

Тарас КРАВЕЦЬ, кандидат географічних наук,
доцент кафедри комплексів та приладів артилерійської розвідки,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5398-7441>

Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного
79026, м. Львів, вул. Героїв Майдану, 32, Україна

ПЕРЕХІД УКРАЇНИ НА ЄВРОПЕЙСКУ ВЕРТИКАЛЬНУ РЕФЕРЕНЦІЙНУ СИСТЕМУ (EVRS): ГЕОДЕЗИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ТА ПРОСТОРОВІ НАСЛІДКИ

Обґрунтовано актуальність переходу України на Європейську вертикальну референційну систему (EVRS) як необхідної умови підвищення точності та уніфікації висотного забезпечення в національній геодезичній і картографічній практиці. У статті проаналізовано передумови впровадження EVRS, її методологічні засади та просторові наслідки переходу від Балтійської системи висот 1977 року. Особливу увагу приділено аналізу регіонального розподілу висотних поправок на території України, оцінці впливу вибору вертикальної системи на точність цифрових моделей рельєфу (DEM) та узгодженість геопросторових даних із сучасними GNSS-технологіями. Показано, що застосування EVRS забезпечує усунення систематичних висотних похибок, підвищує стабільність і порівнянність просторових даних, а також створює основу для розвитку сучасних геоінформаційних досліджень і картографічних продуктів.

Ключові слова: Європейська вертикальна референційна система (EVRS), Балтійська система висот 1977 року, нормальні висоти, EVRF2019, цифрові моделі рельєфу (DEM), GNSS, геодезія, картографія.



Taras KRAVETS, PhD in Geography, Associate Professor
of the Department of Complexes and Devices of Artillery Reconnaissance

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5398-7441>

Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy
79026, Lviv, 32 Heroes of Maidan street, Ukraine

UKRAINE'S TRANSITION TO THE EUROPEAN VERTICAL REFERENCE SYSTEM (EVRS): GEODETIC PRECONDITIONS AND SPATIAL IMPLICATIONS

The purpose of this article is to analyze the geodetic prerequisites, methodological foundations, and spatial consequences of Ukraine's transition from the Baltic Height System of 1977 (BHS-77) to the European Vertical Reference System (EVRS). The study focuses on substantiating the necessity of implementing a unified and modern vertical reference framework as a basis for improving the accuracy, consistency, and interoperability of national geospatial data. Particular attention is paid to the regional distribution of height differences between BHS-77 and EVRS, as well as to the role of EVRF2019_AMST/NH in harmonizing height data with European geodetic standards. The impact of the selected vertical reference system on the quality of digital elevation models (DEM), spatial analysis, and geoinformation products is also examined.

Methodology. The research is based on a systematic analysis of regulatory documents governing the implementation of EVRS, as well as a review of scientific publications devoted to vertical reference systems, geoid and quasigeoid modeling, and precise levelling. A comparative assessment of the characteristics of BHS-77 and EVRS was conducted using official cartographic materials, results of the European Vertical Reference Frame EVRF2019, and GNSS-derived height data. Methods of spatial analysis and cartographic generalization were applied to identify regional patterns in height corrections across the territory of Ukraine. The study also evaluates the influence of vertical height errors on the reliability of spatial modeling results at different territorial scales.

The results confirm that the Baltic Height System of 1977 is characterized by accumulated systematic errors and spatially non-uniform discrepancies, which in certain regions of Ukraine reach up to ± 0.30 m. In contrast, EVRS ensures centimeter-level stability of height data through the consistent application of modern gravity field models and geodynamical corrections. The spatial analysis demonstrates clear regional trends in height differences, with minimal discrepancies in northern and western regions and maximum values in southern and coastal areas. The transition to EVRS significantly improves the consistency of digital elevation models, enhances their compatibility with GNSS measurements, and increases the reliability of spatial analysis and modeling outcomes. The presented diagrams and cartographic materials illustrate the strong sensitivity of applied spatial models to height accuracy, emphasizing the importance of a unified vertical reference system.

The scientific novelty of this study lies in a comprehensive assessment of the transition to EVRS from the perspective of spatial differentiation and applied geospatial analysis. For the first time, the regional distribution of height discrepancies between BHS-77 and EVRS across Ukraine is systematically analyzed and interpreted in terms of geodetic and geodynamic factors. The study provides an integrated evaluation of the impact of vertical reference system selection

on DEM accuracy and spatial modeling reliability, thereby expanding the methodological basis for modern geodetic and geographic research.

The results of the study can be used in national geodetic and cartographic practice to improve the quality and interoperability of geospatial data. The implementation of EVRS enables:

- Harmonization of national height data with European geodetic infrastructure;
- Improvement of digital elevation model accuracy and consistency;
- Reliable integration of GNSS-derived heights into geoinformation systems;
- Reduction of systematic height errors in spatial analysis and modeling;
- Creation of a stable vertical reference framework for long-term geospatial monitoring and mapping.

Thus, the transition to the European Vertical Reference System represents a fundamental step toward the modernization of Ukraine's geodetic and cartographic framework. Further research may focus on refining transformation methodologies for legacy height data, integrating EVRS with high-resolution remote sensing products, and expanding the application of unified vertical reference systems in advanced geospatial modeling and environmental studies.

Key words: European Vertical Reference System (EVRS), Baltic Height System of 1977, normal heights, EVRF2019, digital elevation models (DEM), GNSS, geodesy, cartography.



Постановка науково-практичної проблеми. Питання вибору та уніфікації вертикальної системи відліку висот є одним із ключових у сучасній геодезії, картографії та геоінформаційному забезпеченні просторових досліджень. Точність визначення висотних відміток безпосередньо впливає на якість цифрових моделей рельєфу, достовірність просторового аналізу та коректність інтерпретації природних і техногенних процесів. Тривале використання в Україні Балтійської системи висот 1977 року, яка не відповідає сучасним європейським стандартам, зумовило накопичення систематичних похибок і створило низку методологічних обмежень у роботі з геопросторовими даними.

По-перше, істотною проблемою є просторово нерівномірні розбіжності між висотами, визначеними у системі БСВ-77, та результатами сучасних геодезичних вимірювань. У різних регіонах України ці розбіжності можуть сягати десятків сантиметрів, що негативно позначається на точності картографічних матеріалів, цифрових моделей рельєфу та похідних просторових показників. Такі похибки особливо критичні при виконанні геоморфологічного, гідрологічного та інженерно-географічного аналізу, де висотна складова відіграє визначальну роль.

