

*Шевчук Сергій Миколайович,*  
доктор географічних наук, професор  
*Домашенко Галина Тимофіївна,*  
кандидат технічних наук, доцент  
*Куришко Роман Валентинович*

Полтавський державний аграрний університет  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8155-8326>

Полтавський державний аграрний університет  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5783-6365>

Полтавський державний аграрний університет  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0405-8130>

## ГЕОДЕЗИЧНИЙ МОНІТОРИНГ ПРИ РОЗРОБЦІ КОМПЛЕКСНИХ ПЛАНІВ ПРОСТОРОВОГО РОЗВИТКУ

*Метою статті* є розробка та дослідження системи визначення комплексних планів просторового становища та геометричних характеристик з використанням геодезичних методів. Поставлені в роботі задачі вирішуються аналізом бази супутникових геодезичних та інерційних систем вимірів.

*Методика.* Застосування супутникових технологій, які дозволяють визначати просторове положення в автоматичному режимі (знімання в русі), є пріоритетним напрямком для вирішення завдань підвищення безпеки та ефективності геодезичної роботи в повному обсязі відповідно до стратегічного напрямку науково-технічного розвитку.

*Результати.* Починаючи з 50-х років ХХ століття в геодезії спостерігається інтенсивний процес електронізації та автоматизації. Електронізація у геодезії дозволила удосконалювати технології виконання геодезичних робіт, домогтися більш високої продуктивності при підвищенні точності вимірювань. В принципі ці процеси та проблеми були внутрішніми для топографо-геодезичного виробництва і не торкалися користувачів безпосередньо. Першим відмінним від традиційних топографічних карт та планів продуктом стали цифрові моделі місцевості. Перша така модель земної поверхні була створена в 1957 р. у США в Массачусетському технологічному інституті. Вона являла собою модель рельєфу земної поверхні та призначалася для проектування автошляхів, споруджуваних об'єктів шляхом оптимізації проектних рішень.

З розвитком електронних обчислювальних машин та методів обробки даних почали з'являтися нові форми подання інформації про земну поверхню. На даний час вивчення та дослідження навколишнього природного середовища досить тісно пов'язані з використанням географічних інформаційних систем та різноманітним видом геоінформаційних ресурсів: електронно-цифрових карт та баз просторових даних, ГІС-сервісів та безліч інших. Геоінформаційні програмні комплекси дозволяють обробляти потужний обсяг даних, отриманих в ході різних досліджень, а також упорядковувати і регулювати відомості, що мають просторову прив'язку. Описані різні геоінформаційні системи, такі як 3D-картографія та віртуальна реальність, яке дозволяє створювати більш наочні та зрозумілі уявлення географічної інформації. Геовізуалізація та тривимірне моделювання надають швидкий доступ до геоданих.

*Наукова новизна.* Обґрунтовано спільне використання супутникового та інерційного вимірювання для знімання, виконано теоретичне рішення обробки даних та запропоновано методику складання масштабних планів. Виконано оновлення інформаційної бази геодезична складова розробки комплексних планів.

*Практична значимість.* Отримані результати можна використати для розробки комплексних планів просторового розвитку з геодезичною складовою. Крім того, матеріали статті можуть бути використані в геодезичній та картографічній діяльності.

*Ключові слова:* комп'ютерні моделі, геодезична мережа, топографічні карти, дистанційне зондування, комплексний план, картографічний метод, геодезія.

*Shevchuk Serhii Mykolayovych,*  
Doctor of Geographic Sciences, Professor  
*Domashenko Halyna Tymofiyivna,*  
PhD of Technical Sciences, Associate Professor  
*Kuryshko Roman Valentynovych,*

Poltava State Agrarian University  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8155-8326>

Poltava State Agrarian University  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5783-6365>

Poltava State Agrarian University  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0405-8130>

## GEODETIC MONITORING IN THE DEVELOPMENT OF INTEGRATED SPATIAL DEVELOPMENT PLANS

*The purpose* of the article is the development and research of a system for determining complex plans of spatial location and geometric characteristics using geodetic methods. The tasks set in the work are solved by analyzing the database of satellite geodetic and inertial measurement systems.

*Method.* The application of satellite technologies, which allow determining the spatial position in automatic mode (shooting in motion), is a priority direction for solving the tasks of increasing the safety and efficiency of geodetic work in full in accordance with the strategic direction of scientific and technical development.

*The results.* Since the 1950s, an intensive process of electronicization and automation has been observed in geodesy. Electronicization in geodesy made it possible to improve the technologies of performing geodetic works, to achieve higher productivity while increasing the accuracy of measurements. In principle, these processes and problems were internal to topographic and geodetic production and did not affect users directly. The first product that differed from traditional topographic maps and plans was digital terrain models. The first such model of the Earth's surface was created in 1957 in the USA at the Massachusetts Institute of Technology. It was a model of the relief of the earth's surface and was intended for the design of highways, constructed objects by optimizing project solutions.

