

DOI: 10.26565/2075-1893-2024-40-04
УДК 91.528.9

Віліна Пересадько*

д. геогр. наук, професор кафедри фізичної географії та картографії;
e-mail: vilinaperesadko@karazin.ua; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-2439-2788>

Олег Дмитриков*

аспірант кафедри фізичної географії та картографії ОНП Науки про Землю;
e-mail: oleg.dmytrykov@student.karazin.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9717-2033>

Анатолій Джос**

к. с.-г. наук, начальник відділу Державного підприємства «Українське державне аерогеодезичне підприємство»;
e-mail: anatoliy.dzh62@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-2809-4751>

* Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна

** Державне підприємство «Українське державне аерогеодезичне підприємство», вул. Велика Васильківська, 69, м. Київ, 03150, Україна.

Аналіз точності картографічної інформації (на прикладі відображення автомобільних шляхів України і США)

Мета дослідження – оцінити точність даних онлайн-ресурсів у порівнянні з геодезичними та лазерними методами вимірювання, та порівняти протяжність основних автомобільних шляхів США та України за офіційними даними і найбільш використовуваними картографічними сервісами.

Основний матеріал. Порівняльний аналіз традиційних геодезичних знімків і лазерного сканування автомобільних доріг Сполучених Штатів Америки й України показав майже ідентичні результати. Це стало основою для оцінки точності картографічних сервісів OpenStreetMap (OSM), GraphHopper (GH) та Google Maps. Для кожного відрізка, довжина якого вимірювалась, визначено різницю координат точок; квадрати різниць координат точок; середнє значення квадратів різниць точок; середньоквадратичну похибку для координат X та Y; загальну середньоквадратичну похибку; відношення похибки до загальної протяжності маршруту.

Результати показали розбіжності між офіційними даними FHWA, КМУ та онлайн-ресурсами. Для магістралей у США відхилення незначні (-1,86% до +0,25%). В Україні в окремих випадках вони сягали 19,99%, що може бути наслідком меншої частоти оновлення офіційних джерел. Це підкреслює необхідність перехресного контролю, зокрема за допомогою лазерного сканування.

Висновки. Порівняння геодезичних та лазерних вимірювань показало їхню високу точність, що дозволяє використовувати ці методи для перевірки картографічних даних. Лазерне сканування, представлене у цифровому форматі без проміжних кроків оцифрування може слугувати контрольним шаром для визначення протяжності лінійних об'єктів, зокрема автодоріг. Онлайн-ресурс GraphHopper серед трьох проаналізованих – демонструє найменші розбіжності як для США, так і для України. Картографічні основи України потребують оновлення на основі сучасних топографо-геодезичних знімків, включно з лазерним скануванням. Визначення точних довжин транспортних шляхів є важливим для ефективного розвитку держави.

Ключові слова: транспортна мережа, автомобільні шляхи, точність карт, картографічне моделювання, Google Maps, OpenStreetMap, модель GraphHopper, лазерне сканування.

Як цитувати: Пересадько В., Дмитриков О., Джос А. Аналіз точності картографічної інформації (на прикладі відображення автомобільних шляхів України і США). *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*. 2024. Вип. 40. С. 32–44. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2024-40-04>

In cites: Peresadko, V., Dmytrykov, O., Dzhos, A. (2024). Analysis of the accuracy of mapping information (using the example of motorway mapping in Ukraine and the USA). *The problems of continuous geographical education and cartography*, (40), 32–44. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2024-40-04> (in Ukrainian)

Вступ. Кожен день мільярди учасників транспортно-логістичного руху по всьому світу користуються навігацією. Завдяки транспорту та логістиці працює світова економіка і торгівля, а пересічний громадянин має змогу найбільш швидко дістатися до місця призначення. Навігаційні пристрої і програмне забезпечення вже стали невід'ємною частиною повсякденного життя. Фундаментом таких можливостей є досягнення геодезії та картографії, які відіграють важливу роль у сучасному суспільстві, забезпечуючи точні дані для транспортної логістики, містобудування та інших галузей. З розвитком онлайн-картографічних сервісів, таких як OSM, GN та Google Maps, виникла потреба оцінити їхню точність для території України у порівнянні з традиційними геодезичними методами. Ці сервіси широко використовуються як для особистих, так і для комерційних потреб, але їхня точність може змінюватися залежно від багатьох факторів. Зважаючи на критичне значення точності географічних даних, це дослідження зосереджено на оцінці точності онлайн-картографічних сервісів.

Метою цього дослідження є оцінка точності даних, представлених онлайн-ресурсами, у порівнянні з геодезичними та лазерними методами вимірювання, а також з офіційними даними США та України.

Вихідні передумови. Питання ілюзії абсолютної точності даних в геоінформаційних технологіях, відображених за допомогою комп'ютерної графіки розглядалось більше 20 років тому [4] і залишається актуальним сьогодні. З початку нового тисячоліття технології перейшли на принципово новий рівень, що потребує адаптації методологічних і методичних основ до сучасних потреб. Питання точності вимірювань, коректності картографічної візуалізації є наріжними питаннями як картоукладання, так і картокористування. Поява нових технологій дозволяє робити звичні задачі із більшою швидкістю й точністю. Є багато прикладів економічно обґрунтованих змін для отримання геодезичних даних, як, наприклад перехід від геометричного нівелювання до тригонометричного [2], або його заміна на GPS-нівелювання [5]. Але такий перехід супроводжується підвищенням вимог до точності систем відліку [6], які сьогодні активно приводяться до європейських систем замість радянських [7]. Такі питання потребують часу і ще знаходяться у процесі вирішення. Щодо картографічної частини цих змін, то основним напрямком є обробка і візуалізація цифрових даних. Робота із оцифрованими аналоговими даними в Україні обмежує можливості деталізації через втрати точності при масштабуванні. Цього можна уникнути при роботі з даними, створеними одразу у цифровому форматі. Точність, швидкість збору даних, безпека проведення робіт, можливості масштабування та перехресної перевірки отриманих та оригінальних даних є ключовими

аспектами, які визначають успішність застосування картографічних матеріалів у різних сферах людської діяльності.

