



**В. М. Ковтун<sup>1</sup>, Л. І. Дорош<sup>1</sup>, М. Р. Ничвид<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна

<sup>2</sup>Ужгородський національний університет, м. Ужгород, Україна

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ЗНАХОДЖЕННЯ МАСШТАБНИХ КОЕФІЦІЄНТІВ ЦИФРОВИХ ОРТОФОТОПЛАНІВ

Сучасні способи отримання картографічного матеріалу з використанням супутникових знімків, їх точність та дешевизна відкривають нові горизонти для їх використання. Натепер різні види космічного матеріалу не тільки використовують для вирішення широкого кола науково-практичних задач, але й під час різних топографо-геодезичних робіт. Метою цієї роботи є дослідження масштабних коефіцієнтів. Відомо, що лінійним масштабом карти є відношення довжин лінійних елементів на карті до довжин відповідних реальних об'єктів. Тобто масштабування можна назвати переходом від супутникових зображень до змасштабованих цифрових ортофотопланів, використовуючи масштабний коефіцієнт. Оперуючи масивом довжин відповідних елементів постає проблема вибору елемента, що слугуватиме для масштабування. З практики відомо (Burak & Dorosh, 2015), що для кожного елемента з цього масиву існуватиме свій масштабний коефіцієнт. Після трансформування супутникових знімків існує ймовірність невідповідності поперечного та поздовжнього масштабу, тому для дослідження масштабних коефіцієнтів використовували значення площ споруд, оскільки були відомі їх реальні розміри, отримані шляхом інструментальних спостережень. Масштабуючи картографічний матеріал, за кожним з обчислених коефіцієнтів розраховували їх відхилення від істинних значень, що дало змогу отримати середньоквадратичні похибки знаходження площ споруд. Використовуючи спосіб найменших квадратів, розроблено алгоритм розрахунку оптимального масштабного коефіцієнта, за якого середньоквадратична похибка знаходження площ усіх обраних будівель є мінімальною. Отримані значення масштабних коефіцієнтів, віддаленість від центра фотоплану споруд та СКП знаходження площ дали змогу встановити кореляційні зв'язки між цими величинами. Проаналізувавши коефіцієнти кореляції Спірсона та Пірсона, можна стверджувати, що масштабування ортофотоплану за найбільшим значенням площі споруди не гарантує найкращу якість цього масштабування.

**Ключові слова:** ортофотоплан; лінійна точність масштабу; СКП; кореляційний аналіз.

**Вступ.** Здебільшого аеро- та космічні знімки є найнадійнішим та найактуальнішим джерелом просторової інформації і їх застосування дає змогу приймати обґрунтовані та своєчасні рішення. Зі зростанням використання космічних знімків збільшується і кількість досліджень, які спрямовані на визначення їх придатності для розв'язання тих чи інших науково-практичних задач у різних сферах людської діяльності [Kobylinska, 2009].

Технологія отримання даних дистанційного зондування, їх подальше опрацювання та інтерпретація постійно розвиваються на основі синергетичних підходів, тобто на основі комплексних методів отримання, опрацювання та інтерпретації аерокосмічної інформації, що ґрунтуються на спільному використанні даних, які різняться за методами (Baran et al., 2006; Burshtynska & Stankevych, 2013; Kobylinska, 2009; Lialko et al., 2004; Cheng et al., 2003; Haralick et al., 1987).

З появою космічних знімків на ринку з'явилися нові можливості для створення геоінформаційних продуктів, на основі їх використання, векторних і растрових картографічних матеріалів із застосуванням геоінформа-

ційних систем і технологій (Barladin & Mykolenko, 2011; Kosarev & Yasnev, 2011). Щодо картографії, то використання космічних знімків є однією з передових сфер застосування. Сучасна технологія оновлення та створення картографічних матеріалів, зображення берегової лінії морів і озер, визначення площ сільськогосподарських угідь, дослідження розвитку динаміки карстових явищ для виконання аналізу і прогнозування зсувів (обвалів та ін.) і т. ін., повинна базуватися на застосуванні аерокосмічних даних, як джерела актуальної та об'єктивної просторової інформації. Тому виникають деякі проблеми з опрацюванням матеріалів космознімання, подальше опрацювання яких впливатиме на точність визначення площ, віддалей, координат та ін.

