



## ГЕОМЕТРИЧНА ТОЧНІСТЬ ОРТОТРАНСФОРМОВАНИХ ЗНІМКІВ ІЗ СУПУТНИКА LANDSAT 8

*Выполнена оценка геометрической точности ортотрансформированных снимков со спутника Landsat 8 и проанализирована возможность их использования для топографического и тематического картографирования местности.*

*Geometric accuracy of Landsat 8 orthorectified satellite images is estimated and a possibility of use them for topographic and thematic mapping purposes is analyzed.*

**Вступ.** Програма Landsat має вже більш ніж сококарічну історію. Перший супутник Landsat 1 було запущено ще в 1972 році. Після цього протягом 1975-1984 рр. були виведені на орбіту й успішно функціонували супутники Landsat 2 (3,4,5), які наразі вже не використовуються. Супутник Landsat 6 вивести на орбіту не вдалося. Наступний за ним Landsat 7 було запущено у 1999 р., і він продовжує функціонувати по сьогоднішній день. Landsat 8 став сьомим із успішно виведених на орбіту супутників. Його запуск відбувся 11 лютого 2013 р. за допомогою ракети-носія Атлас-5 401 з авіабази Ванденберг у США. Перші знімки було отримано у березні 2013 р., а на сьогодні вже відзнято майже всю територію планети. Основним завданням нового супутника є одержання знімків середньої просторової роздільної здатності протягом не менше п'яти років. Дані, зібрані за допомогою Landsat 8, розповсюджуються безкоштовно через геопортали GloVis, EarthExplorer та LandsatLook Viewer. Знімки геокодовані та ортотрансформовані. Фактично йдеться про готовий актуальний продукт картографічного виробництва, який можна використовувати для потреб тематичного і топографічного картографування місцевості, оцінювання нафтогазоносності території, пошуку корисних копалин, прогнозування врожайності, моніторингу стану лісів та інших природних об'єктів і для вирішення багатьох інших наукових і прикладних задач. Він становить значний інтерес і для науковців різних сфер діяльності, в т. ч. й для картографів.

**Аналіз попередніх публікацій.** Питання дослідження геометричної точності знімків з попереднього супутника Landsat 7 висвітлено досить широко в зарубіжних публікаціях, наприклад, у працях [3, 6, 7]. Аналіз цих праць свідчить про те, що геометрична точність ортознімків з Landsat 7 у середньому становить 23-30 м. Це відповідає 1,5-2-м пікселам на місцевості в панхроматичному каналі сенсора.

Використання знімків із супутника Landsat 7 для тематичного картографування місцевості та інших прикладних задач описано в статтях [4-6]. У вітчизняній публікації [2] наведено передавальні можливості знімальної системи супутника Landsat 7.

На момент написання цієї статті єдиним джерелом інформації про супутник Landsat 8 були офіційні документи НАСА та деякі матеріали в англійськомовному Інтернеті. Наукових публікацій з аналізом даних із

цього супутника автору знайти не вдалося. Тому вважаємо, що дослідження геометричних характеристик знімків з Landsat 8 є актуальним завданням.

**Постановка завдання.** Метою даної статті є дослідження геометричної точності ортотрансформованих знімків з Landsat 8 та оцінювання можливості їх використання для потреб топографічного і тематичного картографування місцевості.

**Основний зміст дослідження.** На супутнику Landsat 8 встановлено два сенсори: OLI (Operational land imager) і TIRS (Thermal infrared sensor). Вони збирають дані в одинадцяти спектральних діапазонах з розміром піксела на місцевості 15, 30 та 100 м (табл. 1).

Таблиця 1. Спектральні діапазони сенсорів супутника Landsat 8

Номер пор.	Спектральний діапазон	Довжина хвилі, нм	Розмір піксела на місцевості, м
1	Узбережжя/Аерозоль	433-453	30
2	Синій	450-515	30
3	Зелений	525-600	30
4	Червоний	630-680	30
5	Ближній інфрачервоний	845-885	30
6	Короткохвильовий інфрачервоний 1	1 560-1 660	30
7	Короткохвильовий інфрачервоний 2	2 100-2 300	30
8	Панхроматичний	500-680	15
9	Перисті хмари	1 360-1 390	30
10	Дальній інфрачервоний 1	10 300-11 300	100
11	Дальній інфрачервоний 2	11 500-12 500	100

Перші дев'ять діапазонів охоплює сенсор OLI, який сканує місцевість за технологією "pushbroom", тобто сканування ведеться по всій ширині поля зору супутника – 185 км. Технологія "pushbroom" розглядається як геометрично стабільніша і точніша, ніж технологія "whiskbroom", що використовувалася на попередніх супутниках серії Landsat [9].