Нерівності рельєфу, недосконалість способів отримання первинної інформації для створення карт, в тому разі і в результаті застосування застарілих технологій, використання застарілих географічних основ – все це призводить до зменшення точності карт взагалі і топографічних зокрема. В свою чергу це призводить до надмірних фінансових витрат і з боку підприємств, і з боку пересічних громадян. Безумовно, використання ГІС інструментів для перевірки точності географічних даних, включаючи визначення протяжності маршрутів, доступне обмеженому колу фахівців, тоді як більшість водіїв в Україні покладаються на загальнодоступні OSM, GN та Google Maps, не маючи спеціальних знань для оцінки точності цих даних. Дослідження порівняння геодезичної мережі і даних OSM було проведено для території Великої Британії [10], Саудівської Аравії [8] і в загальному для 168 країн світу [12]. Останні дослідження для Google Maps використовують для порівняння дані станцій Міжнародної служби GNSS на території Китаю, Японії, США та Західної Європи [11]. Наявність вимірювань для інших регіонів світу спонукає провести вимірювання точності даних цих ресурсів і для території України. Зазначимо, що модель GraphHopper має можливості врахування висоти поверхні за даними Shuttle Radar Topography Mission. Також зазначимо, що базові версії платформ не роблять акцент на забезпеченні високої точності і можуть округлювати деякі значення до цілих чисел.

Виклад основного матеріалу дослідження. На першому етапі нашого дослідження проводились розрахунки для підтвердження точності координат хмари точок у порівнянні із наявним геодезичним зніманням, як еталоном, для відрізка траси М-03 в Харківській області в наступній послідовності: 1. Порівняння координат точок геодезичного знімання і точок шару лазерного знімання; 2. Обчислення середнього значення квадратів різниць координат точок; 3. Обчислення середньоквадратичної похибки (СКП) для координат точок (окремо X та Y); 4. Обчислення загальної СКП для двох координат точок X та Y разом. На другому етапі дослідження хмари точок лазерного сканування було використано як еталонну основу для розрахунку і порівняння довжин, виміряних за координатами точок, із даними онлайн-карт OSM, GN та Google Maps на ділянках трас М-03 у Харківській області в Україні та I-189 у штаті Вермонт у США в наступній послідовності: 1. Визначення контрольних точок із орієнтовним кроком у 150 метрів; 2. Розрахунок горизонтального прокладення між точками за їх прямокутними координатами на основі хмари точок лазерного знімання; 3. Розрахунок відстані між точками по фізичній поверхні враховуючи рельєф;

4. Трансформація координат контрольних точок із УСК-2000 та NAD83 у WGS84 із подальшим розрахунком відстані між ними за OSM, GH та Google Maps; 5. Обчислення середньоквадратичної похибки довжин ділянок трас і встановлення точності довжин автошляхів, що визначаються за допомогою OSM, GH та Google Maps за координатами в системі WGS84. На третьому етапі дослідження за допомогою онлайн-ресурсів OSM, GH та Google Maps було виміряно довжини автомагістралей. На території США обрано найдовші магістралі, що проходять у широтному та меридіональному напрямках, їх довжину порівняно із офіційним переліком автошляхів та їх довжин згідно Federal Highway Administration (FHWA) [9]. У межах України виміряно довжини міжнародних автомагістралей і порівняно із даними протяжності з переліку затвердженому Кабінетом Міністрів України [3].

Перший етап дослідження. Наявні дані геодезичного знімання двокілометрової ділянки траси М-03 у Валківському районі Харківської області слугували еталоном і налічували 3700 точок із координатами у системі УСК-2000. На цій ділянці було проведено лазерне сканування, що дозволило отримати хмару точок високої густоти, кожна з яких мала присвоєні координати, висоту і колір в RGB-кодуванні. Робота з даними проводилась у середовищі QGIS 3.34 Prizren.

Виділено 12 точок із шару лазерного сканування, які мають максимально наближене положення

до точок геодезичного знімання (рис. 1). Їх було обрано для подальших розрахунків із використанням формули середньоквадратичної похибки - СКП:

$$\text{СКП} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i^{\text{вим}} - X_i^{\text{іст}})^2}{n}}, \text{ де}$$

$\sum_{i=1}^n (X_i^{\text{вим}} - X_i^{\text{іст}})^2$ – сума квадратів різниць між виміряним та істинним значенням для кожної точки, n - кількість вимірювань.

Дані та результати розрахунків представлено у таблицях 1 і 2. Координати точок лазерного сканування у колонках $X_{\text{л}}$, та $Y_{\text{л}}$ подано у системі координат УСК-2000, так само як і дані координат геодезичного знімання $X_{\text{г}}$ та $Y_{\text{г}}$. Горизонтальні прокладення між 12 контрольними точками розраховано на основі прямокутних координат. Наступні колонки ΔX та ΔY показують різницю між визначеним положенням точок лазерного знімання та геодезичного, визначеного у метрах. Останні колонки $(X_{\text{л}} - X_{\text{г}})^2$, та $(Y_{\text{л}} - Y_{\text{г}})^2$, показують розрахунки квадратів різниці X та Y координат визначених у квадратних метрах. Середнє значення квадратів різниць і СКП для X та Y вказано нижче даних координат точок. Значення середньої СКП для координат X та Y разом становить 0,0037 метра, відповідно 3,7 мм. Така мала похибка свідчить про практично ідеальне узгодження між лазерним скануванням і даними геодезичного знімання. Сума горизонтальних прокладень відрізків між початковою і кінцевою контрольними