По-друге, активний розвиток супутникових технологій та широке застосування GNSS-вимірювань загострили проблему узгодження еліпсоїдальних висот із фізично змістовними нормальними висотами. Відсутність єдиної сучасної вертикальної референційної системи ускладнює інтеграцію GNSS-даних у національні геоінформаційні системи та знижує точність результатів просторового моделювання. Це створює труднощі при використанні даних дистанційного зондування Землі та побудові високоточних цифрових моделей поверхні.

По-третє, використання застарілої верти-

кальної основи обмежує сумісність національних геопросторових даних з європейськими та міжнародними картографічними ресурсами. В умовах розвитку транскордонних географічних досліджень, участі України у європейських інфраструктурах просторових даних та реалізації спільних наукових проектів відсутність уніфікованої вертикальної системи відліку призводить до додаткових перетворень даних і зростання ризику помилок.

По-четверте, актуальною залишається проблема методичного забезпечення переходу від БСВ-77 до Європейської вертикальної референційної системи (EVRS). Недостатня кількість прикладних досліджень, спрямованих на аналіз просторових наслідків такого переходу, ускладнює практичне впровадження нової системи та оцінку її впливу на якість геодезичних і картографічних продуктів. Зокрема, потребують детального вивчення регіональні особливості висотних поправок і їхній вплив на результати просторового аналізу.

Таким чином, перехід України на Європейську вертикальну референційну систему потребує комплексного науково-практичного обґрунтування, яке охоплює аналіз регіональних висотних розбіжностей, оцінку впливу вибору вертикальної системи на цифрові моделі рельєфу та узгодження національних геопросторових даних із європейськими стандартами. Вирішення цих завдань є необхідною умовою підвищення точності, надійності та сумісності геопросторової інформації і створює підґрунтя для подальшого розвитку сучасних географічних, геодезичних і картографічних досліджень в Україні.

Актуальність і новизна дослідження. Актуальність цього дослідження зумовлена необхідністю переходу України на сучасну та уніфіковану вертикальну систему відліку висот,

що відповідає європейським геодезичним стандартам і забезпечує високу точність та сумісність геопросторових даних. Тривале використання Балтійської системи висот 1977 року не відповідає сучасним вимогам до точності цифрових моделей рельєфу, просторового аналізу та інтеграції геодезичних даних із супутниковими технологіями. В умовах активного розвитку геоінформаційних систем, дистанційного зондування Землі та GNSS-вимірювань потреба в єдиній та метрологічно узгодженій вертикальній основі набуває особливого значення.

Метою цієї статті є аналіз геодезичних передумов і просторових наслідків переходу України від Балтійської системи висот 1977 року до Європейської вертикальної референційної системи (EVRS), а також оцінка впливу цього процесу на точність і узгодженість геопросторових даних. Основна увага приділяється дослідженню регіонального розподілу висотних поправок, аналізу просторової неоднорідності різниць між системами та визначенню ролі EVRF2019_AMST/NH у гармонізації національної висотної основи з європейською геодезичною інфраструктурою.

У роботі розглянуто методологічні аспекти інтеграції EVRS з сучасними супутниковими технологіями, зокрема перетворення еліпсоїдальних GNSS-висот у фізично інтерпретовані нормальні висоти, а також вплив вибору вертикальної системи на якість цифрових моделей рельєфу (DEM). Проаналізовано, як точність висотних даних визначає надійність просторового аналізу, моделювання рельєфу та результатів геоінформаційних досліджень на різних територіальних масштабах.

Наукова новизна дослідження полягає у комплексному просторовому аналізі наслідків переходу на EVRS з урахуванням регіональних особливостей території України. Уперше в єдиному науковому контексті систематизовано дані про територіальну диференціацію висотних розбіжностей між БСВ-77 та EVRS, а також оцінено їхній вплив на точність цифрових моделей рельєфу та прикладних просторових розрахунків. Отримані результати розширюють науково-методичну базу сучасної геодезії та географії й створюють передумови для подальшого розвитку національної системи геопросторових даних на основі європейських стандартів.

Зв'язок теми статті з важливими науково-практичними завданнями. Тема статті безпосередньо пов'язана з актуальними науково-практичними завданнями розвитку сучасної геодезії, картографії та національної інфраструктури геопросторових даних України. В умовах

інтеграції України до європейського наукового та інформаційного простору особливої актуальності набуває уніфікація висотної основи, яка забезпечує сумісність національних геопросторових даних із європейськими та міжнародними стандартами. Перехід на Європейську вертикальну референційну систему (EVRS) є ключовим елементом цього процесу та необхідною умовою підвищення точності й надійності просторової інформації.

Реалізація EVRS створює науково обгрунтовану основу для вирішення широкого кола прикладних завдань, пов'язаних із формуванням цифрових моделей рельєфу, проведенням геоморфологічного та гідрологічного аналізу, оцінюванням природних ризиків і просторового планування територій. Аналіз регіональних особливостей висотних поправок, виконаний у статті, дозволяє враховувати просторову неоднорідність території України та підвищує достовірність результатів географічних і геоінформаційних досліджень. Це є особливо важливим для коректної інтерпретації просторових процесів і прийняття науково обгрунтованих рішень у сфері управління територіальним розвитком.

Наукова значущість дослідження полягає у розширенні методичних підходів до оцінки наслідків переходу на нову вертикальну референційну систему з позицій просторового аналізу. Запропонований у роботі підхід дозволяє не лише кількісно оцінити різниці між Балтійською системою висот 1977 року та EVRS, а й проаналізувати їхній вплив на якість геопросторових продуктів, зокрема цифрових моделей рельєфу та результатів геоінформаційного моделювання. Це сприяє поглибленню теоретичних засад сучасної геодезії та географії.

Практична цінність статті полягає у створенні науково обгрунтованих передумов для впровадження EVRS у національну картографічну та геоінформаційну практику. Отримані результати можуть бути використані при оновленні картографічних стандартів, розробці методик перетворення архівних висотних даних, а також при інтеграції GNSS-вимірювань у сучасні геоінформаційні системи. Це дозволяє враховувати не лише технічні, але й географічні особливості території України та забезпечує більш високий рівень якості геопросторової інформації.