Беручи до уваги публікацію (Burak & Dorosh, 2015), прийнято рішення щодо встановлення точності знаходження площ на ортофотоплані та вдосконалення цього методу масштабування із застосуванням алгоритму розв'язку оптимального масштабного коефіцієнта, за якого середні квадратичні похибки знаходження площ будуть мінімальними.

**Мета дослідження** – визначити точність масштаб-

### Інформація про авторів:

**Ковтун Віталій Миронович**, асистент кафедри інженерної геодезії. Email: rjdney@gmail.com

**Дорош Любов Ігорівна**, аспірант кафедри інженерної геодезії. Email: liubov.dorosh@gmail.com

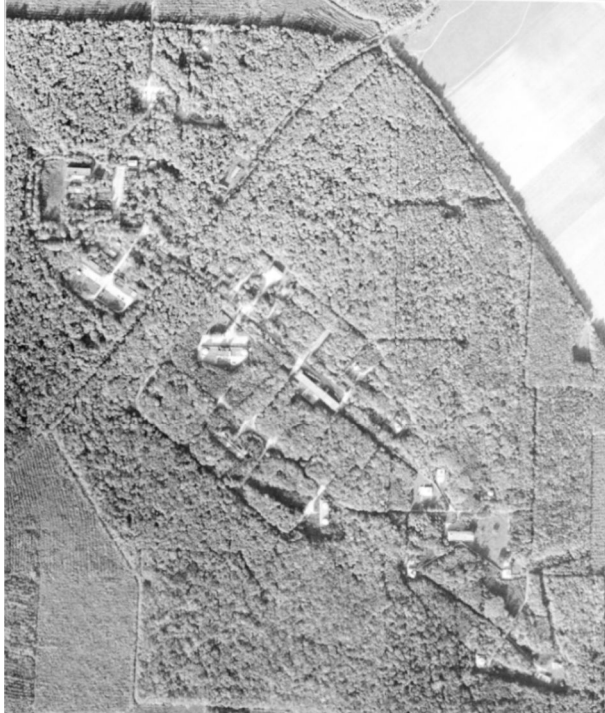
**Ничвид Марія Романівна**, старший викладач кафедри землевпорядкування та кадастру. Email: nychvydmariya@ukr.net

**Цитування за ДСТУ:** Ковтун В. М., Дорош Л. І., Ничвид М. Р. Дослідження точності знаходження масштабних коефіцієнтів цифрових ортофотопланів. Науковий вісник НЛТУ України. 2017. Вип. 27(6). С. 168–171.

**Citation APA:** Kovtun, V. M., Dorosh, L. I., & Nychvyd, M. R. (2017). Investigation of Accuracy for the Determination of Scale Coefficient of Digital Orthophotos. *Scientific Bulletin of UNFU*, 27(6), 168–171. <https://doi.org/10.15421/40270634>

них коефіцієнтів та визначити кореляційні залежності, що впливають на цю точність.

**Матеріали та методи дослідження.** Вихідними матеріалами послуговували дані, надані ЦПОСІ та КНП (Центр прийому й оброблення спеціальної інформації та контролю навігаційного поля), а саме: ортофотоплан (рис. 1), а також розміри і каталог координат споруд, отримані шляхом інструментальних спостережень.



Projection: Geographic (Lat/Long)  
Spheroid: Clarke 1866  
Datum: Clarke 1866  
EPS6 Code: 4008  
Size: 4070x4856px (19.76 MP)

**Рис. 1.** Вихідний ортофотоплан

Масштабні коефіцієнти обчислювали шляхом співвідношення дійсного значення площі до вимірюваного на картографічному матеріалі. Під час кожного масштабування ортофотоплану вимірювали на картографічному матеріалі довжини відповідних споруд, отримані значення площ порівнювали з дійсними. Унаслідок чого виконано оцінку точності знаходження площ на ортофотоплані.

