезичних координат з використанням супутникового знімка та цифрової моделі висот [14]

Figure 6 – Construction of a terrain profile based on geodetic coordinates using a satellite image and a digital elevation model [14]

Подібна генералізація є надзвичайно важливою у зв'язку з динамічними змінами у співвідношенні категорій земель, зокрема між землями населених пунктів і сільськогосподарськими угіддями, що зумовлено як інфраструктурною експансією, так і зміщенням акцентів інвестиційної привабливості внаслідок екологічних та кліматичних викликів. Завдяки геодезичному аналізу, який забезпечує просторову точність та можливість фіксації змін у межах територіальних утворень, здійснюється побудова ієрархічної структури оцінювання просторового розвитку, яка реалізується поетапно. На першому рівні виконується аналіз стану земельного фонду в межах адміністративних районів, що дозволяє зафіксувати загальні тенденції трансформації землекористування на базовому рівні. Далі, отримані дані деталізуються на рівні громади, де геодезичні методи дають змогу врахувати специфіку локальних особливостей у зміні рельєфу, деградації ґрунтів, або розширенні антропогенно модифікованих ділянок.

На наступному етапі проводиться аналіз на рівні регіонів (суб'єктів країни), що дозволяє інтегрувати просторові дані у стратегічне планування землекористування з урахуванням ризиків, пов'язаних із кліматичними змінами. Завершальним рівнем генералізації є формування комплексної аналітичної картини для конкретної території дослідження, яка може виступати прикладом території з багаторівневою трансформацією земельних ресурсів під впливом соціально-економічних і природно-кліматичних факторів [22].

Безпосередньо процес імітації аерофотознімання було реалізовано в ArcScene на основі попередньо розрахованих параметрів положення віртуальної камери, які відповідали характеристикам реального знімання. У результаті моделювання було створено два маршрути по шість знімків кожен, що відповідає умовно ідеальному випадку аерофотознімання. Кожен макет мав розмір 4000x4000 пікселів. З технічної точки зору це потребувало значного обсягу оперативної пам'яті, зокрема збільшення об'єму файлу підкачки операційної системи до максимально можливого рівня. Фокусна відстань знімків складала 127 мм, масштаб моделювання 1:150000, при цьому забезпечувалось перекриття на рівні 76% і поперечне 54%, що відповідає вимогам до стереознімання в геодезичній практиці (рис. 7.).

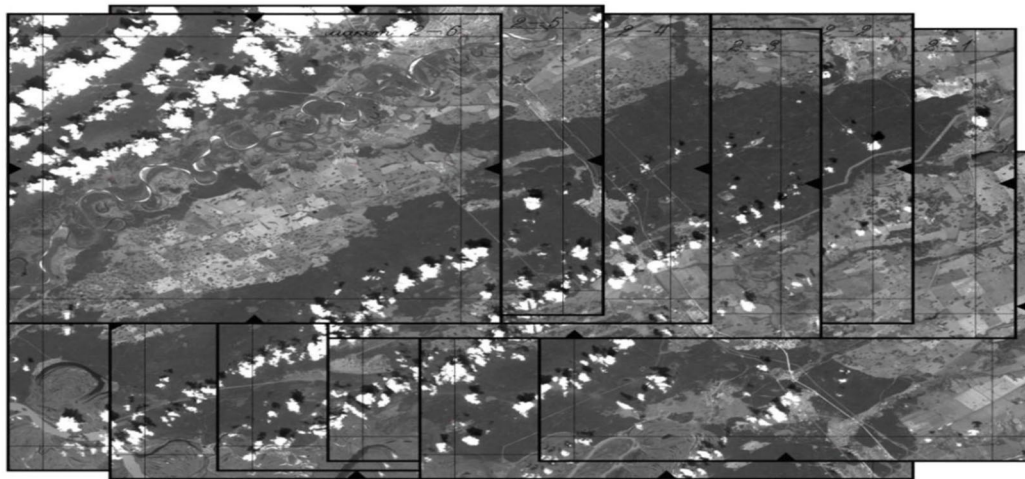


Рисунок 7 – Блок макетних знімків, сформований для моделювання аерофотознімання з метою геодезичного моніторингу земельних ресурсів [19]

Figure 7 – Block of mock-up images generated for modeling aerial photography for the purpose of geodetic monitoring of land resources [19]

Таким чином, зазначений підхід дозволяє з високим ступенем достовірності імітувати аерофотознімання та формувати цифрові моделі місцевості, які можуть бути ефективно використані для комплексного моніторингу та прогнозування змін у структурі земельних ресурсів під впливом кліматичних чинників. Підсумковий результат геодезичного аналізу, здійсненого за допомогою

генералізації кадастрових та інших геопросторових даних, формується як сукупність обробленої первинної інформації, агрегованих баз даних і структурованих показників з офіційних звітів щодо стану земель. Такий підхід дозволяє не лише здійснювати оперативний моніторинг земельного фонду, а й вибудовувати адаптивні сценарії його розвитку в умовах змін клімату, що є ключовим для забезпечення екологічної стійкості та планування використання територій у довгостроковій перспективі.