Таким чином, дослідження переходу України на Європейську вертикальну референційну систему є важливим науково-практичним завданням, що робить вагомий внесок у розвиток сучасної геодезичної та картографічної

науки, сприяє гармонізації національних геопросторових даних із європейськими стандартами та створює основу для ефективного використання просторової інформації у наукових, прикладних і управлінських процесах.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Незважаючи на наявність значної кількості наукових публікацій, присвячених розвитку сучасних вертикальних систем висот, геодезичних референційних рамок і застосуванню супутникових технологій, низка аспектів переходу від Балтійської системи висот 1977 року до Європейської вертикальної референційної системи (EVRS) залишається недостатньо дослідженою. Зокрема, у більшості робіт основна увага зосереджується на теоретичних засадах формування EVRS або на технічних питаннях її реалізації, тоді як просторові наслідки такого переходу для території України часто розглядаються фрагментарно або без урахування регіональної неоднорідності.

Однією з невирішених частин проблеми є відсутність комплексного аналізу територіального розподілу різниць висот між БСВ-77 та EVRS з урахуванням геодинамічних, геоморфологічних і історичних особливостей формування нівелірної мережі. Наявні дослідження, як правило, обмежуються окремими регіонами або зосереджуються на точкових оцінках, що не дозволяє сформулювати цілісне уявлення про масштаби та закономірності висотних розбіжностей у межах усієї країни. Це ускладнює коректне використання архівних картографічних матеріалів і створення узгоджених цифрових моделей рельєфу.

Іншою важливою, але недостатньо опрацьованою проблемою є оцінка впливу вибору вертикальної референційної системи на результати просторового аналізу та моделювання. Хоча відомо, що висотні похибки можуть суттєво впливати на точність та похідних геоінформаційних продуктів, у науковій літературі бракує кількісних оцінок чутливості просторових моделей до таких похибок у масштабах, характерних для території України. Це створює методологічну прогалину між теоретичними положеннями геодезії та практичним застосуванням геопросторових даних.

Крім того, недостатньо дослідженими залишаються питання інтеграції EVRS з сучасними GNSS-вимірюваннями та даними дистанційного зондування Землі в єдиному геоінформаційному середовищі. Відсутність уніфікованих підходів до перетворення еліпсоїдальних висот у нормальні висоти для різних типів геопросторових даних ускладнює їхнє спільне ви-

користання та знижує порівнянність результатів просторового аналізу на різних рівнях – від локального до національного.

Таким чином, існує потреба у проведенні комплексного дослідження, яке б поєднувало просторовий аналіз регіональних висотних розбіжностей, оцінку впливу вибору вертикальної референційної системи на якість цифрових моделей рельєфу та узгодження національних геопросторових даних із європейськими стандартами. Заповнення цих науково-методичних прогалин дозволить сформулювати цілісний підхід до впровадження EVRS в Україні та створить надійну основу для подальшого розвитку геодезичних, картографічних і геоінформаційних досліджень.

Аналіз останніх публікацій за темою дослідження. Нормативним підґрунтям переходу України на сучасні висотні системи координат є низка державних і відомчих документів, зокрема Постанова Кабінету Міністрів України № 590 від 09.06.2023 щодо впровадження Європейської вертикальної референційної системи [1] та наказ Міністерства оборони України № 836/нм від 29.11.2025, яким офіційно визначено перехід Збройних Сил України на систему EVRS з 01.01.2026 [2]. У цих документах окреслено методологію застосування реалізації EVRF2019_AMST/NH, нульової поверхні NAP та порядок коригування військових топографічних матеріалів. Проте практичні аспекти інтеграції EVRS у бойові й навчальні процеси потребують подальшого аналізу.

Серед сучасних українських досліджень важливу роль відіграють роботи, присвячені модернізації нівелірної мережі та її узгодженню з європейськими стандартами. Зокрема, Кравчук аналізує сумісність українських висотних систем з європейськими моделями та особливості переходу на нормальні висоти [3]. Паламарчук розглядає вплив вертикальних датумів на точність геопросторових даних у національних інфраструктурах [4]. Корнієнко досліджує точність визначення нормальних висот за допомогою супутникових методів GNSS [5], що є важливим у контексті EVRS. Шевчук підкреслює роль висотних систем у військовій топографії та необхідність їх уніфікації [6], хоча його аналіз передує введенню EVRF2019. Гнатюк детально вивчає питання інтеграції сучасних систем координат у цифрові моделі місцевості, однак лише частково торкається військових аспектів [7].

Зарубіжні дослідження також формують важливу теоретичну базу для розуміння Європейської вертикальної референційної системи.

Одним з ключових є аналіз реалізації EVRF 2019, виконаний групою Sacher та співавторами, де описано методику вирівнювання нівелірних мереж країн ЄС [8]. Miller розглядає практичні підходи до переходу від локальних систем висот до EVRS, однак його дослідження базується переважно на цивільній картографії [9]. Becker аналізує припливні й гравітаційні поправки для системи NAP, що є основою EVRS [10]. Nørskov досліджує інтеграцію EVRS із GNSS-вимірюваннями та питання вертикальної точності в різних геодинамічних умовах [11]. Linder вивчає оновлення нівелірних мереж Північної Європи та їх узгодження з EVRS, що є корисним для розуміння стандартів ЄС [12].

Таким чином, хоча вітчизняні та міжнародні публікації надають ґрунтовний аналіз сучасних систем висот, у них недостатньо розкрито питання впровадження EVRS саме у Збройних Силах України. Зокрема, бракує досліджень, що враховують специфіку бойового застосування топографо-геодезичних матеріалів, потреби артилерії, інженерних військ і підрозділів БпАК. Це підтверджує необхідність подальших прикладних досліджень, спрямованих на оцінку впливу переходу на EVRS на точність, оперативність і сумісність військового топографічного забезпечення.

