

## АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄМІВ ЗМИВУ БЕРЕГОВОЇ ЛІНІЇ РУСЛА РІКИ ДЕСНА

**В. Глотов**

Національний університет "Львівська Політехніка"

**О. Терещук, В. Мовенко**

Чернігівський державний інститут економіки і управління

**Ключові слова:** об'єми змитих ґрунтів, стереофотограмметричне знімання.

### Постановка проблеми

Сьогодення характеризується доволі значною зміною кліматичних умов, а відтак це, безумовно, впливає на різноманітні геоморфологічні явища. Зокрема, змінюються характеристики течії річок, їх берегові смуги та навколишній рельєф. Для запобігання цьому негативному явищу необхідний передусім моніторинг навколишньої території русла річок, що дасть можливість вчасно реагувати та запобігати аварійним, і навіть катастрофічним явищам, керуючись програмою, яка складена згідно з Положеннями про державну систему моніторингу довкілля, затвердженими Постановою Кабінету Міністрів України № 391 від 30 березня 1998 року зі змінами, внесеними згідно з Постановою Кабінету Міністрів України № 1763 від 24.09.99 р.

Тому було поставлене завдання розробити оптимальний та оперативний спосіб визначення об'ємів змиву ґрунтів берегової смуги середніх річок України, з урахуванням того, що основна маса річок належить до цієї категорії.

### Зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями

Оперативний моніторинг берегової смуги річок дасть можливість визначити із відповідною точністю всі елементи берегової лінії русел річок, створювати цифрову модель берегової лінії та прогнозувати небезпечні ділянки русел річок, щоби запобігти їх руйнуванню і не допустити непередбачуваних негативних екологічних наслідків.

### Аналіз останніх досліджень та публікацій, які стосуються вирішення цієї проблеми

Зазначимо, що останнім часом науковці багатьох країн світу, які займаються подібними проблемами, крім застосування стереофотограмметричного методу, почали застосовувати методи дистанційного зондування Землі, використовуючи штучні супутники, 3-D сканери та відповідне програмне забезпечення.

Так, у роботі [5] з метою визначення запасів поливної води для вирощування зернових куль-

тур у Японії розглядається технологія використання чотирьох супутникових наборів даних (RADASTAR/SAT-C, LANDSAT/ETM+) та цифрової карти досліджуваної ділянки. За результатами виконаного аналізу із застосуванням супутникової технології були створені карти розподілу водних запасів.

З метою оцінки і контролю водних ресурсів у басейнах Карпат у [6] аналізується досвід використання ГІС-СТЕКЛО та супутникових даних (NOAA-AVHRR, TERRAMODIS, LANDSAT-TM). Ця методика дала змогу отримати необхідну інформацію щодо точної оцінки умов снігового покриву та кількості водних запасів під час зимового періоду.

Моніторинг дельти р. Дунай з 1975 до 1993 року з використанням супутникових знімків LANDSAT (24.06.75р.), LANDSAT-TM (28.06.84 р.) та HRV (27.04.93 р.) описується у роботі [7]. Виконане дослідження показало динаміку змін екосистем дельти Дунаю і підтвердило ефективність використаного методу щодо оцінки динаміки екосистеми.

У праці [8] розглядається методика спостережень за змінами берегової лінії острова Есейтеку у штаті Вірджинія, США протягом 1996–2000 рр., використано цифрові зображення LANDSAT, оптичного локатора NOAA/NASA та ГІС-СТЕКЛО. Опрацьовані результати продемонстрували, що спостерігається руйнування берегової лінії острова. Були також обчислені об'єми руйнування, що підтвердило необхідність подальшого спостереження берегової лінії острова Есейтеку.

Спостереження за змінами берегової лінії Чорноморського узбережжя європейської частини Стамбула у 1963, 1998 та 2000 рр. розглядається у [9]. Для цього були використані панорамні супутникові знімки 1963 р. та дані ДЗЗ 1998 і 2000 рр. і обчислені параметри змін берегової лінії, що підтвердило динаміку змін Чорноморського узбережжя.