**Результати дослідження.** На основі інструментальних вимірів площ споруд та їх значення, отриманих з картографічного матеріалу, встановлено коефіцієнти

масштабування для кожного обраного об'єкта. Перед тим як розраховувати СКП знаходження площ, виконали перевірку статистичної гіпотези про нормальність закону розподілу за допомогою критерію  $\chi^2$

$$\chi_{\text{фак}}^2 < \chi_{\text{таб}}^2 \quad (1)$$

У нашому випадку  $\chi_{\text{фак}}^2 = 1,367$ , яке значно менше від табличного значення  $\chi_{\text{таб}}^2 = 9,348$ , це свідчить, що вибірка підлягає нормальному закону розподілу.

СКП знаходження площі розраховано за відомою формулою Гауса. До прикладу, наведемо розрахунок СКП знаходження площі споруди № 400, значення площі якої є найбільшою (табл. 1).

Оперуючи фактом, що масштабним коефіцієнтом є відношення площі споруди на космічному знімку до площі, отриманої з інструментальних спостережень, розрахували значення для кожної споруди. Зрозуміло, що для кожного значення площі масштабний коефіцієнт відрізнявся, тому, використовуючи один коефіцієнт для всіх споруд, виникали похибки у значеннях площ інших споруд, що дало змогу розрахувати СКП знаходження площ для кожного масштабного коефіцієнта. За одиницю ваги вибрано суму площ будівель, що використовували для обрахунків.

На основі проведених досліджень, сформовано зведену таблицю результатів (табл. 2). У ній наведено значення середньоквадратичних похибок знаходження площ споруд, які використовували для масштабування, а також віддаленість центра кожної споруди від центра знімку.

Для знаходження оптимального значення масштабного коефіцієнта пропонуємо використовувати метод найменших квадратів. Під оптимальним значенням масштабного коефіцієнта маємо на увазі таке значення, за якого похибки знаходження площ споруд будуть найменшими.

$$M = \sqrt{\frac{\sum P_i \cdot V_i^2}{n}}; \quad (2)$$

$$P_i = \frac{S_i}{\sum S_i}; \quad (3)$$

$$V_i = S_i \cdot k - S_i, \quad (4)$$

де:  $P_i$  – вага  $i$ -тої величини;  $V_i$  – похибка  $i$ -тої величини;  $n$  – кількість споруд;  $S_i$  – площа  $i$ -тої споруди;  $S_i$  – дійсне значення площі  $i$ -тої споруди;  $k$  – коефіцієнт масштабування.

**Табл. 1.** Розрахунок СКП знаходження площ, використовуючи масштабний коефіцієнт найбільшої споруди (№ 400-2470 м<sup>2</sup>)

№ споруди	Дійсне значення площі $S_i$ , м <sup>2</sup>	Коеф. Масштабування	Виміряне значення площі на ортофотоплані, м <sup>2</sup>	Масштаб. значення площі $S_i$ , м <sup>2</sup>	$\Delta S_i$ , м <sup>2</sup>	$\Delta S_i^2$ , м <sup>2</sup>	Ваги, $P_i$	$\Delta S_i^2 \cdot P_i$	СКП, м <sup>2</sup>
247	372,290	0,00172579	221344,952	381,994	9,704	94,172	0,038	3,585	2,7441
253	453,840		274538,093	473,794	19,954	398,172	0,047	18,802	
200	1182,509		677865,877	1169,852	-12,657	160,194	0,117	18,677	
228	1171,200		671095,604	1158,168	-13,032	169,833	0,115	19,603	
400	2470,000		1431231,193	2470,000	0,000	0,000	0,246	0,000	
400 1	878,400		508889,870	878,235	-0,165	0,027	0,088	0,002	
225	453,840		273257,880	471,585	17,745	314,880	0,047	14,799	
9	613,531		355290,060	613,155	-0,376	0,141	0,061	0,009	
232	450,976		263255,524	454,323	3,347	11,199	0,045	0,507	
295	412,100		242784,417	418,994	6,894	47,529	0,042	1,985	
11	782,550		447229,810	771,823	-10,727	115,061	0,077	8,851	
15	436,650		243886,855	420,897	-15,753	248,165	0,042	10,410	
241	355,233		203325,694	350,897	-4,336	18,798	0,035	0,657	