Виклад основного матеріалу. Перехід України на Європейську вертикальну референційну систему (EVRS) є складовою комплексної модернізації національної геодезичної та картографічної інфраструктури, зумовленої розвитком сучасних вимірювальних технологій, інтеграцією у європейський геопросторовий простір та зростанням вимог до точності просторових даних. Необхідність упровадження EVRS закріплена нормативно-правовими актами державного рівня, зокрема постановою Кабінету Міністрів України № 590 від 09.06.2023, яка визначає застосування EVRS у національній топографо-геодезичній діяльності, а також відомчими документами, що регламентують оновлення висотної основи у прикладних сферах використання геопросторової інформації.

Основою Європейської вертикальної референційної системи є нормальні висоти, відлічені від нульової поверхні NAP (Normaal Amsterdams Peil), сформованої на основі багаторічних спостережень за рівнем моря в Амстердамі. На відміну від Балтійської системи висот 1977 року (БСВ-77), яка базувалася на Кронштадтському футштоку та не враховувала повною мірою сучасні гравітаційні й геодинамічні моделі, EVRS є результатом тривалих ко-

ординованих робіт у межах Європейської асоціації геодезистів EUREF і реалізована у вигляді вертикальної референційної рамки EVRF-2019 – останнього нормативного вирівнювання європейської нівелірної мережі [8]. В Україні реалізація EVRS ґрунтується на результатах сумісного вирівнювання нівелірних мереж I-III класів, що забезпечило узгодження національної висотної системи з європейськими стандартами та мінімізацію систематичних похибок.

Однією з ключових причин переходу на EVRS є накопичення просторово нерівномірних розбіжностей між висотами, визначеними у системі БСВ-77, та результатами сучасних геодезичних вимірювань. Як показано на карті розподілу поправок (рис. 1), на території України спостерігається виразна територіальна диференціація значень висотних поправок, які необхідно враховувати при трансформації даних з Балтійської системи висот 1977 року до Європейської вертикальної референційної системи (EVRS) у реалізації EVRF2019_AMST/NH.

Візуальний аналіз карти свідчить про наявність чіткого просторового тренду: найменші значення поправок (менше 0,10 м) характерні для північних та північно-західних регіонів України, зокрема Волинської, Рівненської, Чернігівської та Сумської областей. У центральній частині країни переважають середні значення поправок у межах 0,10-0,18 м, що притаманно Полтавській, Київській, Черкаській та Житомирській областям. Відносна стабільність цих показників свідчить про меншу історичну розбіжність між нівелірними мережами БСВ-77 та сучасною європейською системою EVRS.

Найбільші значення різниць висот, що перевищують 0,20-0,25 м, характерні для південних та південно-східних регіонів України, зокрема Одеської, Миколаївської, Херсонської та частково Запорізької областей. Значні відхилення також простежуються на території Автономної Республіки Крим. Підвищені значення різниць зумовлені поєднанням геодинамічних особливостей приморських регіонів, віддаленістю від вихідних пунктів Балтійської системи висот, а також історичною неоднорідністю та різночасовістю формування нівелірної мережі. Саме для цих територій перехід на EVRS має найбільше практичне значення, оскільки систематичні висотні похибки можуть істотно впливати на точність топографічних, інженерно-географічних і прикладних просторових розрахунків.

Загалом представлена карта відображає виразну просторову неоднорідність висотних відмінностей у межах території України та

підтверджує доцільність впровадження EVRS як єдиної вертикальної референційної основи з метою уніфікації національних картографічних і геопросторових даних. Територіальна дифере-

нціація поправок підкреслює обмеженість використання застарілої системи БСВ-77 у сучасних геодезичних і картографічних дослідженнях.

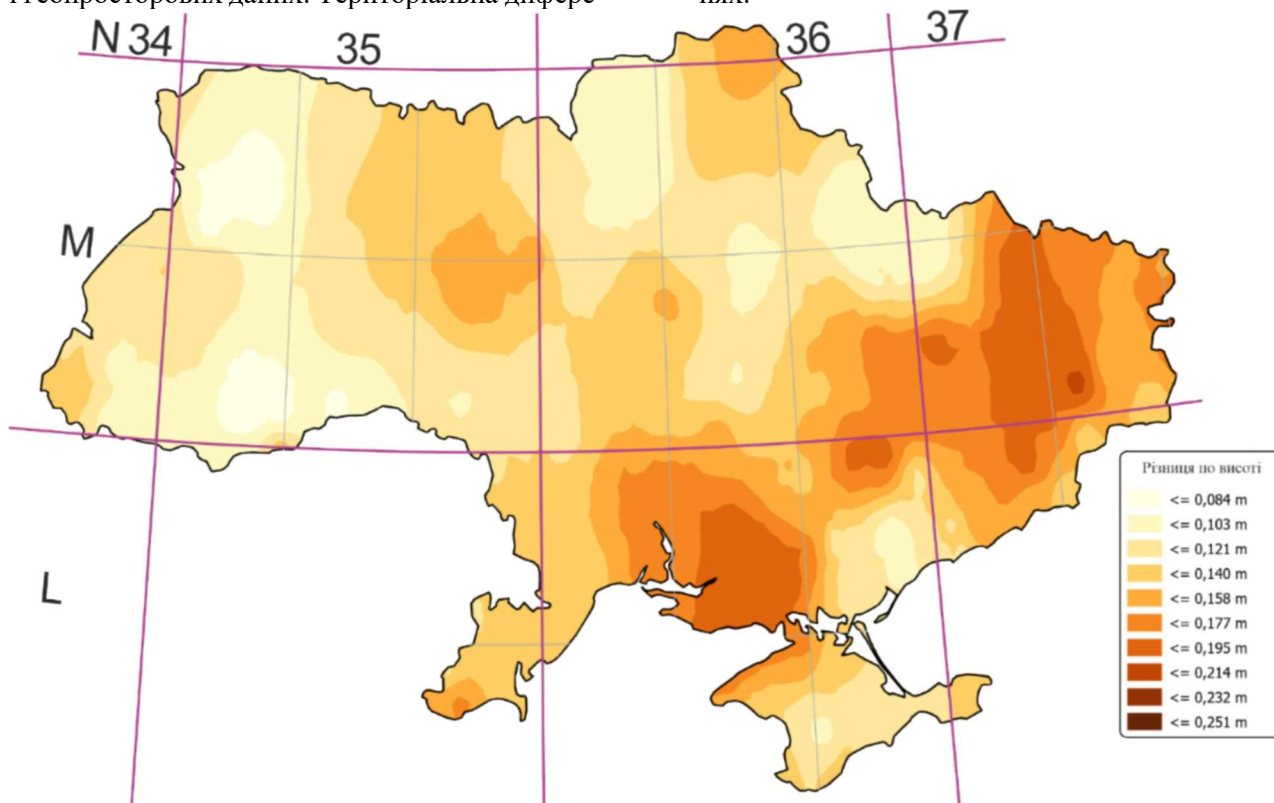


Рисунок 1. Розподіл значень поправок у висоті точок місцевості при переході від Балтійської системи висот 1977 року до Європейської вертикальної референційної системи (EVRS)

Таким чином, наведена карта є важливим аналітичним інструментом, який наочно ілюструє масштаби та регіональні особливості розбіжностей між Балтійською системою висот 1977 року та Європейською вертикальною референційною системою (EVRS), а також слугує обґрунтуванням необхідності переходу на сучасну європейську висотну систему в межах національної геодезичної інфраструктури.