Аналізуючи наведений огляд літератури, зазначимо, що вартість супутникових знімків і

технологій для виконання описаних робіт значно перевищує вартість робіт фотограмметричними та геодезичними методами. Так, за даними ДНВЦ, Природа національного космічного агентства України ([www.pryroda.gov.ua](http://www.pryroda.gov.ua)) станом на 15.04.2009 р. вартість знімків різних супутників становить (за один кадр):

1. SPOT(HRV) – 1900–8100 у.о. (архів, 60×60 км).
2. IRS-PC – 1350 у.о. (27×27км).
3. IKONOS(OSA) – 2540–12100 у.о. (100 км<sup>2</sup>).
4. TerraSAR – 4330–10620 у.о. (50–15000 км<sup>2</sup>).

Отже, стереофотограмметричний метод із застосуванням сучасних приладів (GPS-приймачів та цифрових знімальних камер) економічно доцільніший на порівняно невеликих об'єктах.

### Невирішені частини загальної проблеми

Порушення екологічної рівноваги, особливо на території України, є найактуальнішою з проблем, оскільки наслідки можуть призвести до неочікуваних та некерованих наслідків, а відтак необхідно прискорити вирішення цієї проблеми. І однією із проблем є, безумовно, збереження річок не тільки як основних джерел питної води, а й інгредієнтів, які мають величезний вплив на формування кліматичного стану у відповідних регіонах нашої країни.

### Постановка завдання

Проаналізувати запропонований спосіб визначення об'ємів змитих ґрунтів русел річок та зробити висновки та рекомендації щодо подальшого його поліпшення

### Виклад основного матеріалу

Авторами свого часу була запропонована методика визначення об'ємів змиву ґрунтів русел річок та виконаний нульовий цикл на річці Десна [3]. Коротко нагадаємо сутність запропонованого способу. Він полягає в тому, що на земній поверхні в районі знімання – GPS-приймач, а на борту рухомого носія встановлюють знімальну камеру і бортовий GPS-приймач, антена якого з'єднана з камерою (рис. 1). На бортовому GPS-

приймачі попередньо встановлюють епохи, які відповідають інтервалам фотографування. Керують знімальною камерою, вмикаючи її сигналом зміни епох бортового GPS-приймача. Одночасно визначають просторові координати центра проєкції знімальної камери. Відповідність епох бортового GPS-приймача інтервалам фотографування забезпечується вмиканням знімальної камери сигналом зміни епох бортового GPS-приймача, а також визначенням просторових координат центра проєкції знімальної камери у момент зміни епохи бортового GPS-приймача дає можливість підвищити точність визначення просторових координат. Зміну епох можна встановлювати через одну секунду, що відповідає інтервалам знімання за великомасштабного картографування.

Розроблений макетний зразок вищевказаної системи для наземного знімання із цифровими камерами [1, 2].

Сигнал RTS, який виникає при зміні епохи, проходить через логічний елемент І та зумовлює експозицію камери. Спрацьовує одновібратор, який блокує проходження службових імпульсів від GPS до камери. Тривалість імпульсу одновібратора встановлюється під час налаштування всієї системи. Вона задається меншою від періоду зміни епох. Для усунення можливого першого хибного спрацювання пристрою одновібратор обладнаний кнопкою “Стоп”. Одновібратор може видавати імпульс тривалістю 1,000 – 12,000 с. з точністю 0,1 мс. Схема одновібратора реалізована на мікроконтролері AT89C2051. Одновібратор має цифрову індикацію тривалості імпульсу, кнопку для встановлення тривалості імпульсу, кнопку “Стоп”, та енергонезалежну пам'ять для зберігання встановленої тривалості імпульсу. На рис. 2 наведена часова діаграма роботи пристрою керування цифровою камерою.

Для безпосередньої реалізації був застосований двочастотний GPS-приймач фірми Novatel OEMV-3 та цифрова знімальна камера Canon EOS 350D. Основні технічні характеристики цих приладів наведено у табл. 1 та 2.