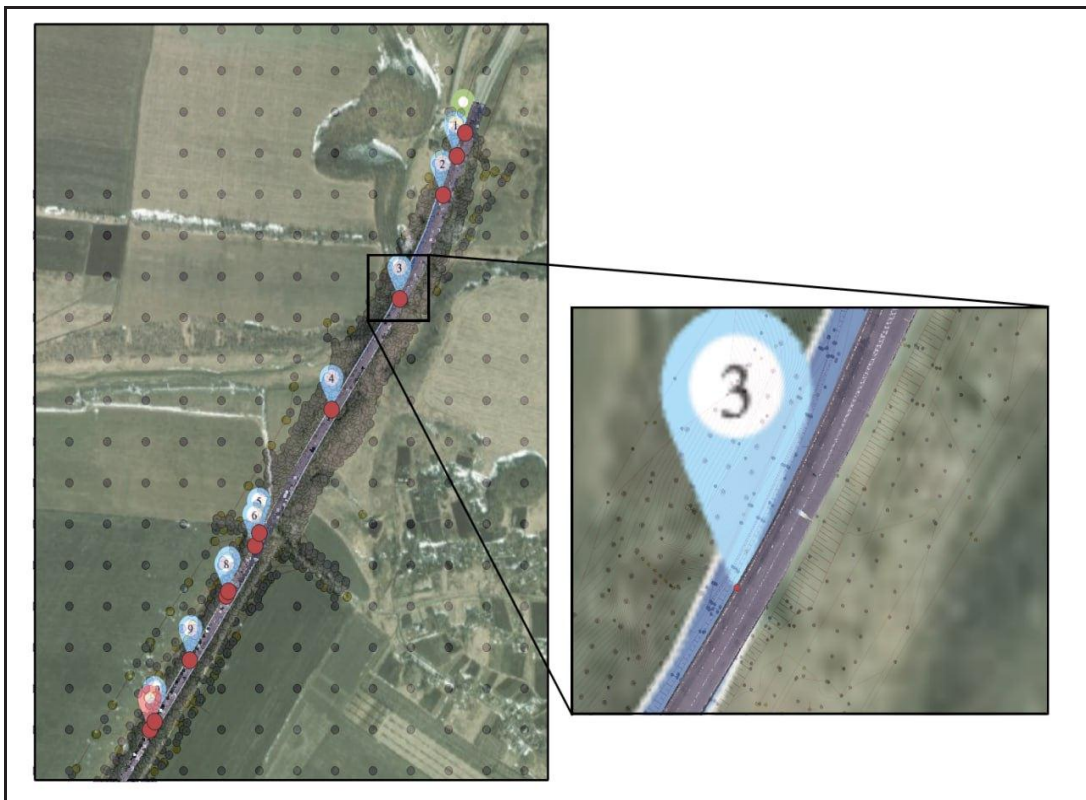


Рис. 1. Положення контрольних точок і відображення хмари точок на відрізьку траси М-03 на фоні геодезичного плану місцевості/
Fig 1. Position of control points and display of the point cloud on the M-03 road section against the background of the geodetic plan of the area)

точками за даними геодезичного знімання складає 1674,5479 метрів, а за даними лазерного знімання - 1674,5536 метри. Різниця складає 5,7 мм або 0,00034% від загальної довжини, що вказує на майже повну ідентичність горизонтальних прокладень ділянок.

Проведені розрахунки підтверджують, що лазерне сканування є надзвичайно точним методом для вимірювання і моделювання реальної поверхні, що дає можливість використовувати дані лазерного сканування як цифрову основу для потреб картографування і забезпечення високої точності розрахунків за допомогою картографічного методу, а також для можливості перехресної перевірки даних.

Другий етап дослідження. Дані лазерного сканування на цьому етапі використовувались як еталон для порівняння із даними OSM, моделі GN та Google Maps. Файли зйомки ділянки траси М-03 у Харківській області отримано від Навігаційно-геодезичного центру. Так як вони представлені в системі координат УСК-2000 необхідно трансформувати координат точок в систему WGS84 для подальших розрахунків, через використання цієї системи координат досліджуваними онлайн-сервісами. Це було виконано в середовищі QGIS 3.34 Prizren. Контрольні точки для цього етапу дослідження взято через проміжки близько 150 метрів. Довжина горизонтального прокладення, розрахо-

Таблиця 1/ Table 1

Результати розрахунку квадрата різниці X-координат контрольних точок
Results of calculating the square of the difference in X-coordinates of control points

№	X_n	X_r	$\Delta X, \text{ м}$	$(X_n - X_r)^2, \text{ м}^2$
Початкова точка	5317711,546778320	5317711,54700	-0,000221680	0,00000004914198625
1	5317723,992778320	5317723,99000	0,002778320	0,000007719060033
2	5317817,273778320	5317817,27100	0,002778321	0,000007719065208
3	5317913,389778320	5317913,39000	-0,000221680	0,00000004914198625
4	5317919,154778320	5317919,14800	0,006778320	0,00004594562606
5	5317989,347778320	5317989,35000	-0,002221679	0,000004935858979
6	5318001,325778320	5318001,32580	-0,000021679	0,0000000004699932145
7	5318191,207778320	5318191,20500	0,002778320	0,000007719060033
8	5318369,940778320	5318369,93800	0,002778320	0,000007719060033
9	5318485,747778320	5318485,75000	-0,002221680	0,000004935863117
10	5318521,284778320	5318521,28300	0,001778320	0,000003162423478
Кінцева точка	5318542,432778320	5318542,42900	0,003778321	0,00001427570759
Середнє значення квадратів різниць				0,000008685873208
СКП для координат X				0,002947180552

Таблиця 2/ Table 2

Результати розрахунку квадрата різниці Y-координат контрольних точок
Results of calculating the square of the difference in Y-coordinates of control points

№	Y_n	Y_r	$\Delta Y, \text{ м}$	$(Y_n - Y_r)^2, \text{ м}^2$
Початкова точка	5520200,85787	5520200,86400	-0,00613	0,00003754674672
1	5520221,01287	5520221,01100	0,00187	0,000003506107792
2	5520368,98387	5520368,98300	0,00087	0,00000076118679
3	5520526,09787	5520526,09000	0,00787	0,00006197563291
4	5520535,62187	5520535,62200	-0,00013	0,00000001626668151
5	5520646,11687	5520646,12000	-0,00313	0,00000978150934
6	5520677,52787	5520677,53010	-0,00223	0,000004961935022
7	5520977,60487	5520977,60200	0,00287	0,000008251024099
8	5521246,37787	5521246,38100	-0,00313	0,00000978150934
9	5521498,55587	5521498,56000	-0,00413	0,00001703658393
10	5521592,32687	5521592,33500	-0,00813	0,00006605691214
Кінцева точка	5521648,95487	5521648,95600	-0,00113	0,000001271346754
Середнє значення квадратів різниць				0,00001841223013
СКП для координат Y				0,004290947463

Таблиця 3/ Table 3

Визначення різниці горизонтальних прокладень між контрольними точками та СКП на основі OpenStreetMap (базова версія) і моделі GraphHopper для ділянки траси М-03 Харків-Валки
GraphHopper для ділянки траси М-03 Харків-Валки

Determination of the difference in horizontal layout between control points and JCS based on OpenStreetMap (basic version) and GraphHopper model for the section of the M-03 Kharkiv-Valky