Десятий і одинадцятий діапазони – теплові. Їх отримують за допомогою сенсора TIRS, який також веде сканування місцевості за технологією "pushbroom".

Особливий інтерес становлять перший і дев'ятий спектральні діапазони, які є нововведенням на Landsat 8.

Перший діапазон – "Узбережжя/Аерозоль" (Coastal/Aerosol) має таку цікаву назву саме через ті два



основних завдання, які можна вирішувати з його допомогою: отримання зображень мілководдя та відстеження руху в повітрі дрібних частинок, таких як пил або дим.

Дев'ятий діапазон – "Перисті хмари" (Cirrus) призначений для ідентифікації та вилучення перистих хмар зі знімка. Знімання в цьому діапазоні ведеться у дуже вузькій смузі спектра, більша частина якого поглинається атмосферою. Оскільки сама планета і об'єкти, розташовані на ній, реєструються в цій смузі спектра погано, це означає те, що в ній, очевидно, у верхніх шарах атмосфери є перисті хмари. За допомогою цього діапазону можна усунути один із основних недоліків космічних знімків – наявність хмарності.

Окремим додатком до спектральних діапазонів є зображення для загального оцінювання якості знімка ("quality assessment band"). Воно є ще одним нововведенням на Landsat 8 та важливим додатком до інших файлів [10]. Колір пікселя на цьому зображенні є прямим доказом його загальної якості. Він тим темніший, чим вища якість пікселя. Наприклад, якщо на пікселі зображені хмари або сніг, якщо при зніманні мали місце певні атмосферні, сенсорні чи поверхневі явища, через які піксель є непридатним для використання, тоді він має світло-сірий або білий колір (чим світліший колір, тим вищий ступінь непридатності). Тобто, чим менше пікселів світло-сірого або білого кольорів, тим вища загальна якість знімка.

Рівень оброблення більшості знімків – стандартна корекція (Standard Terrain correction) або Level 1T (L1T). Вона включає радіометричну і геометричну корекцію зображень. Для геометричної корекції використовуються цифрові моделі рельєфу (ЦМР) та опорні точки. Джерелами ЦМР є SRTM (Shuttle radar topographic mission), NED (National elevation dataset), CDED (Canadian digital elevation data) та GTOPO 30 (Global 30-arc second elevation). Джерело опорних точок – це набір даних GLS2000 (Global land surveys 2000). Набір включає попередні знімки із сенсорів Landsat TM та ETM+. Опорні точки на знімку визначають за допомогою стандартних кореляційних алгоритмів зіставлення зображень. Заявлене значення планової точності  $CE_{90}$  (Circular error) ортознімків рівня оброблення L1T відносно основи GLS2000 для сенсора OLI становить 12 м, для сенсора TIRS – 41 м [10]. Середньоквадратична похибка (СКП) в плановому положенні самої основи GLS2000 становить 25 м [8]. На основі цих даних, скориставшись залежністю між похибкою  $CE_{90}$  і загальною СКП [11], можна визначити абсолютну планову точність знімків:

$$CE_{90, L1T} = 1,5175 \cdot \sigma_{L1T};$$

$$\sigma_{L1T} = \frac{12 \text{ м}}{1,5175} = 7,908 \text{ м};$$

$$\sigma_{\text{абс.}} = \sqrt{\sigma_{GLS2000}^2 + \sigma_{L1T}^2} = 26,221 \text{ м};$$

$$CE_{90, \text{абс.}} = 1,5175 \cdot \sigma_{\text{абс.}} = 39,790 \text{ м},$$

де  $CE$  – величина, яку із заданою імовірністю (відповідне значення – 90 (95) % вказане в назві самого показника) не перевищить відхилення в площині  $XU$  оцінюваної точки від її істинного положення. Інакше кажучи, з імовірністю 90 (95) % оцінювана точка знаходиться в колі з радіусом  $CE$ , центр якого співпадає з істинним положенням точки;  $\sigma_{L1T}$  – СКП ступеня оброблення L1T відносно основи GLS2000;  $\sigma_{GLS2000}$  – СКП основи GLS2000;  $\sigma_{\text{абс.}}$  – абсолютна СКП планового положення знімка.