Табл. 2. Зведена таблиця отриманих результатів

№ споруди	Дійсне значення площі $S_i$ , м <sup>2</sup>	Коеф. масштабування	СКП, м	Віддаленість від центра знімку до центрів споруд, м
247	372,3	0,001682	11,0	24606,6
253	453,8	0,001653	17,4	3193,3
200	1182,5	0,001744	4,5	14464,1
228	1171,2	0,001745	4,6	9982,6
400	2470,0	0,001726	2,7	1509,5
400 1	878,4	0,001726	2,7	2494,8
225	453,8	0,001661	15,7	6820,9
9	613,5	0,001727	2,7	18067,4
232	451,0	0,001713	4,4	119726,8
295	412,1	0,001697	7,6	7470,6
11	782,6	0,00175	5,5	14078,7
15	436,7	0,00179	14,3	16462,7
241	355,2	0,001747	5,0	10875,7

З теорії способу найменших квадратів відомо, що для розв'язку необхідно знайти екстремуми функції.

Після знаходження часткових похідних отримано формулу для розрахунку оптимального значення масштабного коефіцієнта

$$k_{opt} = \frac{\sum (s_i \cdot S_i^2)}{\sum (S_i \cdot s_i^2)} \quad (5)$$

Значення оптимального коефіцієнта масштабування фотоплану після низки обчислень становить  $k_{opt}=0,001727261$ .

Розрахунок коефіцієнтів Пірсона і Спірмена виконано за такою формулою:

$$r_{L,n} = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})(k_i - \bar{k})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2 \sum_{i=1}^n (k_i - \bar{k})^2}} \quad (6)$$

де:  $S_i$  – площа  $i$ -тої сторони будівлі;  $\bar{S}$  – середнє значення площ будівель;  $k_i$  – масштабні коефіцієнти;  $\bar{k}$  – середнє значення масштабних коефіцієнтів;  $n$  – об'єм вибірки (кількість споруд).

За допомогою формул (6) та використовуючи отримані дані, знайдені кореляційні зв'язки між величинами, а також двосторонню значимість, яка вказує на достовірність отриманих залежностей (Мармоза, 2013; Mandel, 1964). У табл. 3 наведено розраховані коефіцієнти кореляції Спірмена і Пірсона, як такі, що характеризують непараметричні залежності між величинами.

Табл. 3. Коефіцієнти кореляції

Кореляція	Площа	Віддаленість
Пірсона	-0,479	-0,169
Спірмена	-0,503	-0,060

Існує обернена залежність між площею будівлі, що використовується для масштабування та СКП визначення площ будівель на картографічному матеріалі. На цю залежність вказує коефіцієнт кореляції Спірмена, який становить -0,503 із значимістю 0,079, а також коефіцієнт Пірсона – 0,479 зі значимістю 0,098. Також розраховано коефіцієнт між СКП та віддаленістю від центра знімка – -0,169, що свідчить про низьку залежність між цими величинами.

**Висновки.** За результатами проведених досліджень встановлено кореляційні зв'язки між СКП знаходження площі та площею споруд (-0,479); та з віддаленістю споруди від центра ортофотоплану (-0,169). За отриманими значеннями коефіцієнтів кореляції та даними, наведеними у табл. 3, можна стверджувати, що існує зворотна середня залежність між площею споруди та СКП, а також низька залежність між віддаленістю та СКП.

Запропонований алгоритм розрахунку оптимального значення масштабного коефіцієнта ортофотоплану підвищує точність масштабування. Використовуючи розраховане значення оптимального коефіцієнта масштабування ( $k_{opt}=0,001727261$ ) СКП знаходження площі становило 2,6851 м, а використовуючи найбільшу споруду для масштабування СКП становитиме 2,7441 м. Хоча різниця розрахованих значень СКП є невелика, важливими є значення максимальних відхилень, що істотно різняться у двох способах. Це дає змогу стверджувати, що для досягнення найвищої точності масштабування космознімка недостатньо використовувати середнє значення масштабних коефіцієнтів чи значення, отримане використовуючи найбільшу споруду для масштабування.