№	Координати	L_r (QGIS), м	L_r (OSM), м	L_r (GH), м	ΔL_r (QGIS-OSM), м	ΔL_r (QGIS-GH), м	$(\Delta L_r)^2$ (QGIS-OSM) ² , м ²	$(\Delta L_r)^2$ (QGIS-GH) ² , м ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	49.9094772, 35.7568418	150,13	150	150,09	0,13	0,04	0,02	0,00
2	49.908204, 35.756148	149,56	149	149,06	0,56	0,50	0,31	0,25
3	49.90696, 35.755372	148,9	149	149,17	-0,10	-0,27	0,01	0,07
4	49.905751, 35.75447	146,59	147	146,74	-0,41	-0,15	0,17	0,02
5	49.904604, 35.753465	150,09	149	150,01	1,09	0,08	1,19	0,01
6	49.90348, 35.752309	150,7	151	150,46	-0,30	0,24	0,09	0,06
7	49.902349, 35.751154	150,98	150	150,86	0,98	0,12	0,96	0,01
8	49.90119, 35.75006	149,27	149	148,88	0,27	0,39	0,07	0,15
9	49.900033, 35.749014	149,98	150	150,12	-0,02	-0,14	0,0004	0,02
10	49.898882, 35.74792	147,98	147	147,79	0,98	0,19	0,96	0,04
11	49.897763, 35.746806	149,67	149	149,53	0,67	0,14	0,45	0,02
12	49.896639, 35.745661	150,59	150	150,39	0,59	0,20	0,350	0,04
13	49.895507, 35.744512	149,63	149	149,48	0,63	0,15	0,40	0,02
14	49.894376, 35.743383							
Середнє значення квадратів різниць							0,38	0,05
СКП							0,62	0,23
Частка від загального							0,032%	0,012%

вана математично в системі координат УСК-2000 складає 1949,67 метрів, з урахуванням рельєфу - 1950,65 метрів. Довжина прокладення цієї ділянки у системі координат WGS84, розрахована за допомогою інструменту Measure Line у середовищі QGIS, склала 1944,05 метрів, а враховуючи висоту точок - 1945,03 метрів. Орієнтовна похибка при трансформації ділянки з прямокутної системи координат в геоцентричну склала 5 метрів або 0,26%.

Дані у таблицях 3, 4, 5, 6 відповідають результатам розрахунків: L_r (QGIS) - горизонтальне прокладення, розраховане інструментом Measure Line в

QGIS, L_r (OSM) - горизонтальне прокладення, розраховане в базовій версії OSM, L_r (GH) - горизонтальне прокладення, розраховане за допомогою моделі GraphHopper на базі OSM, ΔL_r (QGIS-OSM) - різниця між даними, розрахованими в середовищі QGIS та даними базової версії OSM, ΔL_r (QGIS-GH) - різниця між даними QGIS та моделі GraphHopper на базі OSM, $(\Delta L_r)^2$ (QGIS-OSM)² - квадрат різниці даних QGIS та базової версії OSM, $(\Delta L_r)^2$ (QGIS-GH)² - квадрат різниці даних QGIS та моделі GraphHopper на базі OSM. Одиниці розрахунку - метри, система координат - WGS84.

Таблиця 4/ Table 4

Визначення різниці горизонтальних прокладень між контрольними точками та СКП на основі Google Maps для ділянки траси М-03 Харків-Валки
Determination of the difference in horizontal alignment between control points and JCPs based on Google Maps for the section of the M-03 Kharkiv-Valky

№	Координати	L_r (QGIS), м	L_r (Google Maps), м	ΔL_r (QGIS-Google Maps), м	$(\Delta L_r)^2$ (QGIS-Google Maps), м ²
1	2	3	4	6	8
1	49.9094772, 35.7568418	150,13	150	0,13	0,02
2	49.908204, 35.756148	149,56	150	-0,44	0,19
3	49.90696, 35.755372	148,9	150	-1,10	1,21
4	49.905751, 35.75447	146,59	150	-3,41	11,63
5	49.904604, 35.753465	150,09	150	0,09	0,01
6	49.90348, 35.752309	150,7	150	0,70	0,49
7	49.902349, 35.751154	150,98	150	0,98	0,96
8	49.90119, 35.75006	149,27	150	-0,73	0,53
9	49.900033, 35.749014	149,98	150	-0,02	0,0004
10	49.898882, 35.74792	147,98	150	-2,02	4,08
11	49.897763, 35.746806	149,67	150	-0,33	0,11
12	49.896639, 35.745661	150,59	150	0,59	0,35
13	49.895507, 35.744512	149,63	150	-0,37	0,14
14	49.894376, 35.743383				
Середнє значення квадратів різниць					1,52
СКП					1,23
Частка від загальної довжини					0,06%

Різниця між значеннями, отриманими в QGIS та розрахованими за допомогою OSM складає від -0,41 до +1,09 метрів, в свою чергу за GN складає від -0,27 до +0,50 метрів, а за допомогою Google Maps - від -3,41 до +0,98 метрів. Середнє значення квадратів різниць для відстаней ділянок, розрахованих за допомогою OSM становить 0,38 м², за GN - 0,05 м², за Google Maps - 1,52 м². Частка цих значень до загальних довжин горизонтального прокладення складає 0,032%, 0,012% та 0,06% відповідно. СКП для OSM

становить 0,62 м, для GN - 0,23 м, а для Google Maps - 1,23 м. Отже, найменші розбіжності мають дані, розраховані за допомогою GN.

Для забезпечення порівняльного аналізу виконано дослідження тих самих показників з ідентичним набором даних для частини автомобільної траси I-189 на північному сході США у штаті Вермонт. За останні 15 років лазерне сканування за допомогою пілотованих та безпілотових літальних апаратів проводилось майже на всю територію США і є

Таблиця 5/ Table 5

Визначення різниці горизонтальних прокладень між контрольними точками та СКП на основі OpenStreetMap (базова версія) і моделі GraphHopper для ділянки траси I-189 у штаті Вермонт, США
Determination of the difference in horizontal spacing between control points and CMPs based on OpenStreetMap (basic version) and GraphHopper model for a section of the I-189 highway in Vermont, USA