With the development of electronic computers and data processing methods, new forms of presenting information about the earth's surface began to appear. Currently, the study and research of the natural environment is closely related to the use of geographic information systems and various types of geo-information resources: electronic digital maps and spatial databases, GIS services and many others. Geo-informational software complexes allow you to process a large volume of data obtained during various studies, as well as organize and regulate information that has a spatial reference. Various geographic information systems, such as 3D cartography and virtual reality, are described, which allows creating more visual and understandable representations of geographic information. Geovisualization and 3D modeling provide quick access to geodata.

*Scientific novelty.* The joint use of satellite and inertial measurements for surveying is substantiated, a theoretical solution for data processing is performed, and a methodology for drawing up large-scale plans is proposed. The geodetic component of the development of complex plans has been updated.

*Practical significance.* The obtained results can be used to develop complex spatial development plans with a geodetic component. In addition, the materials of the article can be used in geodetic and cartographic activities.

*Keywords:* computer models, geodetic network, topographic maps, remote sensing, complex plan, cartographic method, geodesy.

*Постановка проблеми.* Починаючи з 1950 року в геодезії спостерігається інтенсивний процес електронізації та автоматизації. Електронізація у геодезії дозволила удосконалити технології виконання геодезичних робіт, домогтися більш високої продуктивності при підвищенні точності вимірювань. В принципі ці процеси та проблеми були внутрішніми для топографо-геодезичного виробництва і не торкалися користувачів безпосередньо. З розвитком електронних обчислювальних машин та методів обробки даних почали з'являтися нові форми подання інформації про земну поверхню.

Першим відмінним від традиційних топографічних карт та планів продуктом стали цифрові моделі місцевості. Перша така модель земної поверхні була створена в 1957 р. у США в Массачусетському технологічному інституті. Вона являла собою модель рельєфу земної поверхні та призначалася для проектування автошляхів. Хоча обробка даних існували на той час «більші» ЕОМ відрізнялася дуже високою вартістю, ці витрати перекривалися зниженням вартості споруджуваних об'єктів шляхом оптимізації проектних рішень [Шипулін, 2010].

З плином часу відбувався розвиток і освоєння елементної бази засобів обчислювальної техніки, які в десятки та сотні разів збільшили швидкість та обсяг оперативної пам'яті за одночасного зниження вартості машинного часу у тисячі разів. З іншого боку, відбувається накопичення знань у галузі розробки загального та спеціального програмного забезпечення, у тому числі в галузі методів геоінформаційного моделювання – методів створення комп'ютерних моделей земної поверхні. В даний час розвиток та впровадження нових методів збору, обробки, подання та використання топографо-геодезичної інформації (ТГІ) відбувається досить активно.

Переваги картографічного и будь-якого графічного способу представлення інформації про просторове положення об'єктів – у його наочності. Картографічне виробництво по своїй природі інформаційне. В процесі картографування матеріальні цінності не створюються. У масове виробництво топографо-геодезичних робіт увійшли електронні тахеометри та супутникові технології, міцно зайняли своє місце цифрові методи у фотограмметрії, все ширше застосовуються технології наземного та повітряного лазерного сканування.

*Аналіз останніх досліджень і публікацій.* Аналіз сучасних засобів та методів визначення просторового положення та контролю геометричних параметрів залізничної колії показує [Шипулін, 2014], що найбільш актуальними є комплексні рішення, що дозволяють проводити регулярну перевірку стану залізничної колії. У Німеччині, США, Канаді, Великобританії, Швейцарії, Японії та Китаї основним напрямком розвитку шляховимірювальних засобів є розширення функцій шляховимірювальників та збільшення числа вимірюваних параметрів насамперед шляхом визначення просторового становища об'єктів.

Для реалізації апаратно-програмного комплексу автором [Меліка, Шипулін, 2011], виконано такі дослідження:

– опорної геодезичної мережі (спеціальної залізничної реперної мережі);

- функціональних можливостей та точних характеристик використання ДПС при зніманні просторового становища залізничної колії;
- точні характеристики інерційних систем для визначення просторового становища шляху.

На думку авторів, основою для геодезичної технології є якісна цифрова модель місцевості (ЦММ), що включає цифрову модель ситуації (ЦМС) та цифрову модель рельєфу (ЦМР), які створюють у процесі інженерно-геодезичних розвідок. Однак у зарубіжній ідеології інформаційного моделювання етап інженерних пошуків прихований в етапі «Проектування» і, як правило, не описаний у літературі та нормативних документах. Хоча в останніх зарубіжних публікаціях і матеріалах підкреслюється важливість інженерних вишукувань на етапі проектування, геодезичного забезпечення будівельно-монтажних робіт та експлуатації будівель та споруд [Tiwari, Anuj and Kamal Jain. 2014, Zacharakis, Tsihrintzis, 2023, Lecours, Dolan, Micallef, Lucieer, 2016, MacMillan, Shary, 2009].