Узагальнення просторового розподілу різниць висот між БСВ-77 та EVRS за адміністративними областями України (рис. 2) дозволяє виділити чіткі регіональні закономірності. Найменші значення різниць, менші за 0,10 м, характерні для північних і західних регіонів, зокрема Чернігівської, Сумської, Тернопільської та Івано-Франківської областей. У цих областях відхилення між системами є мінімальними, що пояснюється відносною стабільністю нівелірної мережі та меншою кількістю геодезичних трансформацій у процесі її формування. Водночас найбільші значення різниць, які сягають 0,24-0,27 м, зафіксовані у південних регіонах України - Одеській, Херсонській областях та на території Автономної Республіки Крим. Такі

відхилення пов'язані з активними геодинамічними процесами приморських зон, впливом тектонічних рухів і значною віддаленістю від базових пунктів Балтійської системи висот. Суттєві регіональні розбіжності є одним із ключових аргументів на користь переходу до уніфікованої європейської вертикальної референційної системи.

Середні значення висотних поправок у межах 0,12-0,20 м характерні для центральних і східних регіонів України, зокрема Полтавської, Харківської, Дніпропетровської, Запорізької та Київської областей. Для цієї групи регіонів простежується відносно стабільний просторовий тренд, що свідчить про систематичний характер розбіжностей між Балтійською системою висот 1977 року та Європейською вертикальною референційною системою (EVRS). Така закономірність підтверджує необхідність коректного та уніфікованого перетворення висотних даних під час використання картографічних матеріалів і цифрових моделей рельєфу в межах національної геопросторової інфраструктури.

Загалом діаграма наочно ілюструє одну з ключових проблем сучасного висотного забез-

печення: різниця між застарілою та сучасною системами висот, яка в окремих регіонах сягає до 0,30 м, робить подальше використання БСВ-77 методично обмеженим у сучасних геодезичних і картографічних дослідженнях. Висотні похибки такого порядку безпосередньо впливають на точність просторових розрахунків, по-

будову профілів місцевості, аналіз рельєфу та формування цифрових моделей поверхні. Наглядність отриманих результатів підтверджує актуальність переходу на Європейську вертикальну референційну систему (EVRS) як єдиний національний стандарт висот.

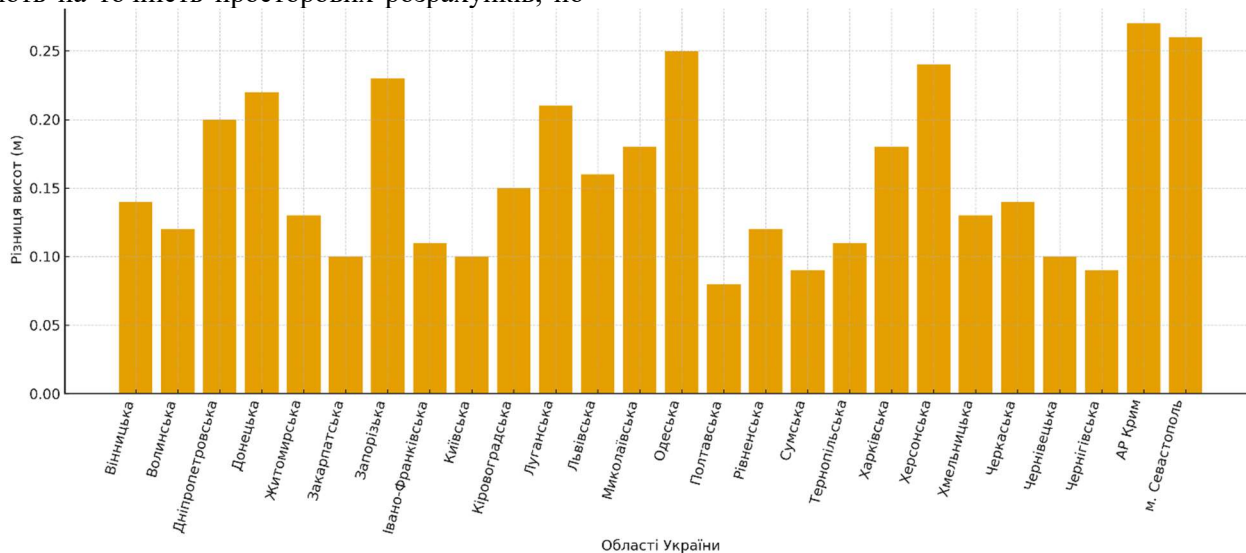


Рисунок 2. Розподіл значень поправок у висоті точок місцевості при переході від Балтійської системи висот 1977 року до (EVRS)

Запровадження EVRS забезпечує не лише корекцію застарілих висотних даних, але й повну сумісність із сучасними супутниковими та геоінформаційними технологіями. Зокрема, результати GNSS-вимірювань, які первинно подаються у вигляді еліпсоїдальних висот, потребують перетворення у фізично інтерпретовані нормальні висоти. Саме EVRS визначає математично узгоджену процедуру такого перетворення з використанням актуальних моделей квазігеоїда, що забезпечує просторову стабільність і метрологічну узгодженість висотних даних на всій території України. Це має принципове значення для створення топографічних карт, побудови цифрових моделей рельєфу, просторового аналізу та інтеграції геоданих у

геоінформаційні системи.