№	Координати	L_r (QGIS), м	L_r (OSM), м	L_r (GH), м	ΔL_r (QGIS-OSM), м	ΔL_r (QGIS-GH), м	$(\Delta L_r)^2$ (QGIS-OSM) ² , м ²	$(\Delta L_r)^2$ (QGIS-GH) ² , м ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	44.4467237, -73.210236							
		150,99	150	150,64	0,99	0,35	0,98	0,12
2	44.4471742, -73.208446							
		151,43	151	151,1	0,43	0,33	0,18	0,11
3	44.4476225, -73.2066500							
		150,79	150	150,39	0,79	0,40	0,63	0,16
4	44.4480629, -73.2048581							
		149,47	149	149,12	0,47	0,35	0,22	0,12
5	44.4484956, -73.2030802							
		145,97	148	145,86	-2,03	0,11	4,12	0,01
6	44.44885, -73.201314							
		150,97	150	150,64	0,97	0,33	0,93	0,11
7	44.4490728, -73.1994436							
		150,73	150	150,33	0,73	0,40	0,53	0,16
8	44.4492349, -73.1975635							
		150,42	150	150,03	0,42	0,39	0,18	0,15
9	44.4494046, -73.1956886							
		151,55	151	151,15	0,55	0,40	0,30	0,16
10	44.4495686, -73.1937986							
		149,45	149	149,01	0,45	0,44	0,20	0,20
11	44.449749, -73.191938							
		149,74	149	149,38	0,74	0,36	0,55	0,13
12	44.449889, -73.190067							
		154,07	154	153,68	0,07	0,39	0,004	0,15
13	44.449946, -73.188133							
		150,53	150	150,09	0,53	0,44	0,28	0,19
14	44.449989, -73.186243							
		147,56	146	146,89	1,56	0,67	2,44	0,45
15	44.450141, -73.184407							
		144,26	143	143,45	1,26	0,81	1,580	0,65
16	44.450626, -73.182732							
		151,40	151	150,96	0,40	0,44	0,160	0,19
17	44.451426, -73.181205							
Середнє значення квадратів різниць СКП							0,83	0,19
Частка від загального							0,91	0,44
							0,038%	0,018%

Таблиця 6/ Table 6

Визначення різниці горизонтальних прокладень між контрольними точками та СКП на основі Google Maps для ділянки траси I-189 у штаті Вермонт, США
Determination of the difference in horizontal spacing between control points and CMPs based on Google Maps for a section of the I-189 highway in Vermont, USA

№	Координати	L_r (QGIS), м	L_r (Google Maps), м	ΔL_r (QGIS-Google Maps), м	$(\Delta L_r)^2$ (QGIS-Google Maps), м ²
1	2	3	4	6	8
1	44.4467237, -73.210236	150,99	150,88	0,11	0,01
2	44.4471742, -73.208446	151,43	149,96	1,47	2,15
3	44.4476225, -73.2066500	150,79	150,88	-0,08	0,01
4	44.4480629, -73.2048581	149,47	149,05	0,42	0,17
5	44.4484956, -73.2030802	145,97	143,87	2,10	4,42
6	44.44885, -73.201314	150,97	150,88	0,09	0,01
7	44.4490728, -73.1994436	150,73	149,96	0,77	0,59
8	44.4492349, -73.1975635	150,42	149,96	0,46	0,21
9	44.4494046, -73.1956886	151,55	150,88	0,67	0,45
10	44.4495686, -73.1937986	149,45	149,05	0,40	0,16
11	44.449749, -73.191938	149,74	149,96	-0,22	0,05
12	44.449889, -73.190067	154,07	153,92	0,14	0,02
13	44.449946, -73.188133	150,53	149,96	0,57	0,32
14	44.449989, -73.186243	147,56	146,91	0,65	0,42
15	44.450141, -73.184407	144,26	143,87	0,39	0,15
16	44.450626, -73.182732	151,40	150,88	0,52	0,27
17	44.451426, -73.181205				
Середнє значення квадратів різниць					0,59
СКП					0,77
Частка від загального					0,032%

частиною відкритої бази даних Геологічної служби США (USGS). Проведені у Львівській політехніці дослідження підтверджують У цьому випадку ми спираємось на дослідження точності такого типу збору даних, проведене у Львівській політехніці [1]. Воно дозволяє стверджувати, що дані лазерного зніман-

ня сканувальними станціями, встановленими на літальні апарати забезпечують таку ж точність, як і ті, що створені за допомогою мобільних сканувальних платформ, встановлених на наземні транспортні засоби. Дані лазерного сканування обрано еталоном точності. Ділянка траси розбита на 16 відрізків при-

Таблиця 7/ Table 7

**Порівняння протяжності частини основних магістралей США
за даними FHWA, OSM, GH та Google Maps
Comparison of the length of some major US highways according to FHWA, OSM, GH and Google Maps**

Назва дороги	Початок маршруту	Кінець маршруту	Довжина	Горизонтальне прокладення		
			Офіційна (FHWA), км	OSM, км, (%)	GH, км, (%)	Google Maps, км, (%)
I-5	San Diego, CA (32.542523, -117.029064)	Blaine, WA (49.002076, -122.756028)	2222,97	2228,6 (+0,25)	2227,13 (+0,18)	2227,51 (+0,2)
I-10*	Santa Monica, CA (34.016665, -118.502204)	Jacksonville, FL (30.320772, -81.69301)	3959,53	3954 (-0,14)	3954,49 (-0,13)	3957,54 (-0,05)
I-40*	Barstow, CA (34.885795, -117.01435)	Murraysville, NC (34.272792, -77.868538)	4114,46	4104,30 (-0,24)	4101,50 (-0,31)	4104,40 (-0,25)
I-75	Hialeah, FL (25.896704, -80.324241)	Sault Ste. Marie, MI (46.508466, -84.360725)	2875,04	2878,4 (+0,12)	2873,83 (-0,04)	2871,39 (-0,13)
I-90*	Seattle, WA (47.592329, -122.325855)	Boston, MA (42.378909, -71.025608)	4990,78	4958,23 (-0,65)	4964 (-0,54)	4961,29 (-0,59)
I-95	Miami, FL (25.749222, -80.212333)	Houlton, ME (46.134871, -67.781248)	3096,06	3039,7 (-1,82)	3038,40 (-1,86)	3050,35 (-1,48)
Всього (частка від офіційної довжини)			21258,84	21163,23 (-0,45)	21159,35 (-0,47)	21172,48 (-0,41)

близно по 150 метрів. У системі координат NAD83 довжина горизонтального прокладення складає 2405,3 метри, з урахуванням висоти точок - 2406,9 метрів. Для продовження розрахунків, що наведені нижче (табл. 7), координати контрольних точок було трансформовано у середовищі QGIS із системи координат NAD83 у WGS84. Ця сама ділянка у системі координат WGS84, розрахована за допомогою інструменту Measure Line склала 2399,31 метрів, а враховуючи нерівність рельєфу - 2400,87 метрів. Орієнтовна похибка при трансформації ділянки з прямокутної системи координат в геоцентричну склала 6 метрів або 0,25%.