Якщо на деякі території планети (наприклад, Антарктичну зону) немає ЦМР або опорних точок, тоді зображення оброблюються на рівнях систематичної корекції *Systematic Terrain correction* (Level 1Gt або L1Gt) та *Systematic correction* (Level 1G або L1G). На рівні L1Gt проводиться радіометрична та геометрична корекція з використанням ЦМР, але без використання опорних точок; на рівні L1G – лише радіометрична корекція та виправлення систематичних похибок сенсора.

Дані з супутника Landsat 8 на бажану територію можна завантажити після попередньої реєстрації на сайті <http://earthexplorer.usgs.gov/> у вигляді архіву, що містить набір 16-бітних растрових файлів формату GeoTIFF у вищезгаданих спектральних діапазонах. Також є текстовий файл з метаданими і зображення для оцінювання якості.

Дослідження геометричної точності ортознімка проводилося на територію м. Києва. Метадані зведено в табл. 2.

Таблиця 2. Метадані про ортознімок

Атрибут набору даних	Значення
ID-сцени географічного зображення	LC81810252013122LGN01
Розмір у пікселях	15821×15421 (діапазон 8) 7911×7711 (діапазони 1-7, 9)
Дата знімання	2 травня 2013 року
Рівень оброблення	L1T
Сенсор	OLI, TIRS
Хмарність	0,1 %
Середня СКП на опорних точках по осі x	6,231 м
Середня СКП на опорних точках по осі y	6,814 м
Геодезична широта центра знімка	50°16'52,14"
Геодезична довгота центра знімка	30°45'53,35"
Азимут Сонця	154,2°
Висота Сонця над горизонтом	53,1°
Датум	WGS-84
Проекція	UTM, зона 36N

Експериментальні дослідження виконано в програмному середовищі ArcGIS 10 з використанням ENVI 4.7. Спочатку вихідний ортознімок обрізали у формі прямокутника розміром 3516×3518 пікселів (на місцевості це відповідає ділянці розміром 52,74×52,77 км), що повністю охоплює м. Київ та околиці. Потім спектральні діапазони 4, 3 і 2 об'єднали в мультиспектральне зображення з розміром пікселя на місцевості 30 м. Після цього провели процедуру підвищення чіткості отриманого мультиспектрального зображення за допомогою



панхроматичного спектрального діапазону (цю процедуру в англійській літературі називають *pansharpening*). В результаті було отримано синтезоване зображення в натуральних кольорах з розміром пікселя на місцевості 15 м (мал. 1).

планів масштабу 1:2 000 та оновлено за космічними знімками і за результатами польового дешифрування. Векторний план обрано, виходячи з таких міркувань: еталонні координати мають бути мінімум у три рази точнішими, ніж ті, які оцінюються. Якщо точність