Численні публікації [Барановський, 2017, Лазоренко-Гевель, 2012, 2013], а також матеріали ресурсів Internet дозволяють говорити про досить широкі можливості застосування ГІС у вирішенні різних геоморфологічних завдань. Нижче ми наводимо деякі з них:

- візуалізація геоморфологічної інформації, виражена в створенні цифрових карт рельєфу (карти ізоліній, зображення рельєфа методом колірного фону), геоморфологічних карт; побудова гіпсометричних, геолого-геоморфологічних та інших профілів, розрізів;
- аналіз геоморфологічної інформації, виражений у створенні морфометричних карт крутості схилів, глибини та густоти розчленовування земної поверхні;
- моделювання та прогнозування геоморфологічних об'єктів, явищ і процесів (тривимірні моделі рельєфу, прогнозування екзогенних, техногенних процесів рельєфоутворення), що особливо важливо при еколого-геоморфологічних дослідженнях.

Р.Л. Воткінс [Watkins, 2021] пропонує застосування кластерного аналізу (від англ. cluster – скупчення) – процесу класифікації безлічі об'єктів. При проведенні досліджень туристично-рекреаційних територій компактне розташування ідентичних об'єктів утворює той чи інший кластер. Кластерний аналіз застосовується як до природних, так і до культурно-історичних ресурсів.

У [Beatus, Kundi, 2003] йдеться про використання ГІС в управлінні просторовою інформацією в усьому світі, зокрема й у Танзанії – країні, що розвивається. ГІС було запроваджено в Танзанії відповідно до світових розробок у галузі ІТ-додатків. У глобальному масштабі ГІС впливає на роботу та функції багатьох державних або приватних організацій завдяки своїй унікальній здатності обробляти просторові та непросторові дані, вона надає користувачеві механізм перегляду інформації за новими та зрозумілими шаблонами, що неможливо в інших інформаційних системах.

*Формування цілей статті.* Розробка та дослідження системи визначення комплексних планів просторового становища та геометричних характеристик з використанням геодезичних методів. Поставлені в роботі задачі вирішуються аналізом бази супутникових геодезичних та інерційних систем вимірів.

*Вклад основного матеріалу.* перехід на технології цифрового моделювання в будівництві тільки почався. Розроблено нормативні документи, визначаються технічними умови для впровадження інформаційного моделювання будівель [Зацерковний, Бурачек, Железняк, Терещенко, 2014], створюється державна інформаційна система «Держбудпортал».

Окремі сутності рельєфу розташовані на карті за правилами схеми, але нанесені відповідно до правил, які використовуються технологією ГІС (рис. 1). Для обробки та аналізу даних використовують Easy Trase (програма-векторизатор, призначена для перенесення графічної інформації з паперових носіїв у комп'ютер та обробки картографічних матеріалів для створення сучасних ГІС) та NextGIS QGIS.

У програмі NextGIS QGIS здійснюється процес формування растрового зображення місцевості рельєфу. Це зображення є важливою складовою 3D моделі місцевості. Чим точніше ми можемо відтворити модель просторового розвитку, тим більш реалістичною вийде 3D модель місцевості. Для початку роботи над створенням 3D моделі необхідно підготувати растрову сітку шляхом проведення інтерполяції (рис. 2). Для цього додається шар з координатами точок, отриманий у програмі Easy Trase у форматі CSV. Після додавання шару ми побачимо масив точок, представлених на екрані (рис. 3).

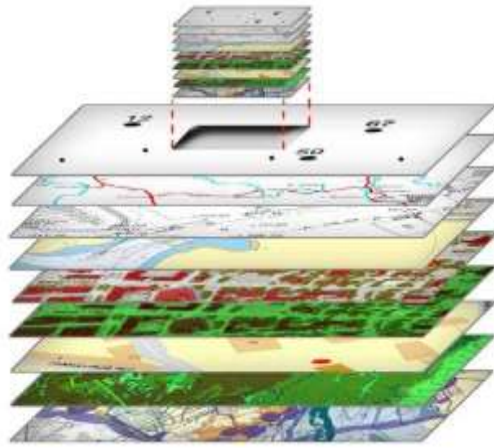


Рис. 1. Об'єднанні карти організацій в ГІС по шарах  
Складено за даними [Mondal, Khare, Kundu, Mukherjee, Mukhopadhyay, Mondal, 2017]