Висновки. У ході проведеного дослідження було встановлено, що зміни клімату виступають як ключовий чинник, що системно порушує стабільність земельних ресурсів, що зумовлює нагальну потребу у розробці науково обґрунтованих геодезичних механізмів для просторового моніторингу та прогнозування стану територій. Виявлено, що саме застосування геодезичних методів і сучасних цифрових технологій вимірювань дозволяє створювати високоточні інформаційні системи, які не тільки фіксують поточні зміни у використанні земель, а й моделюють їхній розвиток з урахуванням можливих кліматичних ризиків. Проаналізовано ефективність використання тривимірних когнітивних моделей у системі моніторингу земельних ресурсів, зокрема таких, що поєднують точну геодезичну основу, візуалізацію та комплексний аналіз багатшарових просторових даних.

Досліджено практичну значущість геодезичних векторних моделей, побудованих на основі матеріалів ДЗЗ. Вони дають змогу детально фіксувати зміни в природно-техногенних територіальних комплексах. Обґрунтовано важливість використання ЦМР, які забезпечують повне уявлення про вертикальний рельєф поверхні та її деформації, що особливо актуальним стає при дослідженні стану земельних ресурсів, які схильні до деградації, ерозії та гідрологічних зсувів, викликаних змінами клімату. Запропоновано технологічну модель геоінформаційного моніторингу, яка базується на об'єднанні даних дистанційного зондування, геодезичних моделей та цифрових аерофотознімків, з метою проведення фіксації просторових змін в режимі багаточасової динаміки. Запропоновано використання класифікованих і текстурованих моделей рельєфу, побудованих у середовищі ArcGIS, як інструментів оперативного аналізу та прогнозування стану земель у регіонах з нестабільним кліматом.

Оцінено ефективність ієрархічної генералізації просторових даних у межах багаторівневої структури, від локального до регіонального рівня, що формує масштабованість аналітичних процесів та можливість розробки стратегічних сценаріїв сталого використання земель. Обґрунтовано, що такий підхід дозволяє ефективно поєднати вимоги до геодезичної точності з планувальними та екологічними задачами, створюючи основу для адаптивного управління земельними ресурсами в умовах глобального потепління, деградації природних ландшафтів і зростання антропогенного навантаження.

Перелік посилань

1. Вертегел С., Вишняков В., Гуреля В., Сластін С., Піскун О., Харченко С., Мороз В. Розробка методики створення і оновлення картографічної основи з використанням космічних знімків від супутників «SUPER VIEW-1». Екологічна безпека та природокористування. 2022. №41(1). с. 89–101. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.1.89-101>
2. Домбровська О. А. Інтелектуальна власність у сфері землеустрою, геодезії та кадастру. Journal of Management, Economics and Technology. 2024. № 2. С. 120. DOI: <https://doi.org/10.69803/2312-3427-2024-2-120>
3. Лашко С. П., Шелковська І. М., Міхно П. Б., Козарь В. І. Геодезичний і дистанційний моніторинг земель, відведених під сонячні електростанції. Технічні науки та технології. 2021. № 2(24). С. 257–264. DOI: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-2\(24\)-257-264](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-2(24)-257-264)
4. Македон В. В., Байлова О. О. Планування і організація впровадження цифрових технологій в діяльність промислових підприємств. Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія «Економічні науки». 2023. Випуск 47. С. 16-26. DOI: [10.32999/ksu2307-8030/2023-47-3](https://doi.org/10.32999/ksu2307-8030/2023-47-3)
5. Мамонов К. А., Паламар А. Ю., Вяткін Р. С. Просторове забезпечення використання нерухомості регіонів для розробки геоінформаційних моніторингових карт. Геодезія, картографія і аерофотознімання. 2024. № 115(2). С. 199-206. DOI: <https://doi.org/10.33744/0365-8171-2024-115.2-199-206>