Різниця між значеннями, отриманими в QGIS та розрахованими за допомогою OSM коливаються в межах від -2,03 до +1,56 метрів, у свою чергу за допомогою GH - від +0,11 до +0,81 метрів, а за Google Maps - від -0,22 до +2,10 метрів. Середнє значення квадратів різниць для відстаней ділянок, розрахованих за допомогою OSM складає 0,83 м², GH - 0,19 м², Google Maps - 0,59 м². Відношення цих значень до загальних довжин горизонтального прокладення складає 0,038%, 0,018% та 0,32% відповідно. СКП для OSM дорівнює 0,91 м, для GH - 0,44 м, а для Google Maps - 0,77 м. Бачимо, що найменші розбіжності мають дані, розраховані за допомогою GH.

Згідно проведених розрахунків бачимо, що кінцеві результати горизонтальних прокладень, розрахованих за допомогою OSM, GH та Google Maps мають значення більші за розбіжність у -0,25% при

трансформації систем координат. Розбіжність горизонтальних прокладень не має закономірності, і відповідно, можливості приведення до коефіцієнтів поправки. Найменшу похибку і найближчі значення до розрахунків за лазерним скануванням мав ресурс GraphHopper як в Україні, так і в США.

Третій етап дослідження. Після отриманих значень похибок для тестових ділянок у декілька кілометрів ми перейшли до розрахунку протяжності найдовших основних автомагістралей в США і більшості міжнародних магістралей в межах України за допомогою OSM, моделі GraphHopper та Google Maps. Розрахунки порівнювались із офіційними даними Federal Highway Administration для автошляхів США і даних протяжності автомобільних доріг затверджених Кабінетом Міністрів для України. Це дозволило оцінити точність картографічної візуалізації автомобільних мереж на міжнародному рівні у масштабах країн та виявити загальні тенденції. У таблицях 7 і 8 представлені координати початкових та кінцевих точок автомобільних шляхів, але протяжність горизонтального прокладення була отримана як сума протяжностей 20 рівномірно розподілених відрізків. Зірочкою (*) позначено дороги, на яких є гірські ділянки.

В обох випадках спостерігаються як додатні, так і від'ємні значення розбіжності для розрахованих значень горизонтальних прокладень доріг за всіма онлайн-картами у порівнянні з офіційними даними. Загальна довжина горизонтальних прокладень до-

Таблиця 8/ Table 8

Порівняння протяжності міжнародних магістралей в межах України за даними переліку автомобільних доріг, OSM, GH та Google Maps
Comparison of the length of international highways within Ukraine according to the list of roads, OSM, GH and Google Maps

Назва магістралі	Початок маршруту	Кінець маршруту	Довжина	Горизонтальне прокладення		
			Офіційна (КМУ), км	OSM, км, (%)	GH, км, (%)	Google Maps, км, (%)
M-01	Київ (50.467786, 30.655628)	Скиток (52.073292, 30.970708)	242,9	210,4 (-13,38)	210,34 (-13,41)	210,3 (-13,42)
M-02	Кіпті (51.065925, 31.156615)	Бачийськ (51.875190, 34.324300)	260,2	241,9 (-7,03)	241,9 (-7,03)	241,9 (-7,03)
M-05	Київ (50.370562, 30.458902)	Одеса (46.469459, 30.741005)	560,8	464,7 (-17,14)	464,6 (-17,15)	464,8 (-17,12)
M-06*	Київ (50.455500, 30.357930)	Чоп (48.414597, 22.171238)	902,2	817,4 (-9,40)	817,46 (-9,39)	817,1 (-9,43)
M-07	Київ (50.515848, 30.361617)	Старовойтово (51.189694, 23.813069)	499,7	487,5 (-2,44)	487,41 (-2,46)	487,5 (-2,44)
M-08	Ужгород (48.577181, 22.335249)	Ужгород (48.654875, 22.26522)	17,1	13,7 (-19,88)	13,68 (-19,99)	13,7 (-19,88)
M-09	Тернопіль (49.547711, 25.545195)	Рава-Руська (50.274377, 23.588923)	175	192 (+9,71)	192,02 (+9,73)	191,9 (+9,66)
M-10	Львів (49.842972, 24.015843)	Краковець (49.954944, 23.114277)	70,2	70,2 (0,00)	70,22 (+0,04)	70,2 (0,00)
M-11	Львів (49.844759, 24.029234)	Шегині (49.799712, 22.947802)	71,6	82,3 (+14,94)	82,32 (+14,97)	81 (+13,13)
M-13	Кропивницький (48.513427, 32.16021)	Платонове (47.406719, 29.334677)	258,6	253,1 (-2,13)	252,79 (-2,24)	252,8 (-2,24)
M-15	Одеса (46.472553, 30.741049)	Рені (45.480978, 28.224516)	297,7	307,49 (+3,29)	307,41 (+3,26)	307,4 (+3,26)
M-16	Одеса (46.486519, 30.614008)	Кучурган (46.737678, 29.971039)	58,9	58,9 (0,00)	58,9 (0,00)	58,9 (0,00)
M-19	Доманове (51.826588, 24.312668)	Тереблече (47.988096, 26.061112)	534,1	540,6 (+1,22)	540,55 (+1,21)	540,0 (+1,10)
M-20	Харків (50.101153, 36.26839)	Гоптівка (50.330301, 36.277156)	28,4	26,4 (-7,04)	26,38 (-7,11)	26,4 (-7,04)
M-21	Виступовичі (51.660982, 29.120844)	Могилів-Подільський (48.444109, 27.790420)	410,7	421,68 (+2,67)	421,62 (+2,66)	422 (+2,75)
M-22	Полтава (49.560093, 34.524616)	Олександрія (48.691858, 33.111374)	148,2	165,1 (+11,40)	165,1 (+11,40)	165 (+11,34)
M-23	Берегове (48.206122, 22.645422)	Велика Копаня (48.195189, 23.14463)	50	49 (-2,00)	48,98 (-2,04)	49,1 (-1,98)
M-24	Велика Добронь (48.422132, 22.391779)	Лубянка (48.165592, 22.574168)	60,5	60,5 (0,00)	60,45 (-0,08)	60,4 (-0,17)
M-25	Соломонове (48.435622, 22.139438)	Яноши (48.252762, 22.626302)	58,9	58,8 (-0,17)	58,79 (-0,18)	58,6 (-0,51)
M-26	Вилок (48.110786, 22.836691)	Неветленфолу (47.995749, 23.001533)	20,8	20,5 (-1,44)	20,54 (-1,25)	20,5 (-1,44)
M-27	Одеса(46.397058, 30.707488)	Чорноморськ (46.319199, 30.639824)	14,1	15,15 (+7,44)	15,15 (+7,44)	15,2 (+7,80)
M-28	Одеса (46.443412, 30.623826)	Сичавка (46.650106, 31.131955)	37,2	36,3 (-2,42)	36,32 (-2,37)	36,3 (-2,42)
M-29	Харків (49.972282, 35.991246)	Дніпро (48.587774, 35.14746)	198,9	181,5 (-8,75)	181,52 (-8,74)	181,5 (-8,75)
Всього (частка від офіційної довжини)			4131,5	4712,25 (+14,06)	4715,25 (+14,13)	4772,5 (+15,52)