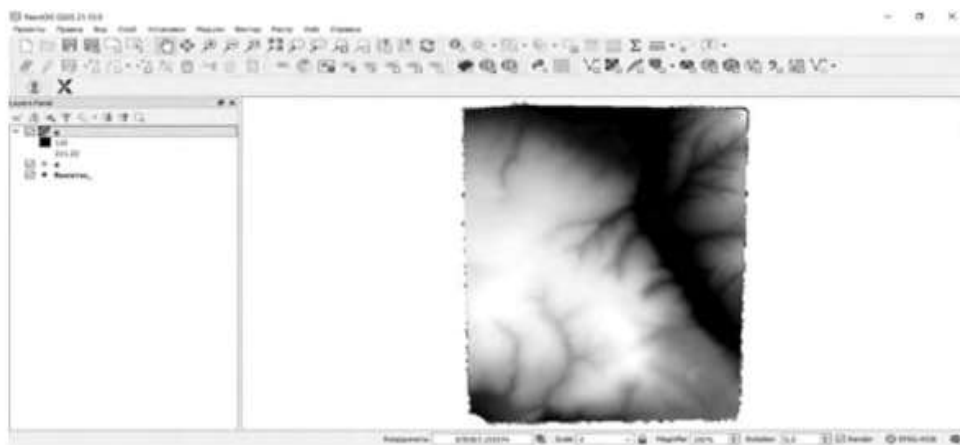


Рис. 2. Побудова інтерполюваної поверхні в програмі NextGIS QGIS

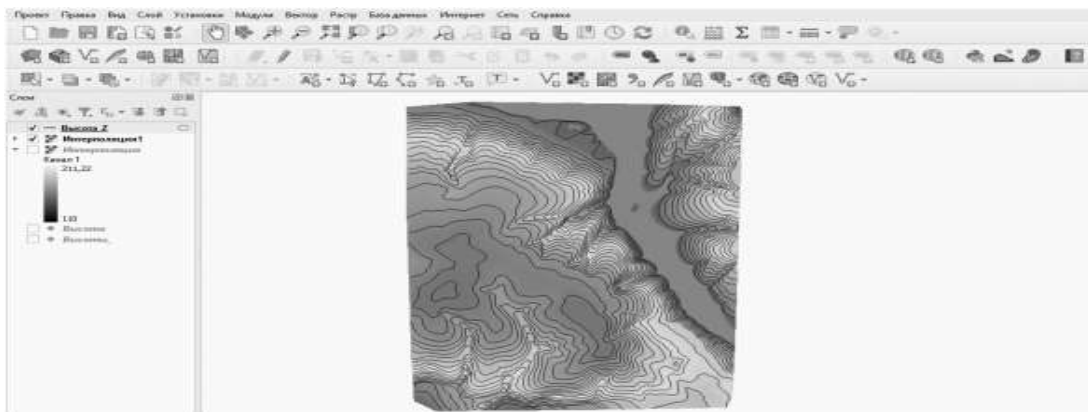


Рис. 3. Побудова ізоліній в програмі NextGIS QGIS

Основним способом зображення просторового розвитку на географічних картах є спосіб горизонталі. Для побудови ізоліній рельєфу QGIS є спеціальний модуль Contour. Джерелом стане цифрова модель карти. Так само для візуалізації рельєфу в програмі QGIS за допомогою модуля Profile Tool можна побудувати профіль комплексного плану (рис. 4).