6. Могильний С. П., Хайнюс Д. В., Винограденко С. В., Сопов Д. О. Геодезичний моніторинг полезахисних лісосмуг. *Ukrainian Journal of Applied Economics and Technology*. 2023. Т. 8, № 1. С. 226–232. DOI: <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2023-1-33>
7. Позняк С. П. Актуальні проблеми ґрунтознавства і географії ґрунтів. Львів: ЛНУ імені Івана Франка. 2017. 272 с.
8. Ситник О., Безлатня Л. Аналіз сучасних методів і засобів для обстеження та виконання великомасштабного геодезичного знімання меліорованих земель. *Природничі науки та природокористування*. 2024. Вип. 1. С. 112–113.
9. Цифрова модель рельєфу SRTM. URL: <http://dds.cr.usgs.gov/srtm>.
10. Чувпило В., Шевчук С., Гапон С., Нагорна С., Куришко, Р. Кадастрові системи та землеустрій у містобудівному проектуванні: оптимізація землекористування та міського планування. *Містобудування та територіальне планування*. 2023. №(84). С. 407–423. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2023.84.407-423>.
11. Шевчук С. М., Прокопенко Н. І., Рожі Т. А. Аналіз використання геодезичних даних при плануванні та моніторингу агроландшафтів: оптимізація землекористування та охорони природи. *Кадастр, землеустрій та управління земельними ресурсами*. 2024. № 7. С. 445–458. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2024.7.445-458>.
12. Ямелинець Т. Інформаційне ґрунтознавство: монографія. Львів : ЛНУ ім. Івана Франка, 2022. 352 с.
13. Bieliatynskiy A., Sorokina K., Mamonov K., Kovalenko L. Geoeological monitoring of regional land use: definition and directions of formation. *E3S Web of Conferences*. 2023. Vol. 452. P. 03002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202345203002>
14. EarthExplorer. 2024. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (дата звернення: 01.06.2025)
15. Fey C., Rechberger C., Voit K. Remote sensing-based deformation monitoring and geological characterisation of an active deep-seated rock slide (Tellakopf/Cima di Tella, South Tyrol, Italy). *Bull Eng Geol Environ*. 2023. №82. pp. 85. <https://doi.org/10.1007/s10064-023-03101-x>
16. GIS for Land Administration – Esri. URL: www.esri.com/industries/cadastre/ (дата звернення: 01.06.2025)
17. Google Earth. URL: <https://earth.google.com/web/?hl=uk> (дата звернення: 01.06.2025)
18. Hablovskiy B., Hablovskaya N., Shtohryn L., Kasiyanchuk D., Kononenko M. The Long-Term Prediction of Landslide Processes within the Precarpathian Depression of the Cernivtsi Region of Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*. 2023. №24(7). pp. 254-262. <https://doi.org/10.12911/22998993/164753>.
19. Landsat 8. URL: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8>
20. Makedon V., Kostyshyna T., Tuzhykina O., Stepanova L., Filippov V. Ensuring the Efficiency of Integration Processes in the International Corporate Sector on the Basis of Strategic Management. *Academy of Strategic Management Journal*. 2019. Volume 18(SI1). URL: <https://www.abacademies.org/articles/Ensuring-the-efficiency-of-integration-processes-in-the-international-corporate-sector-on-the-basis-of-strategic-management-1939-6104-18-SI-1-452.pdf>
21. Makedon V., Myachin V., Plakhotnik O., Fisunenko N., Mykhailenko O. Construction of a model for evaluating the efficiency of technology transfer process based on a fuzzy logic approach. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. no 2(13(128)). p. 47-57. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.300796>
22. Woo K. S., Worboys G., Geological monitoring in protected areas, *International Journal of Geoheritage and Parks*. 2019. Volume 7. Issue 4. pp. 218-225. <https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2019.12.004>
- Xing J., Sun S., Huang Q., Chen Z., Zhou Z. Application of Geoinformatics in Forest Planning and Management. *Forests*. 2024. 15(3). pp. 439. <https://doi.org/10.3390/f15030439>

GEODETIC METHODS OF ASSESSMENT AND PREDICTIVE MONITORING OF LAND RESOURCES IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE

Serbov Mykola G., Doctor of Economic Sciences, Professor, Dean of the Faculty of Hydrometeorology and Ecology, Odesa I.I. Mechnikov National University, Odesa, Ukraine, e-mail: serbovng@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-0220-6745>

Shemiakin Mykhailo V., Candidate of Agricultural Sciences, Assistant Professor, Deputy Head of the Department, Uman National University, Uman, Ukraine, e-mail: misha.uman@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3621-1446>