Мал. 1. Процедура pansharpening

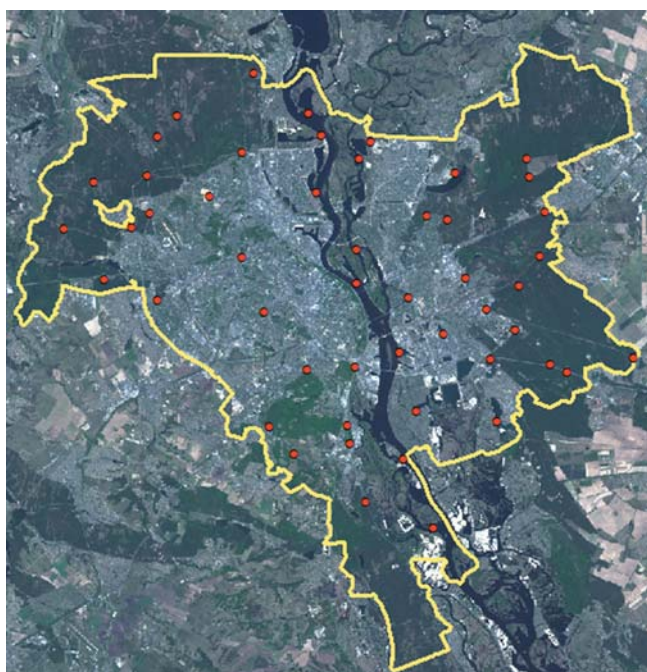
Оцінювання геометричної точності виконано за відхиленнями координат п'ятдесяти вимірних на ортознімку контрольних точок, рівномірно розташованих на досліджуваній території (мал. 2). Враховуючи розмір пікселя на місцевості, за контрольні точки було взято чіткі виступи контурів рослинного покриву і островів на річці Дніпро, чіткі межі забудованих районів та інші точки, які можна вважати твердими контурами для дрібно-масштабних карт (мал. 3).



Мал. 3. Приклади вибору контрольних точок

Координати контрольних точок було взято з векторного топографічного плану Києва, який відповідає вимогам точності для масштабу 1:5 000. План створено у 2012 р. на основі сканованих паперових

визначення координат нечітких контурів на векторному плані 5 м (1 мм у масштабі плану), а попередня планова точність ортознімка 26-30 м, тоді координати, взяті з векторного плану, можна вважати еталонними, а різниці координат – істинними похибками ортознімка.



Мал. 2. Межа Києва (жовтий колір) та набір контрольних точок

Векторний топографічний план м. Києва створено у місцевій системі координат. Для перетворення ортознімка в цю систему координат було виконано такі дії:

- перехід від проекції UTM (зона 36N) до геодезичної системи координат WGS-84;
- перетворення за формулами Молодєнського з геодезичної системи координат WGS-84 в геодезичну систему координат СК-42;
- перетворення з СК-42 (проекція Гауса – Крюгера, 6-та зона) у місцеву систему координат на основі відомого ключа переходу.

При обробленні результатів приймалося, що кожне вимірювання містить систематичну і випадкову похибки. Систематичну складову  $s$  було виключено з результатів вимірювань. Її визначали за формулами

$$s = \sqrt{s_x^2 + s_y^2}; \quad s_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta x_i; \quad s_y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta y_i,$$

де  $s_x, s_y$  – систематичні похибки по осях  $x$  та  $y$ ;  $\delta x, \delta y$  – відхилення вимірних на ортознімку координат контрольних точок від еталонних;  $n$  – кількість контрольних точок.





За показники геометричної точності ортознімка приймалися такі величини:

1) загальна СКП на контрольних точках  $\sigma$ :

$$\sigma = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}; \quad \sigma_x = \sqrt{\frac{\Delta x^T \cdot \Delta x}{n}}; \quad \sigma_y = \sqrt{\frac{\Delta y^T \cdot \Delta y}{n}}$$

тут  $\Delta x = (\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n)^T$ ,  $\Delta y = (\Delta y_1, \Delta y_2, \dots, \Delta y_n)^T$  – вектори відхилень координат контрольних точок на ортознімку від координат на векторному плані без врахування систематичних похибок;

2) кругові похибки  $CE90$  та  $CE95$ . Якщо СКП по осях  $x$  та  $y$  були різні, то використовували такі формули [11]:

$$CE90 = 1,073(\sigma_x + \sigma_y);$$

$$CE95 = 1,224(\sigma_x + \sigma_y);$$

3) середня радіальна похибка MRE (Mean radial error):

$$MRE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2};$$

4) середня похибка:

$$\theta = \frac{\sum_{i=1}^n (|\Delta x| + |\Delta y|)}{n};$$

5) максимальне радіальне відхилення  $R_{\max}$ .

Результати оцінювання точності передає табл. 3. Еліпс похибок з осями  $2\sigma_x$  та  $2\sigma_y$  наведено на мал. 4.