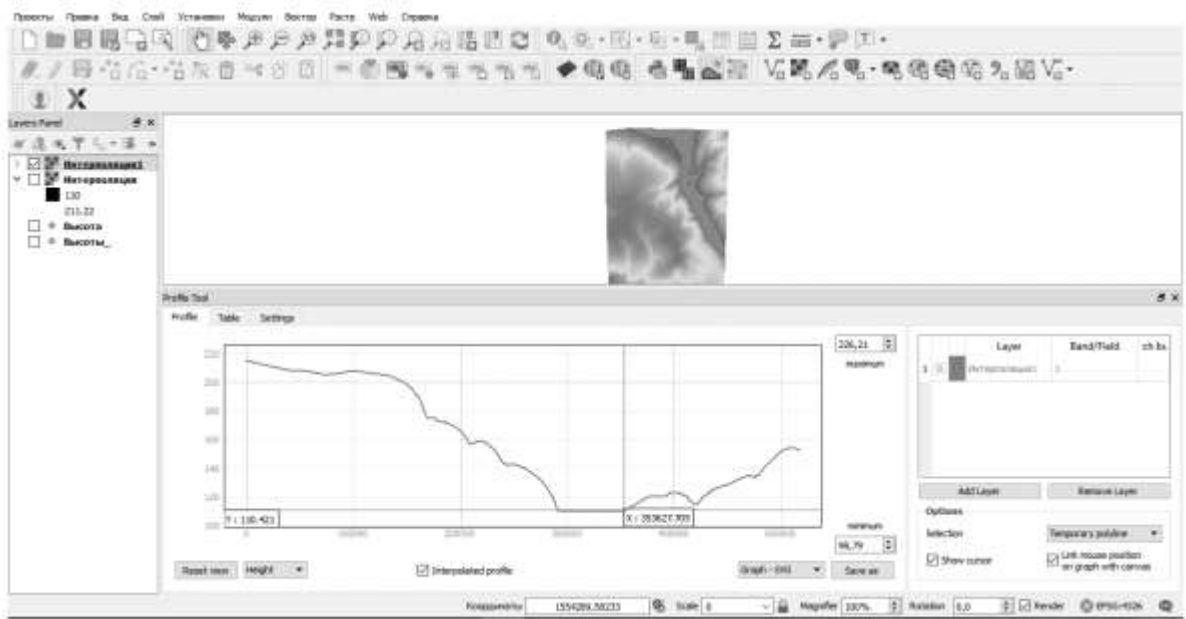


Рис. 4. Побудований профіль рельєфу у програмі QGIS

Методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) базуються на реєстрації й подальшій інтерпретації відбитої сонячної радіації (електромагнітних хвиль) від поверхні ґрунту (рис. 5). Саме такі відмінності в довжинах хвиль і інтенсивності випромінювання можуть бути використані для вивчення певного віддаленого об'єкта без безпосереднього контакту з ним.

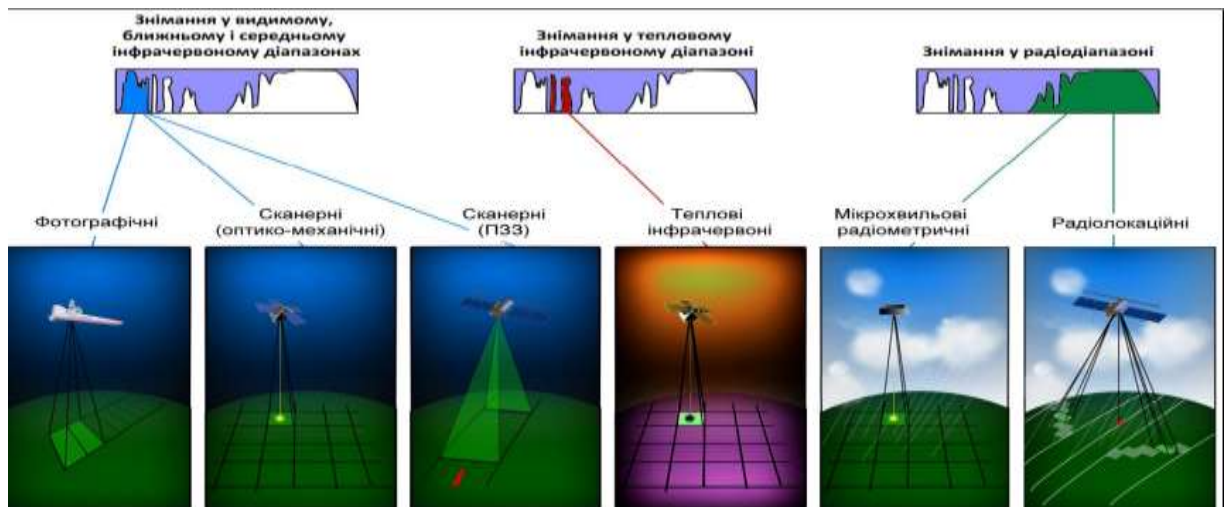


Рис. 5. Методи здійснення дистанційного зондування

Перші ГІС були створені в Канаді, США й Швеції для вивчення природних ресурсів в 1960-х роках. Загалом виникнення та бурхливий розвиток ГІС були обумовлені багатим досвідом топографічного і, особливо, тематичного картографування, успішними спробами автоматизації картоскладального процесу, а також революційними досягненнями у сфері комп'ютерних технологій, інформатики та комп'ютерної графіки. Особливо слід відзначити ідеї та досвід комплексного тематичного картографування. Цей досвід переконливо продемонстрував ефект системного використання різнохарактерних даних для здобування нових знань про географічні об'єкти.

Винесення пристроїв реєстрації в повітряний або навколосемний простір дозволяє більш широко охопити території порівняно з наземними методами досліджень. Отже, використання дистанційних методів дозволяє застосовувати стереопари (два сусідніх знімки, які зображують ділянку місцевості в смугі поздовжнього чи поперечного перекриття) для побудови цифрових моделей рельєфу (ЦМР) [Чувпило, Шевчук, Гапон, Нагорна, Куришко, 2023].