У таблиці 1 наведено порівняльну характеристику основних критеріїв формування висотного відліку, які відображають математичну основу, точність, сумісність із сучасними геодезичними технологіями та відповідність міжнародним стандартам. Показано, що обидві системи оперують нормальними висотами, проте їхні нульові поверхні принципово відрізняються: Балтійська система висот 1977 року ґрунтується на Кронштадтському футштоку, тоді як EVRS використовує Normaal Amsterdams Peil (NAP) – сучасну, стабільну та загальноєвропейську референційну модель середнього рівня моря.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика Балтійської системи висот 1977 року (БСВ-77) та Європейської вертикальної референційної системи (EVRS) у реалізації EVRF2019_AMST/NH

№ п/п	Параметр	БСВ-77	EVRS (EVRF2019_AMST/NH)
1.	Тип висот	Нормальні висоти	Нормальні висоти (NAP)
2.	Нульовий рівень	Кронштадт	Амстердам (NAP)
3.	Гравітаційні поправки	Частково враховані	Повністю враховані
4.	Оновлення	70-ті роки	EVRF2019
5.	Похибка в Україні	До ± 30 см	До ± 3 см
6.	Сумісність з НАТО	Низька	Висока
7.	GNSS/DEM	Частково	Повна
8.	Регіон застосування	Локально	Європа + Україна

У Європейській вертикальній референційній системі (EVRС) повною мірою враховано припливні, гравітаційні та геодинамічні корекції, тоді як у Балтійській системі висот 1977 року (БСВ-77) ці складові або були враховані частково, або не оновлювалися з моменту її впровадження. Важливим показником є також рівень вертикальних похибок: розбіжності між системами в межах території України у БСВ-77 сягають до $\pm 0,30$ м, тоді як EVRS забезпечує стабільність висотних даних у межах кількох сантиметрів. Такі відмінності істотно впливають на точність геопросторової інформації, зокрема при побудові цифрових моделей рельєфу, аналізі морфометричних характеристик місцевості та виконанні інженерно-географічних розрахунків.

Окремої уваги заслуговує питання сумісності висотних систем. Балтійська система висот 1977 року не узгоджена з сучасними європейськими стандартами та має обмежену інтеграцію з цифровими моделями рельєфу і супутниковими технологіями GNSS. Натомість EVRS забезпечує повну сумісність із європейською геодезичною інфраструктурою, що дозволяє використовувати її як єдину коректну вертикальну основу для сучасних картографічних і геоінформаційних досліджень на національному рівні.

Таким чином, дані, наведені у таблиці 1, демонструють комплексні переваги EVRS та обґрунтовують доцільність її впровадження як базової системи висот, підкреслюючи вищу точність, довготривалу стабільність і повну сумісність із сучасними засобами супутникового позиціонування та просторового аналізу.

З метою оцінки прикладних наслідків висотних похибок було проаналізовано залежність між величиною помилки у визначенні висоти місцевості та відхиленням результатів просторового моделювання на різних масштабних рівнях. Побудовані криві для умовних дальностей 5, 10, 15 і 20 км дозволяють порівняти чутливість результатів розрахунків до похибок вихідних висотних даних (рис. 3). По горизонтальній осі відкладено величину висотної похибки в діапазоні від 0,05 до 0,30 м, що відповідає типовим розбіжностям між БСВ-77 та EVRS у межах України, тоді як по вертикальній осі показано величину просторового відхилення результату моделювання, спричинену цією похибкою.

Отримані результати демонструють чіткий лінійно-пропорційний зв'язок між величиною висотної похибки та масштабом просторового відхилення. Зі збільшенням похибки ви-

соти спостерігається відповідне зростання відхилень, причому зі зростанням просторового масштабу негативний ефект суттєво посилюється. Так, навіть незначна похибка висоти на рівні 0,05 м може призводити до відхилень порядку 1 м на коротших відстанях і до 3-4 м на більших, тоді як збільшення похибки до 0,20-0,30 м зумовлює відхилення у десятки метрів. Це наочно підтверджує високу чутливість прикладних просторових моделей до точності вихідних висотних даних.

Отримані результати дозволяють зробити узагальнений висновок, що навіть сантиметрові похибки у висотному забезпеченні здатні істотно впливати на результати просторового аналізу та моделювання, особливо на великих територіальних масштабах. Саме тому заміна застарілої Балтійської системи висот, що характеризується регіонально нерівномірними відхиленнями до 30 см, на уніфіковану та метрологічно узгоджену систему EVRS є науково обґрунтованим і необхідним кроком для підвищення точності та надійності геопросторових даних.

Таким чином, наведена діаграма наочно ілюструє значущість переходу України на Європейську вертикальну референційну систему (EVRС), оскільки усунення систематичних невідповідностей у висотних даних дозволяє суттєво зменшити похибки просторових розрахунків і підвищити достовірність результатів геодезичного та географічного моделювання на різних територіальних масштабах. Отримані залежності демонструють, що точність вихідних висотних даних є критичним чинником для коректної інтерпретації просторових процесів і побудови надійних моделей поверхні.

Особливо важливою є роль EVRS у підвищенні точності цифрових моделей рельєфу, які широко застосовуються у географічних та прикладних дослідженнях, зокрема при плануванні маршрутів, аналізі прохідності місцевості, моделюванні зон затоплення, оцінюванні інженерно-геоморфологічних умов і прогнозуванні функціонування інфраструктурних об'єктів. Перехід на єдину та стабільну вертикальну систему висот дає змогу усунути накопичення систематичних помилок, забезпечити їх узгодженість із GNSS-вимірюваннями та підвищити якість просторових алгоритмів аналізу рельєфу й поверхневих процесів.

Для геодезичних і картографічних робіт принципове значення має те, що EVRS забезпечує уніфіковану методологію визначення висот для всього спектра картографічної продукції - від великомасштабних топографічних карт

до дрібномасштабних оглядових матеріалів. Нормативне впровадження EVRS передбачає оновлення інструктивно-методичної бази створення карт у системах WGS-84 / UTM, що

сприяє комплексній модернізації національної картографічної системи відповідно до сучасних європейських стандартів.