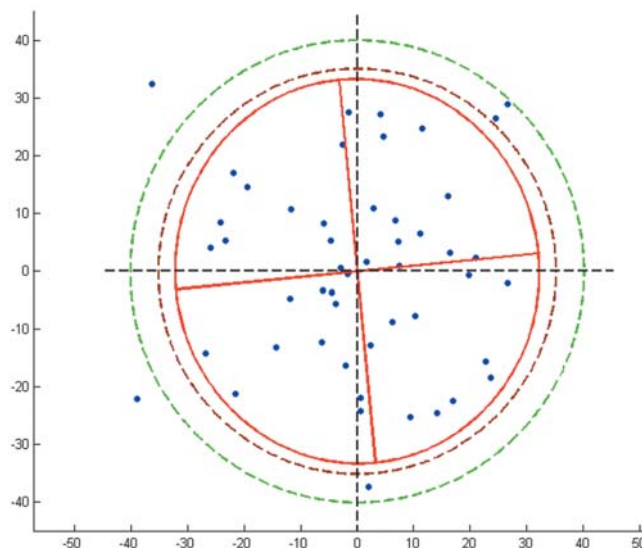
Таблиця 3. Показники точності ортознімка з Landsat 8

Показник	Значення, м
Систематична похибка $s_x$	14,665
Систематична похибка $s_y$	-0,929
СКП по осі $x$	16,103
СКП по осі $y$	16,695
Загальна СКП	23,196
Кругова похибка $CE90$	35,192
Кругова похибка $CE95$	40,145
Середня радіальна похибка $MRE$	20,507
Середня похибка	26,274
Максимальне радіальне відхилення $R_{\max}$	48,626

Як видно з табл. 3, в результатах вимірювань присутня значна систематична похибка по осі  $x$ . Її природа залишається нез'ясованою: з однаковою вірогідністю вона може бути результатом систематичної похибки сенсора, який виконував фотографування, орбіти супутника чи координат опорних точок, які використовувалися для ортотрансформування.

Значення  $CE90$  та загальної СКП на контрольних точках є трохи меншими від заявлених поставальником даних. Це дозволяє зробити висновок про те, що ортознімки з супутника Landsat 8 загалом відповідають заявленій геометричній точності.

Для оцінювання можливості використання ортознімків з Landsat 8 для потреб топографічного картографування місцевості було використано норматив (див. [1]), відповідно до якого середня похибка у положенні на карті предметів та контурів місцевості з чіткими контурами відносно



Мал. 4. Розсіювання похибок на контрольних точках. Червоним кольором відображено еліпс похибок, коричневим – кругову похибку  $CE90$ , зеленим – похибку  $CE95$ .

ближніх точок знімальної основи не повинна перевищувати 0,5 мм у масштабі карти. Наприклад, для масштабу 1:50 000 ця похибка становить 25 м, а для масштабу 1:100 000 – 50 м.

Величину середньої похибки було взято з табл. 3. Вона є меншою, ніж допустима похибка для масштабу 1:100 000. Радіальні відхилення на контрольних точках – у межах допуску (мал. 5). Крім того, інші похибки також не перевищують допустимі 50 м. На основі цього можна зробити висновок, що досліджуваний ортознімок задовольняє вимоги до точності зображення контурних об'єктів на картах масштабу 1:100 000.



Мал. 5. Радіальні похибки на контрольних точках. Червона лінія вказує гранично допустиму похибку для масштабу 1:100 000

**Висновки і перспективи досліджень.** У статті проаналізовано геометричну точність ортотрансформованих знімків із супутника Landsat 8 на територію м. Києва. Вона відповідає заявленій поставальником даних. Встановлено можливість використання досліджуваних ортознімків для потреб тематичного картографування місцевості, а також для топографічного



картографування контурних об'єктів, які зображуються на топографічних картах масштабу 1:100 000 і дрібніше. Питання використання ортознімків із супутника Landsat 8 для інших прикладних задач може бути предметом подальших досліджень.

#### Література

1. *Основні* положення створення та оновлення топографічних карт масштабів 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1:1 000 000. – К.: Укргеодезкартографія, 1999. – 18 с.

2. *Шевчук, В.* Визначення передавальних характеристик знімальної системи супутника Landsat 7 / В. Шевчук, Х. Бурштинська, О. Садовська // Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва. – 2010. – № 2. – С. 225-230.