Результат знімання, тобто отримане зображення, характеризується:

- спектральними діапазонами, які фіксує система (число й градації цих діапазонів);
- геометричними особливостями отриманого зображення (вид проєкції, розподіл викривлень);
- радіометричною розрізненістю, тобто кількістю градацій яскравості, які фіксуються системою;
- часовою розрізненістю, тобто мінімальним проміжком часу, через який проводиться повторне проведення знімання (рис. 6).

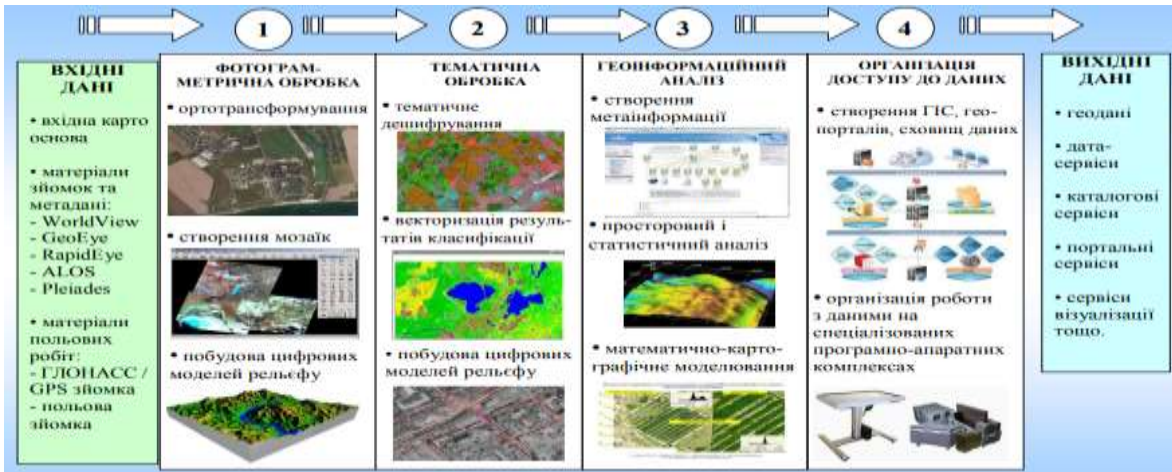


Рис. 6. Схема обробки даних ДЗЗ

На наступному етапі проводять наземну обробку ДЗЗ. Обробка даних призначена для видалення систематичних радіометричних і геометричних похибок і покращення якості зображень [Шевчук, Чувпило, Гапон, Нагорна, Куришко, 2024]. Схема обробки даних ДЗЗ представлена на рис. 7.

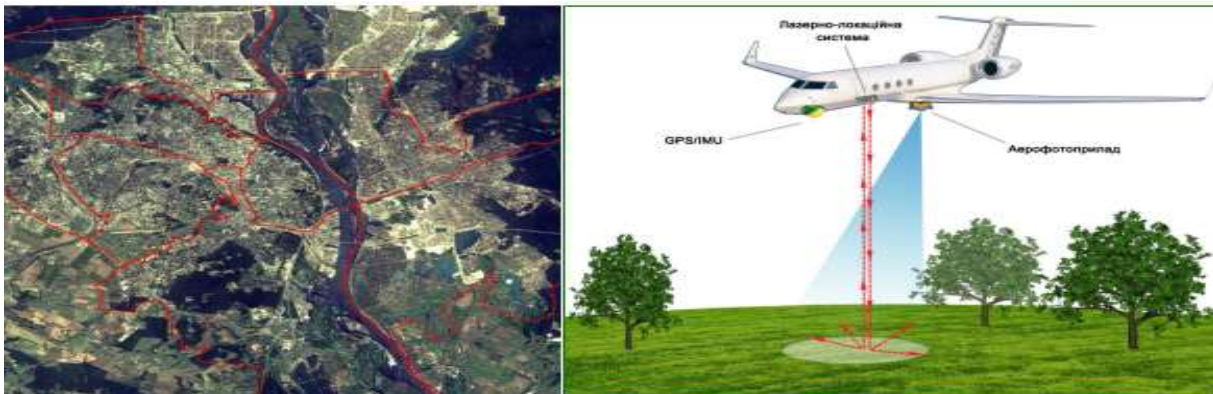


Рис. 7. Аерофотознімання

Стрімке зростання популярності космічних знімків не означає, що епоха карт назавжди йде в минуле. Вони вдало доповнюють один одного. "Картами" майбутнього стануть продукти, що поєднує в собі космічне й аерознімку, побудовані на їх основі тематичних шарів, а також комплексних планів, яка дозволить перетворити карту на тривимірний образ місцевості.