ріг в США, розрахованих за допомогою OSM, GH та Google Maps відповідно на 0,45%, 0,47% і 0,41% менші за офіційну. У випадку з дорогами України розбіжності набагато більші. Розраховані горизонтальні прокладення за допомогою OSM, GH та Google Maps відповідно на 14,06%, 14,13% та 15,52% більші за офіційні дані. І це є велике питання: «Чому? Як так вийшло, що ці дані заперечують той факт, що горизонтальне прокладення завжди має бути менше або дорівнювати вимірній відстані?». Хоча довжина деяких доріг (М-10, М-16, М-24) точно або майже точно сходиться із даними офіційного переліку.

В обох випадках значення самих похибок за трьома онлайн-ресурсами дуже близькі, що говорить про схожий, хоча і не ідентичний підхід до розрахунку горизонтальних прокладень. Також важливим є те, що референц-еліпсоїд GRS80 для УСК-2000 майже ідентичний по радіусу і сплюснутості до WGS84, тому похибки, що виникають через трансформацію систем координат мають бути мінімальні. Округлення даних протяжності доріг до цілих чисел на онлайн-картах та ігнорування рельєфу в разі розрахунків горизонтального прокладення може збільшувати розбіжність до декількох відсотків, але не десятків. Це свідчить про те, що проблема точності даних в Україні може бути зумовлена меншою частотою оновлення офіційних джерел, а також невірно заданих параметрах. Це спонукає до створення можливих способів перехресного контролю, в тому числі використовуючи дані лазерного сканування.

Висновки. Дослідження показало, що точність картографічних даних для території США, є значно вищою, ніж для території України. Розбіжності для США не перевищують 1,86%, що свідчить про регулярне оновлення даних та якісне їх джерело. Водночас для України розбіжності на деяких ділянках досягають 19,99%, що вказує на значне відставання в актуалізації офіційних картографічних ма-

теріалів. Серед трьох розглянутих онлайн-ресурсів — OpenStreetMap, Google Maps і GraphHopper — саме GraphHopper демонструє найменші розбіжності як для території США, так і для території України, і який можна рекомендувати для вимірювання відстаней, в тому числі для потреб логістики.

Лазерне сканування продемонструвало високу точність у визначенні довжин лінійних об'єктів. Середньоквадратична похибка для лазерного методу залишається в межах, які задовольняють сучасні геодезичні вимоги. Це підтверджує доцільність використання лазерного сканування як базової технології та цифрової основи для створення нових або оновлення існуючих картографічних даних. Порівняння вимірювань поверхні шляхом геодезичного знімання або лазерного сканування показало майже ідентичні результати, що потенційно дозволяє використовувати обидва методи для перевірки результатів вимірювань реальної поверхні, отриманих картографічним методом. Висока точність сканування і представлення даних у цифровому форматі без проміжних кроків оцифрування має потенціал для використання такого цифрового шару як контрольного при перевірці протяжності лінійних об'єктів, зокрема автомобільних шляхів.

Із трьох проаналізованих картографічних ресурсів, OpenStreetMap, GraphHopper та Google Maps, найбільш точним є GraphHopper і саме його можна рекомендувати для використання в практичній діяльності автотранспортної галузі.

Картографічна основа для території України потребує термінового оновлення, проведеного за результатами сучасних топографо-геодезичних знімань, в тому числі за допомогою лазерного знімання. Можливість визначення реальних довжин транспортних шляхів є необхідним фактором ефективного економічного функціонування і розвитку держави в цілому.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Готов В., Петришин І. Дослідження точності визначення координат точок місцевості лазерним сканером VLP-16, встановленим на БПЛА DJI S1000. *Вісник Західного геодезичного товариства*. 2022. Вип. 1 (43). С. 105–113.
2. Джуман Б.М. Застосування тригонометричного нівелювання в висотній опорній мережі кадастрових зйомок. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 1997. Вип. 1 (58). С. 54–55.
3. Кабінет Міністрів України. Про затвердження переліку автомобільних доріг загального користування державного значення: Постанова від 15 грудня 2023 р. № 1318. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1318-2023-%D0%BF#n6>
4. Мкртчян О.С. Оцінка точності цифрової моделі рельєфу та її використання в моделюванні. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2002. Вип. 1 (62). С. 125–130.
5. Островський А.Л., Мороз О.І. До проблеми оновлення державної висотної основи України. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2000. Вип. 1 (60). С. 54–58.
6. Сосса Р.І. Стан та перспективи картографічного забезпечення України. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2000. Вип. 1 (61). С. 167–173.
7. Тревого І., Заблоцький Ф., Піскорек А., Джуман Б., Вовк А. Про модернізацію Української висотної системи. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2021. № 1 (93). С. 13–26.
8. El-Ashmawy K.L.A. Testing the positional accuracy of OpenStreetMap data for mapping applications. *Geodesy and Cartography*. 2016. Vol. 42, No 1. P. 25–30. DOI: <https://doi.org/10.3846/20296991.2015.1160493>.
9. FHWA Route Log and Finder List. Table 1 – Main Route // U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration: 2025. URL: https://www.fhwa.dot.gov/planning/national_highway_system/interstate_highway_system/routefinder/table01.cfm (дата звернення: 03.05.2024)

10. Haklay M. How Good is Volunteered Geographical Information? A Comparative Study of OpenStreetMap and Ordnance Survey Datasets. *Environment and Planning B: Planning and Design*. 2010. Vol. 37, No. 4. P. 682–703. DOI: <https://doi.org/10.1068/b35097>.