Для підвищення точності масштабування космічних знімків пропонуємо використовувати описаний алгоритм, що базується на методі найменших квадратів для розрахунку масштабних коефіцієнтів.

### Перелік використаних джерел

- Baran, P. I., Mitskevych, N. A., Oleksii, I. I., Prymak, L. V., Sulyma, V. O., Sushko, V. H. (2006). Pro vykorystannia kosmichnykh znimkiv dla kadastru zemel ta velykomasshtabnoho kartohraphuvannia [On using aerophotographical plans for cadastre and large-scale mapping]. *Visnyk heodesii i kartohraphii* [Journal of Geodesy and Cartography], 6, 31–37. [in Ukrainian].
- Barladin, O. V., & Mykolenko, L.I. (2011). Vykorystannia danykh dystantsiynoho zonduvannia Zemli dla stvorennia aktualnykh elektronnykh resursiv [Using Earth sounding from space for creating relevant electronic resources] *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva* [Modern achievements in geodetic science and industry], 21, 162–166. [in Ukrainian].
- Burak, K. O., & Dorosh, L. I. (2015). Doslidzhennia mozhlyvosti vykorystannia materialiv kosmoznimannia dla vyznachennia plosch [Study of options to use aerophotographical materials for calculating land areas]. *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva* [Modern achievements in geodetic science and industry], 30, 162–168. [in Ukrainian].
- Burshtynska, Kh., & Stankevych, S. A. (2013). Aerokosmichni zni-malni systemy: pidruchnyk [Handbook on aerophotographical systems]. Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House. 316 p. [in Ukrainian].
- Cheng, P., Toutin, T., Zhang, Y., & Wood, M. (2003). Quick Bird. Geometric Correction, Path and Block Processing and Data Fusion, *Earth Observation Magazine*.
- Haralick, R. M., & Shapiro, L. G. (1987). Image Segmentation Techniques. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 29(1), 100–132. [https://doi.org/10.1016/S0734-189X\(85\)90153-7](https://doi.org/10.1016/S0734-189X(85)90153-7)
- Haralick, R. M., Stenberg, S. R., & Zhuang, X. (1987). Image analysis using mathematical morphology. *IEEE Trans. Pattern Analysis and*

- Kobylinska, Ye. V. (2009). Rozvytok metodiv deshyfruvannia ob'ektiv mistsevosti pry topohrapichnomu znimanni kosmichnymy systemamy DZZ [Development of aerospace photography interpretation]. *Visn. heodez. ta kartohraph.* [Journal of Geodesy and Cartography], 4(61), 28–33. [in Ukrainian].
- Kosarev, M. V., & Yasnev, S. O. (2011). Kosmichni znimky yak fundamentalna osnova kartohrapichnykh materialiv ta heoinformatsiynykh system [Aerospatial photography as the fundamental basis for mapping data and geoinformational systems]. *Problemy bezpe-*

*rervnoi heohrapichnoi osvity i kartohraphii*, 19, 42–45. [in Ukrainian].

- Lialko, V. I., Popov, M. A., Zubko, V. P., Riabokononko, A. D. (2004). Sostoianie i perspektivy razvitiya distantsyonnykh metodov issldovaniya Zemli v Ukrainie [Methods of Earth studying in Ukraine: Current state and prospects of development]. *Uchietynye zapisi TNU. Heohrapiya*. 17(56), 2, 64–71. [in Ukrainian].
- Mandel, J. (1964). *The Statistical Analysis of Experimental Data*. New York: John Wiley & Sons.
- Marmoza, A. T. (2013). *Teoriia statystyky* [Statistics theory]. Kyiv: Tsentr uchnovoi literatury. 592 p. [in Ukrainian].