**Висновок.** За допомогою різних технологій та інструментів, таких як геоінформаційні системи, 3D-картографія та віртуальна реальність, ми можемо створювати більш наочні та зрозумілі уявлення географічної інформації. Геовізуалізація та тривимірне моделювання стають дедалі більш доступними та поширеними, завдяки швидкому розвитку технологій та зростання доступності геоданих. Вони відкривають нові можливості для навчання, досліджень та взаємодії з географічною інформацією. Таким чином, візуалізація просторових даних за допомогою ГІС технологій дозволить сформувати нову, більш досконалу модель навчального процесу, яка дозволить учням швидше і

краще зрозуміти та засвоїти навчальний матеріал, проаналізувати рельєф. Також дані програми дозволяють познайомитися з можливостями сучасного програмного забезпечення.

Список використаних джерел

- Барановський М. О., 2017. Оптимізація мережі закладів шкільної освіти України в умовах адміністративно-територіальної реформи: причини, регіональні відмінності, шляхи реалізації. Часопис соціально-економічної географії, 22 (1), 47-52.
- Зацерковний, В. І., Бурачек, В. Г., Железняк, О.О., Терещенко А. О., 2014. Геоінформаційні системи і бази даних : монографія. Ніжин : НДУ ім. М. Гоголя, 492. ISBN 978-617-527-121-6
- Лазоренко-Гевель Н.Ю., 2013. Геостатистичне моделювання агроекологічного моніторингу ґрунтів засобами ГІС. Вісн. геод. та картогр. 2, 36–40.
- Лазоренко-Гевель Н.Ю., 2012. Геоінформаційний аналіз структури мережі агроекологічного моніторингу ґрунтів. Містобудування і територіальне планування, 46, 323–336.
- Меліка Л. І., Шипулін В. Д., 2011. Просторове моделювання кар'єру. Учен. записки ТНУ ім. В. І. Вернадського. Серія: "Географія", Т. 24(63), № 3, 122– 131.
- Чувпило, В., Шевчук, С., Гапон, С., Нагорна, С., Куришко, Р., 2023. Кадастрові системи та землеустрій у містобудівному проектуванні: оптимізація землекористування та міського планування. Містобудування та територіальне планування, 84, 407–423. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2023.84.407-423>.
- Шипулін, В. Д., 2010. Основні принципи геоінформаційних систем : Навч. посібник / В. Д. Шипулін ; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х. : ХНАМГ, 326 с.
- Шипулін В. Д., 2014. Основи ГІС-аналізу: навч. Посібник. Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Х. : ХНУМГ, 330 с.
- Шевчук, С., Чувпило, В., Гапон, С., Нагорна, С., Куришко, Р., 2024. Використання ГІС для екологічно-ландшафтного управління землями населення. Журнал міждисциплінарних досліджень, 14 (1), 200-203. DOI:10.33543/140139200203.
- Beatus A. A. T. Kundi, 2003. Exploring GIS in Tanzania. ISPRS Congress. University of Dar es Salam, 8 (4), 43–46. URL: <https://www.isprs.org/publications/highlights/highlights0804/43HLArticleKundi.pdf>
- Lecours, V., Dolan, M.F.J., Micallef, A., Lucieer, V.L., 2016. A review of marine geomorphometry, the quantitative study of the seafloor. Hydrol. Earth Syst. Sci., V. 20(8), P. 3207–3244.
- MacMillan, R.A., Shary, P.A., 2009. "Landforms and Landform Elements in Geomorphometry." In: T. Hengl and H.I. Reuter (Ed.) Geomorphometry: Concepts, Software, Applications. Elsevier, Amsterdam, 227-254.
- Mondal A., Khare D., Kundu S., Mukherjee S., Mukhopadhyay A., Mondal S., 2017. Uncertainty of soil erosion modelling using open source high resolution and aggregated DEMs // Geoscience Frontiers, 8, 425–436. DOI: 10.1016/j.gsf.2016.03.004
- Tiwari, Anuj and Kamal Jain. 2014. "GIS Steering Smart Future for Smart Indian Cities." International Journal of Scientific and Research Publications, Volume 4(8): 442-446.
- Watkins, R.L., 2021. Terrain Metrics and Landscape Characterization from Bathymetric Data: SAGA GIS Methods and Command Sequences. Report Prepared for the Ecospatial Information Team, Coral Reef Ecosystem Division, Pacific Islands Fisheries Science Scenter: Honolulu, HI, under NOAA Contract Number WE-133F-15-SE-0518. Available online: [ftp://ftp.soest.hawaii.edu/pibhmc/website/webdocs/documentation/linkages\\_project\\_methods\\_final.pdf](ftp://ftp.soest.hawaii.edu/pibhmc/website/webdocs/documentation/linkages_project_methods_final.pdf) (accessed on 20.02.2021).
- Zacharakis, I.; Tsihrintzis, V.A., 2023. Environmental Forest Fire Danger Rating Systems and Indices around the Globe: A Review. Land 12, 194.