Prokopenko Nataliia I., Candidate of Economic Science, Associate Professor of the Department of Geodesy and Land Management, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine, e-mail: bilanp79@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5046-6122>

Summary. The article is devoted to the development of geodetic methods and the creation of high-precision systems for monitoring land resources in the context of climate change. Vaughn analyzes approaches to forming a geoinformation basis for adaptive management of land use. The relevance of the research is due to intense climatic transformations that influence natural processes and require precise tools for predicting the state of the land. Geodetic systems will ensure the spatial reliability of data necessary for effective resource management in the face of environmental instability. Meta-research focuses on the development of geodesically oriented methods for creating trivariate models and cognitive maps for analyzing and predicting changes in land resources. The objectives include improved accuracy of monitoring and creation of a basis for adaptive planning of land development. The research includes geodetic measurements, remote sensing data, and software from ArcMap, and ArcScene. To create digital terrain models (DEM), a TIN model was compiled, and the texture was created based on high-quality satellite images (SPOT, QuickBird). Automated vectorization of contours was carried out using different classification algorithms. The obtained results include three-dimensional models of land zoning, using “prism maps” and volumetric diagrams that reflect the extent of activity and the dynamics of change. A technological scheme for geoinformation monitoring has been developed that integrates geodetic data to predict soil degradation and assess environmental risks. DEMs and layouts created in ArcScene ensure high accuracy of spatial analysis. Prospects for further research include improved automated vectorization systems and integration of human intelligence for processing geospatial data. The development of multiscale models and the expansion of databases will improve the accuracy of forecasts and optimize land management in the minds of climate change activists.

Key words: geodesy, land monitoring, digital relief model, climate change, forecasting, geoinformation technologies.

References

1. Vertel, S., Vyshniakov, V., Hurelia, V., Slastin, S., Piskun, O., Kharchenko, S., Moroz, V. (2022). Rozrobka metodyky stvorennia i onovlennia kartohrafichnoi osnovy z vykorystanniam kosmichnykh znimkiv vid suputnykiv «SUPER VIEW-1» [Development of a methodology for creating and updating a cartographic base using satellite images from “SUPER VIEW-1”]. *Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannia – Environmental Safety and Nature Management*, 41(1), 89–101. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.1.89-101> [in Ukrainian]
2. Dombrovska, O. A. (2024). Intelektualna vlasnist u sferi zemleustroiu, heodezii ta kadastru [Intellectual property in the field of land management, geodesy and cadastre]. *Journal of Management, Economics and Technology*, 2, 120. <https://doi.org/10.69803/2312-3427-2024-2-120> [in Ukrainian]