**V. M. Kovtun<sup>1</sup>, L. I. Dorosh<sup>1</sup>, M. P. Nychvid<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, г. Івано-Франківськ, Україна*

<sup>2</sup>*Ужгородський національний університет, г. Ужгород, Україна*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ПОИСКА МАСШТАБНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЦИФРОВЫХ ОРТОФОТОПЛАНОВ

Современные способы получения картографического материала с использованием спутниковых снимков, их точность и дешевизна открывают новые горизонты для их использования. В настоящее время различные виды космического материала не только используются для решения широкого круга научно-практических задач, но и при различных топографо-геодезических работах. Целью данной работы является исследование масштабных коэффициентов. Известно, что линейным масштабом карты является отношение длин линейных элементов на карте к длинам соответствующих реальных объектов. То есть масштабированием можно назвать переход от спутниковых изображений к масштабированным цифровым ортофотопланам, используя масштабный коэффициент. Оперирова массивом длин соответствующих элементов возникает проблема выбора элемента, который будет служить для масштабирования. Из практики известно (Burak & Dorosh, 2015), что для каждого элемента из этого массива будет существовать свой масштабный коэффициент. После трансформации спутниковых снимков существует вероятность несоответствия поперечного и продольного масштаба, поэтому для исследования масштабных коэффициентов использовались значения площадей сооружений, так как были известны их реальные размеры, полученные путем инструментальных наблюдений. Масштабируя картографический материал, за каждым из вычисленных коэффициентов рассчитывали их отклонения от истинных значений, что позволило получить среднеквадратичные погрешности нахождения площадей сооружений. Используя способ наименьших квадратов, разработан алгоритм расчета оптимального масштабного коэффициента, при котором среднеквадратичная погрешность нахождения площадей всех избранных зданий минимальна. Полученные значения масштабных коэффициентов, удаленность от центра фотоплана сооружений и СКП нахождения площадей позволили установить корреляционные связи между этими величинами. Проанализировав коэффициенты корреляции Спирмена и Пирсона, можно утверждать, что масштабирование ортофотоплану по наибольшему значению площади сооружения не гарантирует наилучшее качество этого масштабирования.

**Ключевые слова:** ортофотоплан; линейная точность масштаба; СКП; корреляционный анализ.

**V. M. Kovtun<sup>1</sup>, L. I. Dorosh<sup>1</sup>, M. R. Nychvid<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine*

<sup>2</sup>*Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine*

## INVESTIGATION OF ACCURACY FOR THE DETERMINATION OF SCALE COEFFICIENT OF DIGITAL ORTHOPHOTOS

Modern methods of obtaining the map materials, using the satellite images, their accuracy and low price, opens up new horizons for their usage. At the present time, different kinds of space material are not only used to solve the scientific and practical problems, but also in various topographic-geodesic works. The purpose of this article is to investigation of the scale coefficients. It is known that the linear scale of the map is the ratio of the lengths of linear elements on the map to the lengths of the corresponding real objects. In the other words, the scaling is the transition from satellite imagery to scaled digital orthophotos using a scale coefficient. Now there is a problem of choice an element which will design for scaling, managing the array of lengths of the elements. From practice it is known (Burak & Dorosh, 2015) that for each element of this array there will be obtained the own scaled coefficient. After the transformation of satellite images, there is a probability of inconsistencies of the diagonal and longitudinal scale, therefore, for the investigation of scale coefficients, the values of the size of the building were used, because their actual sizes, obtained through instrumental observations, were known. By scaling the map material for each of the determine coefficients, their deviations from the true values were calculated, which allowed to obtain the mean square error of finding the area size of the buildings. Using the least squares method, an algorithm for calculating the optimal scale coefficients is developed, in which the mean square error of finding the area sizes of all selected buildings is minimal. The obtained values of scale coefficients, the distance outermost of the photomap of the buildings and the mean-square error finding of the area sizes had allowed establishing the correlation between these values. After analyzing Spearman's and Pearson's rank correlation coefficients, it is arguable that scaling an orthophoto on the maximum value of building area size does not guarantee the best quality of this scaling.

**Keywords:** orthophoto; linear precision of the scale; mean square error; correlation analysis.