3. *Armston, J.D.* Geometric correction of Landsat MSS, TM, and ETM+ imagery for mapping of woody vegetation cover and change detection in Queensland / J.D. Armston, T.J. Danaher, B.M. Goulevitch, M.I. Byrne // Proceedings of the 11th Australasian Remote Sensing and Photogrammetry Conference, Brisbane, Australia. – 2002. – P. 985-1007.

4. *Bailey, K.D.* Remote Sensing Analysis of Wild Rice Production Using Landsat 7 for the Leech Lake Band of Chipewewa in Minnesota / K.D. Bailey, R.C. Frohn, R.A. Beck, M.W. Price // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 2001. – № 2. – P. 189-192.

5. *Flynn, L.P.* Improved identification of volcanic features using Landsat 7 ETM+ / L.P. Flynn, A. J.L. Harris, R. Wright // Remote Sensing of Environment. – 2001. – № 78. – P. 180-193.

6. *Schwaller, M.R.* Continental-scale mapping of Adūlie penguin colonies from Landsat imagery / M.R. Schwaller, C.J. Southwell, L.M. Emmerson // Remote Sensing of Environment. – 2013. – № 139. – P. 353-364.

#### Інтернет-джерела

7. *Cheng, P.* Orthorectification and data fusion of Landsat 7 data / P. Cheng, T. Toutin, V. Tom. – [http://www.pcigeomatics.com/support/tech\\_papers/ASPRS\\_2000\\_land7.pdf](http://www.pcigeomatics.com/support/tech_papers/ASPRS_2000_land7.pdf)

8. *Frequently Asked Questions* about the Landsat Missions. – [http://landsat.usgs.gov/GLS2000\\_Accuracy.php](http://landsat.usgs.gov/GLS2000_Accuracy.php)

9. *Landsat Data Continuity Mission*. Algorithm description document / U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey. – [http://landsat.usgs.gov/documents/LDCM\\_CVT\\_ADD.pdf](http://landsat.usgs.gov/documents/LDCM_CVT_ADD.pdf)

10. *Landsat missions*. Landsat 8. – <http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>

11. *National spatial data infrastructure*. Geospatial Positioning Accuracy Standards. Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy / Subcommittee for Base Cartographic Data Federal Geographic Data Committee. – <http://www.fgdc.gov/standards/projects/FGDC-standards-projects/accuracy/part3/chapter3>

Надійшла 25.10.2013

\* \* \*

#### До уваги авторів

1. Матеріали до "Вісника геодезії та картографії" подаються у текстовому редакторі Microsoft Word з дотриманням таких вимог: параметри сторінки А4; всі поля на сторінці по 2 см; розмір шрифту 10 пт; інтервал одинарний; автоматичні переноси не застосовувати; абзац починати за допомогою клавіші "ENTER".

2. Формули набираються у редакторі формул програми Microsoft Word. Розміри шрифту для формул: звичайний – 10 пт, великий індекс – 7 пт, малий індекс – 6 пт, великий символ – 11 пт, малий символ – 8 пт. **Ширина формули не повинна перевищувати 8 см.**

3. Малюнки, фото та схеми подаються **окремими файлами у графічному вигляді** у форматах \*.eps (векторний), \*.tif (растровий) з роздільною здатністю не менше 300 dpi, у моделі СМУК. Графічні зображення, вставлені в Microsoft Word або в інші редактори, **не приймаються!**

4. Розмірність малюнків і таблиць (ширина/висота): 80 / до 230 мм, 130 / 230 мм, 170 / до 230 мм. Розмір шрифту для таблиць – 10 пт. Кожна таблиця повинна мати заголовок.

5. До статті мають входити такі елементи: шифр УДК; резюме та назва статті українською, російською та англійською мовами; основний текст відповідно до вимог ВАК України; список літератури, укладений за правилами стандартів і в алфавітному порядку; відомості про авторів (прізвище, повне ім'я та по батькові, посада в установі, де працює (вчиться) автор, вчений ступінь, вчене звання, домашня і службова адреси, телефон, електронна пошта, інтернет-сторінка для зв'язку).

6. Стаття і додатки подаються в електронному вигляді або пересилаються електронною поштою на адресу visnykgeodez@gmail.com або nv@gki.com.ua.

Редакція