3. Lashko, S. P., Shelkovska, I. M., Mikhno, P. B., Kozar, V. I. (2021). Heodezychnyi i dystantsiyni monitorynh zemel, vidvedenykh pid soniachni elektrostantsii [Geodetic and remote monitoring of lands allocated for solar power plants]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical Sciences and Technologies*, 2(24), 257–264. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-2\(24\)-257-264](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-2(24)-257-264) [in Ukrainian]
4. Makedon, V. V., Bailova, O. O. (2023). Planuvannia i orhanizatsiia vprovadzhennia tsyfrovyykh tekhnolohii v diialnist promyslovykh pidpriemstv [Planning and organizing the implementation of digital technologies in the activities of industrial enterprises]. *Naukovyi visnyk Khersonskoho derzhavnoho universytetu. Seriiia "Ekonomichni nauky" – Scientific Bulletin of Kherson State University. Series "Economic Sciences"*, 47, 16–26. <https://doi.org/10.32999/ksu2307-8030/2023-47-3> [in Ukrainian]
5. Mamonov, K. A., Palamar, A. Yu., Viatkin, R. S. (2024). Prostorove zabezpechennia vykorystannia nerukhomosti rehioniv dlia rozrobky heoinformatsiinykh monitorynhovykh kart [Spatial support for the use of regional real estate for the development of geoinformation monitoring maps]. *Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznmannia – Geodesy, Cartography and Aerial Photography*, 115(2), 199–206. <https://doi.org/10.33744/0365-8171-2024-115.2-199-206> [in Ukrainian]
6. Mohylnyi, S. P., Khainius, D. V., Vynohradenko, S. V., Sopov, D. O. (2023). Heodezychnyi monitorynh polezakhysnykh lisosmuh [Geodetic monitoring of protective forest belts]. *Ukrainian Journal of Applied Economics and Technology*, 8(1), 226–232. <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2023-1-33> [in Ukrainian]
7. Pozniak, S. P. (2017). Aktualni problemy hruntoznavstva i heohrafii hruntiv [Topical issues of soil science and soil geography]. Lviv: LNU imeni Ivana Franka. 272 p. [in Ukrainian]
8. Sytnyk, O., Bezlatnia, L. (2024). Analiz suchasnykh metodiv i zasobiv dlia obstezhennia ta vykonannia velykomasshtabnoho heodezychnoho znimannia meliorovanykh zemel [Analysis of modern methods and tools for surveying and conducting large-scale geodetic mapping of reclaimed lands]. *Pryrodnychi nauky ta pryrodokorystuvannia – Natural Sciences and Nature Management*, 1, 112–113. [in Ukrainian]
9. Tsyfrova model relieufu SRTM [SRTM digital elevation model]. URL: <http://dds.cr.usgs.gov/srtm> [Accessed: 01.06.2025].
10. Chuvpylo, V., Shevchuk, S., Hapon, S., Nahorna, S., Kuryshko, R. (2023). Kadastrivi systemy ta zemleustrii u mistobudivnomu proektuvanni: optymizatsiia zemlekorystuvannia ta miskoho planuvannia [Cadastral systems and land management in urban planning: optimization of land use and urban development]. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia – Urban Development and Territorial Planning*, (84), 407–423. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2023.84.407-423> [in Ukrainian]
11. Shevchuk, S. M., Prokopenko, N. I., Rozhi, T. A. (2024). Analiz vykorystannia heodezychnykh danykh pry planuvanni ta monitorynhu ahrolandshaftiv: optymizatsiia zemlekorystuvannia ta okhorony pryrody [Analysis of the use of geodetic data in the planning and monitoring of agro-landscapes: optimization of land use and environmental protection]. *Kadastr, zemleustrii ta upravlinnia zemelnymy resursamy – Cadastre, Land Management and Land Resources Administration*, 7, 445–458. <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2024.7.445-458> [in Ukrainian]
12. Yamelinets, T. (2022). Informatsiine hruntoznavstvo: monohrafiia [Information soil science: monograph]. Lviv: LNU im. Ivana Franka. 352 p. [in Ukrainian]
13. Bieliatynskyi, A., Sorokina, K., Mamonov, K., Kovalenko, L. (2023). Geoecological monitoring of regional land use: definition and directions of formation. *E3S Web of Conferences*, 452, 03002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202345203002> [in English]

14. EarthExplorer. (2024). URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/> [Accessed: 01.06.2025].
15. Fey, C., Rechberger, C., Voit, K. (2023). Remote sensing-based deformation monitoring and geological characterisation of an active deep-seated rock slide (Tellakopf/Cima di Tella, South Tyrol, Italy). Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 82, 85. <https://doi.org/10.1007/s10064-023-03101-x> [in English]
16. GIS for Land Administration – Esri. URL: <https://www.esri.com/industries/cadastre/> [Accessed: 01.06.2025]. [in English]
17. Google Earth. URL: <https://earth.google.com/web/?hl=uk> [Accessed: 01.06.2025].
18. Hablovskiy, B., Hablovskaya, N., Shtohryn, L., Kasiyanchuk, D., Kononenko, M. (2023). The Long-Term Prediction of Landslide Processes within the Precarpathian Depression of the Cernivtsi Region of Ukraine. Journal of Ecological Engineering, 24(7), 254–262. <https://doi.org/10.12911/22998993/164753> [in English]
19. Landsat 8. URL: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8> [in English]
20. Makedon, V., Kostyshyna, T., Tuzhylkina, O., Stepanova, L., Filippov, V. (2019). Ensuring the efficiency of integration processes in the international corporate sector on the basis of strategic management. Academy of Strategic Management Journal, 18(SI1). <https://www.abacademies.org/articles/Ensuring-the-efficiency-of-integration-processes-in-the-international-corporate-sector-on-the-basis-of-strategic-management-1939-6104-18-SI-1-452.pdf> [in English]
21. Makedon, V., Myachin, V., Plakhotnik, O., Fisunenko, N., Mykhailenko, O. (2024). Construction of a model for evaluating the efficiency of technology transfer process based on a fuzzy logic approach. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2(13(128)), 47–57. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.300796> [in English]
22. Woo, K. S., Worboys, G. (2019). Geological monitoring in protected areas. International Journal of Geoheritage and Parks, 7(4), 218–225. <https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2019.12.004> [in English].

Дата надходження до редакції 12.06.2025.