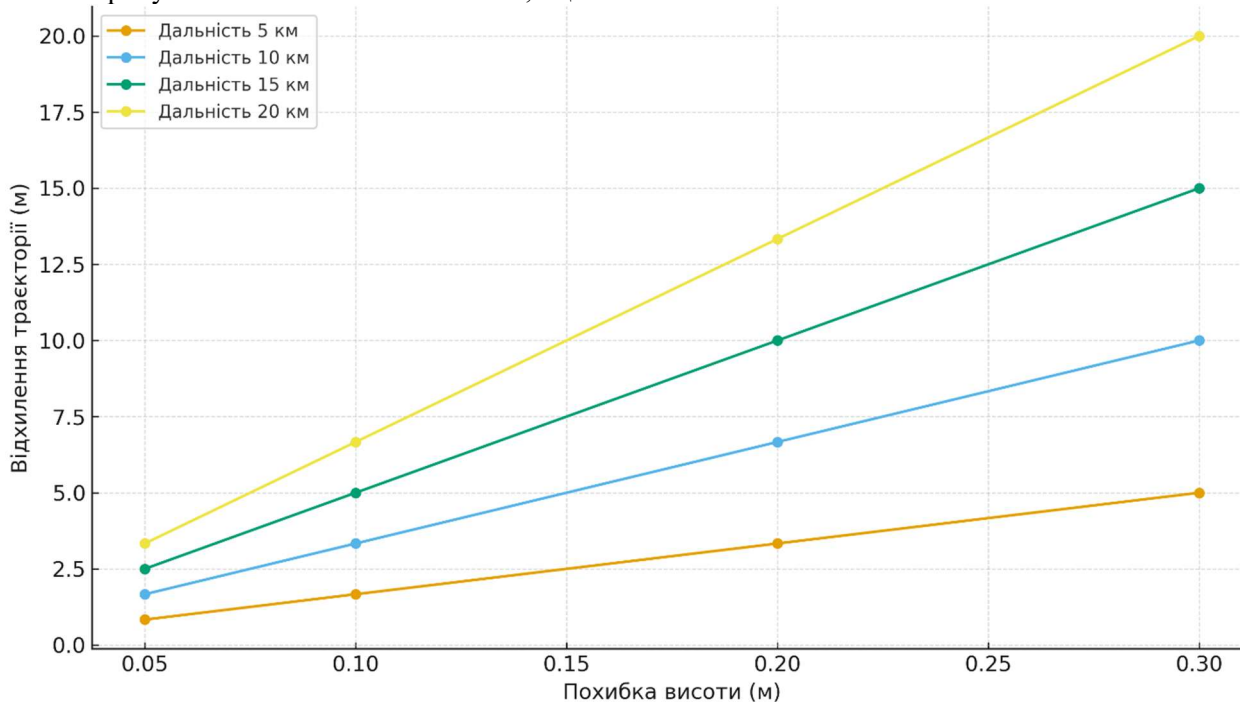


Рисунок 3. Вплив похибки висоти та дальності на середнє відхилення артилерійського снаряда

Загалом упровадження Європейської вертикальної референційної системи в Україні є багатовимірним процесом, який охоплює оновлення нормативної основи, гармонізацію картографічних стандартів, підвищення точності висотних вимірювань та повну інтеграцію з сучасними геоінформаційними системами. Представлені таблиці та діаграми забезпечують наукове й прикладне обґрунтування цього переходу, підтверджуючи, що EVRS формує фундаментальну перевагу – єдину, точну й довготривалу стабільну систему висот, необхідну для розвитку сучасних географічних, геодезичних і картографічних досліджень.

Висновки. У даному дослідженні комплексно проаналізовано передумови, методологічні засади та просторові наслідки переходу України від Балтійської системи висот 1977 року до Європейської вертикальної референційної системи (EVRS). Особливу увагу приділено оцінці регіональних розбіжностей висотних даних, просторовому розподілу поправок та впливу вибору вертикальної системи на точність геодезичних, картографічних і геоінформаційних продуктів.

У результаті проведеного аналізу встановлено, що використання застарілої системи БСВ-77 призводить до накопичення систематичних висотних похибок, які мають виражену територіальну неоднорідність і в окремих регіо-

нах України сягають значень до 0,30 м. Перехід на EVRS, реалізований у вигляді EVRF2019_AMST/NH, забезпечує суттєве підвищення точності та стабільності висотних даних, а також їхню повну узгодженість із сучасними гравітаційними моделями та результатами GNSS-вимірювань.

Дослідження підтвердило, що впровадження EVRS є ключовою умовою підвищення якості цифрових моделей рельєфу, які широко застосовуються у географічних, інженерно-геоморфологічних і прикладних просторових дослідженнях. Узгодженість із єдиною вертикальною референційною системою дозволяє зменшити похибки просторового аналізу, підвищити достовірність моделювання рельєфу, гідрологічних процесів та оцінювання територіальних ризиків.

Порівняльний аналіз основних характеристик БСВ-77 та EVRS показав суттєві переваги останньої з точки зору точності, довготривалої стабільності та сумісності з європейською геодезичною інфраструктурою. Представлені картографічні матеріали та діаграми наочно демонструють масштаби висотних розбіжностей і підтверджують наукову та практичну доцільність переходу на EVRS як єдиний національний стандарт висот.

Таким чином, результати дослідження засвідчують, що впровадження Європейської вер-

тикальної референційної системи є не лише технічним оновленням, а й фундаментальним кроком у розвитку національної геодезичної та картографічної системи, що створює надійну основу для подальшого вдосконалення геопросторових даних та їх інтеграції у сучасні геоінформаційні середовища.

Перспективи використання результатів дослідження Перспективи подальших досліджень пов'язані насамперед із поглибленим аналізом впливу переходу на EVRS на різні типи геопросторових продуктів і моделей. Зокрема, доцільним є детальне дослідження впливу оновленої вертикальної системи на точність цифрових моделей рельєфу різної роздільної здатності, а також на результати гідрологічного, геоморфологічного та ландшафтного моделювання.

Окремим напрямом подальших робіт може стати аналіз узгодженості національних DEM з європейськими та глобальними моделями рельєфу в умовах використання EVRS, а також розробка методик автоматизованого перетворення архівних висотних даних до нової вертикальної референційної основи. Це сприя-

тиме збереженню спадковості геодезичних і картографічних матеріалів та їх ефективному використанню в сучасних геоінформаційних системах.