11. Wang X.W., Wang F. The precision of Google Earth map analysis with the coordinates of IGS stations. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2020. Vol. XLII-3/W10. P. 1053–1056. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-W10-1053-2020>.

12. Zhou Q., Wang S., Liu Y. Exploring the accuracy and completeness patterns of global land-cover/land-use data in OpenStreetMap. *Applied Geography*. 2022. Vol. 145, August. Art. 102742. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2022.102742>.

Стаття надійшла до редакції 08.05.2024

Стаття рекомендована до друку 17.06.2024

Peresadko Vilina Anatoliyivna – Doctor of Geographical Sciences, Professor, Professor of the Department of Physical Geography and Cartography Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism. V. N. Karazin Kharkiv National University; e-mail: vilinaperesadko@karazin.ua; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-2439-2788>

Dmytrykov Oleg Oleksandrovych – PhD (Earth's Sciences) Student, The Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism. V.N. Karazin Kharkiv National University; e-mail: oleg.dmytrykov@student.karazin.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9717-2033>

Dzhos Anatolii Mykolaiovych – PhD of Sciences (Agricultural), department head State Enterprise «Ukrainian state aerogeodetic enterprise», 69 Velyka Vasylykivska St., Kyiv, 03150, Ukraine; e-mail: anatolij.dzh62@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-2809-4751>

ANALYSIS OF THE ACCURACY OF MAPPING INFORMATION (USING THE EXAMPLE OF MOTORWAY MAPPING IN UKRAINE AND THE USA)

The aim of the study is to assess the accuracy of online data in comparison with geodetic and laser measurement methods, and to determine the length of major roads by comparing them with official data from the United States and Ukraine.

Main material. A comparative analysis of traditional geodetic surveys and laser scanning of US and Ukrainian roads showed almost identical results. This became the basis for assessing the accuracy of OpenStreetMap (OSM), GraphHopper (GH) and Google Maps. For each segment whose length was measured, we determined the difference in point coordinates, the squares of the point coordinate differences, the average of the squares of the point coordinate differences, the root mean square error for X and Y coordinates, the total root mean square error, and the ratio of the error to the total length of the route.

The **results** showed discrepancies between official FHWA data, CMU data and online resources. For highways in the United States, the differences are insignificant (-1.86% to +0.25%). In Ukraine, they can reach 19.99% in some cases, which may be due to the lower frequency of updates of official sources. This underlines the need for cross-checking, in particular by means of laser scanning.

Conclusions. The comparison of geodetic and laser measurements has shown their high accuracy, which allows the use of these methods to verify cartographic data. Laser scanning, presented in a digital format without intermediate digitisation steps, can serve as a control layer for determining the length of linear objects, including roads. Of the three online resources, GraphHopper shows the smallest discrepancies for both the United States and Ukraine. Ukraine's mapping framework needs to be updated based on modern topographic and geodetic surveys, including laser scanning. Determining the exact length of transport routes is important for the effective development of the country.

Keywords: transport network, roads, map accuracy, map modelling, Google Maps, OpenStreetMap, GraphHopper model, laser scanning.

REFERENCES:

1. Glotov, V., Petryshyn, I. (2022). Accuracy assessment of local terrain point coordinates determined by VLP-16 laser scanner mounted on UAV DJI S1000. *Bulletin of the Western Geodetic Society*, 1 (43), 105–113 [in Ukrainian].
2. Dzhuman, B.M. (1997). Application of trigonometric leveling in the height reference network of cadastral surveys. *Geodesy, Cartography, and Aerial Photography*, 1 (58), 54–55 [in Ukrainian].
3. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2023, December 14). *On the approval of the list of public roads of national importance*. (Resolution № 1318). Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1318-2023-%D0%BF#n6> (accessed: 03.10.2024) [in Ukrainian].
4. Mkrtchian, O.S. (2002). Accuracy assessment of the digital elevation model and its application in modeling. *Geodesy, Cartography, and Aerial Photography*, 1 (62), 25–130 [in Ukrainian].
5. Ostrovskiy, A.L., Moroz, O.I. (2000). On the problem of updating the national height reference framework of Ukraine. *Geodesy, Cartography, and Aerial Photography*, 1 (60), 54–58 [in Ukrainian].
6. Sossa, R.I. (2000). Status and prospects of cartographic support in Ukraine. *Geodesy, Cartography, and Aerial Photography*, 1 (61), 167–173 [in Ukrainian].
7. Trevoho, I., Zablotskyi, F., Piskorek, A., Dzhuman, B., Vovk A. (2021). On the modernization of the Ukrainian height system. *Geodesy, Cartography, and Aerial Photography*, 1 (93), 13–26 [in Ukrainian].

8. El-Ashmawy K.L.A. (2016). Testing the positional accuracy of OpenStreetMap data for mapping applications. *Geodesy and Cartography*, Vol. 42, 1, 25–30. DOI: <https://doi.org/10.3846/20296991.2015.1160493> [in English].
9. FHWA Route Log and Finder List. Table 1 – Main Route (2025). U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. Available at: https://www.fhwa.dot.gov/planning/national_highway_system/interstate_highway_system/routefinder/table01.cfm (accessed: 03.05.2024) [in English].
10. Haklay, M. (2010). How Good is Volunteered Geographical Information? A Comparative Study of OpenStreetMap and Ordnance Survey Datasets. *Environment and Planning B: Planning and Design*, Vol. 37, 4, 682–703. DOI: <https://doi.org/10.1068/b35097> [in English].
11. Wang, X.W., Wang, F. (2020). The precision of Google Earth map analysis with the coordinates of IGS stations. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XLII-3/W10, 1053–1056. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-W10-1053-2020> [in English].
12. Zhou, Q., Wang, S., Liu, Y. (2022, August). Exploring the accuracy and completeness patterns of global land-cover/land-use data in OpenStreetMap. *Applied Geography*, Vol.145, 102742. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2022.102742> [in English].

The article was received by the editors 08.05.2024

The article is recommended for printing 17.06.2024