References

- Baranovskiy M. O., 2017. Optymizatsiia merezhi zakladiv shkilnoi osvity Ukrainy v umovakh administratyvno-terytorialnoi reformy: prychny, rehionalni vidminnosti, shliakhy realizatsii. Chasopys sotsialno-ekonomichnoi heohrafii, 22 (1), 47-52. (In Ukrainian)
- Zatserkovnyi, V. I., Burachek, V. H., Zhelezniak, O.O., Tereshchenko A. O., 2014. Heoinformatsiini systemy i bazy danykh : monohrafiia. Nizhyn : NDU im. M. Hoholia, 492. ISBN 978-617-527-121-6 (In Ukrainian)
- Lazorenko-Hevel N.Iu., 2013. Heostatystychnе modeliuвання ahroekolohichnoho monitorynhu ґruntiv zasobamy HIS. Visn. heod. ta kartohr. 2, 36–40. (In Ukrainian)
- Lazorenko-Hevel N.Iu., 2012. Heoinformatsiinyi analiz struktury merezhi ahroekolohichnoho monitorynhu ґruntiv. Mistobuduvannia i terytorialne planuvannia, 46, 323–336. (In Ukrainian)
- Melika L. I., Shypulin V. D., 2011. Prostorove modeliuвання karieru. Uchen. zapysky TNU ym. V. Y. Vernadskoho. Serii: "Heohrafiia", T. 24(63), № 3, 122– 131. (In Ukrainian)
- Chuvpylo, V., Shevchuk, S., Hapon, S., Nahorna, S., Kuryshko, R., 2023. Kadastrovi systemy ta zemleustrii u mistobudivnomu proektuvanni: optymizatsiia zemlekorystuvannia ta miskoho planuvannia. Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia, 84, 407–423. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2023.84.407-423>. (In Ukrainian)
- Shypulin, V. D., 2010. Osnovni pryntsyipy heoinformatsiinykh system : Navch. posibnyk / V. D. Shypulin ; Khark. nats. akad. misk. hosp-va. – Kh. : KhNAMH, 326 s. (In Ukrainian)
- Shypulin V. D., 2014. Osnovy HIS-analizu: navch. Posibnyk. Khark. nats. un-t misk. hosp-va im. O. M. Beketova. – Kh. : KhNUMH, 330 s. (In Ukrainian)
- Shevchuk, S., Chuvpylo, V., Hapon, S., Nahorna, S., Kuryshko, R., 2024. Vykorystannia HIS dlia ekolohichno-landshaftnoho upravlinnia zemliamy naselenyi. Zhurnal mizhdystyplinarnykh doslidzhen, 14 (1), 200-203. DOI:10.33543/140139200203. (In Ukrainian)
- Beatus A. A. T. Kundi, 2003. Exploring GIS in Tanzania. ISPRS Congress. University of Dar es Salam, 8 (4), 43–46. URL: <https://www.isprs.org/publications/highlights/highlights0804/43HLArticleKundi.pdf>
- Lecours, V., Dolan, M.F.J., Micallef, A., Lucieer, V.L., 2016. A review of marine geomorphometry, the quantitative study of the seafloor. Hydrol. Earth Syst. Sci., V. 20(8), P. 3207–3244.
- MacMillan, R.A., Shary, P.A., 2009. "Landforms and Landform Elements in Geomorphometry." In: T. Hengl and H.I. Reuter (Ed.) Geomorphometry: Concepts, Software, Applications. Elsevier, Amsterdam, 227-254.
- Mondal A., Khare D., Kundu S., Mukherjee S., Mukhopadhyay A., Mondal S., 2017. Uncertainty of soil erosion modelling using open source high resolution and aggregated DEMs // Geoscience Frontiers, 8, 425–436. DOI: 10.1016/j.gsf.2016.03.004
- Tiwari, Anuj and Kamal Jain. 2014. "GIS Steering Smart Future for Smart Indian Cities." International Journal of Scientific and Research Publications, Volume 4(8): 442-446.
- Watkins, R.L., 2021. Terrain Metrics and Landscape Characterization from Bathymetric Data: SAGA GIS Methods and Command Sequences. Report Prepared for the Ecospatial Information Team, Coral Reef Ecosystem Division, Pacific Islands Fisheries Science Scenter: Honolulu, HI, under NOAA Contract Number WE-133F-15-SE-0518. Available online: [ftp://ftp.soest.hawaii.edu/pibhmc/website/webdocs/documentation/linkages\\_project\\_methods\\_final.pdf](ftp://ftp.soest.hawaii.edu/pibhmc/website/webdocs/documentation/linkages_project_methods_final.pdf) (accessed on 20.02.2021).
- Zacharakis, I.; Tsihrintzis, V.A., 2023. Environmental Forest Fire Danger Rating Systems and Indices around the Globe: A Review. Land 12, 194.

Надійшла до редколегії 12.07.2024

Прийнята до друку 18.09.2024