Важливим є також розширення досліджень у напрямі інтеграції EVRS з GNSS-технологіями та супутниковими даними дистанційного зондування Землі, що дозволить підвищити точність просторового аналізу та оперативність оновлення геопросторової інформації. Отримані результати можуть бути використані при розробці національних стандартів створення та оновлення цифрових карт і моделей рельєфу.

Крім того, результати дослідження доцільно впроваджувати в освітній процес підготовки фахівців у галузі географії, геодезії, картографії та геоінформаційних систем. Формування практичних навичок роботи з єдиною європейською вертикальною референційною системою сприятиме підготовці спеціалістів, здатних ефективно застосовувати сучасні методи просторового аналізу та забезпечувати високий рівень якості геопросторових даних у різних сферах наукової та прикладної діяльності.

Література:

1. Постанова Кабінету Міністрів України № 590 від 2023-06-09 (зі змінами) «Деякі питання використання Європейської вертикальної референційної системи (EVRS)».
2. Наказ Міністерства оборони України № 836/нм від 2025-11-29 «Про встановлення використання Європейської вертикальної референційної системи (EVRS) у Збройних Силах України».
3. Кравчук В.П. (2020) Сучасні системи висот та їх застосування в геодезії: монографія. - Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2020. - 220 с.
4. Паламарчук І.С. (2021) Вертикальні датумні поверхні та їхня роль у національній інфраструктурі геопросторових даних: монографія. - Харків: ХНУГХ ім. О.М. Бекетова, 2021. - 180 с.
5. Корнієнко М.О. (2022) GNSS-методи визначення нормальних висот: можливості та обмеження: монографія. - Київ: НАУ-друк, 2022. - 200 с.
6. Шевчук П.В. (2019) Трансформація систем висот у топографо-геодезичному забезпеченні оборони: монографія. - Житомир: ЖВІ ім. С.П. Корольова, 2019. - 160 с.
7. Гнатюк С.С. (2023) Інтеграція сучасних систем координат у цифрові моделі місцевості: монографія. - Київ: ДНУ «Картографія і геодезія», 2023. - 240 с.
8. Sacher M., Ihde J., Liebsch G. (2020) Realization of the EVRF2019 Vertical Reference Frame. - Frankfurt: EUREF Publication Series, 2020. - 210 p.
9. Miller A. (2021) Transitioning from Local Vertical Datums to EVRS: Practical Challenges and Solutions. - London: European Geodetic Research Press, 2021. - 260 p.
10. Becker H. (2022) Tidal and Gravity Corrections in the NAP Vertical System. - Berlin: Springer Geoscience, 2022. - 230 p.
11. Nørskov P. (2023) GNSS-Vertical Integration Techniques for EVRS-Based Heighting. - Copenhagen: Nordic Geodetic Institute Press, 2023. - 270 p.
12. Linder K. (2019) Modernization of Northern European Levelling Networks under EVRS Standards. - Stockholm: Royal Institute of Geodesy Press, 2019. - 250 p.

References:

1. Cabinet of Ministers of Ukraine, 2023. Postanova № 590 vid 2023-06-09 (zi zminamy) "Deiaki pytannia vykorystannia Yevropeiskoi vertykalnoi referentsiinoi systemy (EVRS)". [Resolution No. 590 of June 9, 2023 (as amended) "Some Issues of Using the European Vertical Reference System (EVRS)"] (in Ukrainian).
2. Ministry of Defence of Ukraine, 2025. Nakaz № 836/nm vid 2025-11-29 "Pro vstanovlennia vykorystannia Yevropeiskoi vertykalnoi referentsiinoi systemy (EVRS) u Zbroinykh Sylakh Ukrainy". [Order No. 836/nm of November 29, 2025 "On the Implementation of the European Vertical Reference System (EVRS) in the Armed Forces of Ukraine"] (in Ukrainian).
3. Kravchuk, V. P., 2020. Suchasni systemy vysot ta yikh zastosuвання v heodezii: monohrafiia. [Modern Height Systems and Their Application in Geodesy: Monograph]. Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House. 220 p. (in Ukrainian).
4. Palamarchuk, I. S., 2021. Vertykalni datumni poverkhni ta yikhnia rol u natsionalnii infrastrukturi heoprostorovykh danykh. [Vertical Datum Surfaces and Their Role in the National Geospatial Data Infrastructure]. Kharkiv: O. M. Beketov National University of Urban Economy. 180 p. (in Ukrainian).
5. Korniienko, M. O., 2022. GNSS-metody vyznachennia normalnykh vysot: mozhlyvosti ta obmezhenia. [GNSS Methods for

- Determining Normal Heights: Capabilities and Limitations]. Kyiv: NAU-Druk. 200 p. (in Ukrainian).
6. Shevchuk, P. V., 2019. Transformatsiia system vysot u topoohodezychnomu zabezpechenni oborony. [Transformation of Height Systems in Topographic and Geodetic Support of Defence]. Zhytomyr: Zhytomyr Military Institute named after S. P. Koroliov. 160 p. (in Ukrainian).
 7. Hnatiuk, S. S., 2023. Intehratsiia suchasnykh system koordynat u tsyfrovi modeli mistsevosti: monohrafiia. [Integration of Modern Coordinate Systems into Digital Terrain Models: Monograph]. Kyiv: State Research Enterprise "Cartography and Geodesy". 240 p. (in Ukrainian).
 8. Sacher, M., Ihde, J., Liebsch, G., 2020. Realization of the EVRF2019 Vertical Reference Frame. Frankfurt: EUREF Publication Series. 210 p.
 9. Miller, A., 2021. Transitioning from Local Vertical Datums to EVRS: Practical Challenges and Solutions. London: European Geodetic Research Press. 260 p.
 10. Becker, H., 2022. Tidal and Gravity Corrections in the NAP Vertical System. Berlin: Springer Geoscience. 230 p.
 11. Nørskov, P., 2023. GNSS-Vertical Integration Techniques for EVRS-Based Heighting. Copenhagen: Nordic Geodetic Institute Press. 270 p.
 12. Linder, K., 2019. Modernization of Northern European Levelling Networks under EVRS Standards. Stockholm: Royal Institute of Geodesy Press. 250 p.

Надійшла до редакції 04.02.2026 р.

Прийнята до друку 13.03.2026 р.

Опублікована 02.04.2026 р.