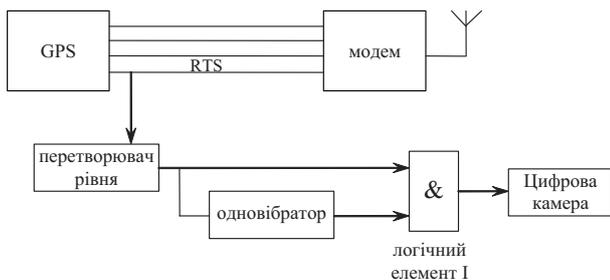


Рис. 1. Структурна схема пристрою керування фотокамерою



Рис. 2. Часова діаграма роботи пристрою керування цифровою камерою

## Основні характеристики камери Canon EOS 350D

Назва	Canon EOS 350D
Тип камери	дзеркальна цифрова фотокамера
Носії даних	CompactFlash Type I / II (сумісна з Microdrive)
Формати запису	JPEG (сумісна з Exif 2.21 [Exif Print]) / стандарт файлової системи для камер Design rule for Camera File system, одночасний запис зображення RAW и JPEG, сумісний з с форматом Digital Print
Кількість кадрів/Роздільна здатність	3456×2304, 3456×2304, 2496×1664, 2544×1696, 1728×1152, 1728×1152, 3456×2304
Матриця ПЗС	давач CMOS розміром 22,2×14,8 мм (8,0 млн. – кількість ефективних пікселів)
Об'єктив	EF-S 18-55mm f/3.5-5.6 II
Режим безперервної зйомки	3 кадри/с (швидкість забезпечується для перших 14 кадрів JPEG)
Живлення	літєво-іонний акумулятор NB-2LH
Розміри	126,5×94,2×64 мм
Вага	прибл. 485 г

## Основні характеристики GPS-приймача Novatel

Назва приймача:	OEMV-3
Характеристики антени	Напруга живлення: 5 В, Максимальна сила струму: 100 mA
Характеристики сенсора	Напруга живлення: + 4,5–18 В, Потужність 2,1W (в режимі GPS)
Точність визначення координат у кінематичному режимі	L1 C/A Code – 4 cm, L1 Carrier Phase 0,5 mm, L2 P(Y) Code – 8 cm, L2 Carrier Phase 1,0 mm
Кількість кадрів/Роздільна здатність:	3456×2304, 3456×2304, 2496×1664, 2544×1696, 1728×1152, 1728×1152, 3456×2304
Швидкісна точність реєстрації сигналів	0,03 m/s RMS

Для обґрунтування запропонованого способу необхідно передусім обчислити апріорну оцінку точності визначення просторових координат та об'ємів мас ґрунту. Оскільки максимальна середня квадратична похибка (СКП) у наземному зніманні припадає на  $Y$ , то СКП ординати обчислимо за формулою [5]:

$$\begin{aligned}
 m_Y = \{ & m_{Y_S}^2 + \left(\frac{x}{f}\right)^2 \cdot m_{X_S}^2 + X^2 \cdot \left[1 + \frac{x^2}{f^2}\right]^2 \cdot m_\alpha^2 + \\
 & + \left(\frac{x \cdot z}{f^2}\right)^2 \cdot m_\omega^2 + \left(\frac{z}{f}\right)^2 \cdot m_x^2 - \\
 & - \left(\frac{1}{f}\right)^2 \cdot m_{x_0}^2 + \left(\frac{x}{f^2}\right)^2 \cdot m_f^2 + \left(\frac{1}{f^2}\right)^2 \cdot m_x^2 \}^{1/2}.
 \end{aligned} \quad (3)$$

За розробленим проектом НЦЗ буде виконуватися цифровою камерою Canon EOS-350D. Відповідно до технічних характеристик знімальної камери:  $x=11$ мм,  $z=7$ мм [3]. Середній горизонтальний розмір досліджуваного об'єкта –  $X=20$  м. Точність вимірювання базису знімання  $m_{X_S} = m_{Y_S} = 10$  мм. Точність виміру на ЦФС “Дельта-2” координат точок на зображенні:  $m_x = 5$  мкм [8]. Відповідно елементи внутрішнього орієнтування повинні визначатися із такою самою точністю, тобто  $m_{x_0} = m_f = 5$  мкм. СКП кутових елементів зовнішнього орієнтування дорівнюють  $m_\alpha = 3".5$ ,  $m_\omega = 3".6$ ,  $m_x = 2".2$  [14].

Похибка  $m_y$  обчислена для фокусної віддалі  $f = 55$  мм та становила  $m_y = 0,02$  м. Така доволі висока точність пояснюється невеликою відстанню до об'єкта знімання.

Оскільки передбачається виконання маршрутної фототріангуляції, необхідно також зробити розрахунки попередньої точності координат. Для цього скористаємося формулами [5], застосовуючи їх для наземного знімання:

$$\left. \begin{aligned} m_x &= 0,3m m_q \sqrt{n^3}, \\ m_y &= 0,2 \frac{f}{b} m m_q \sqrt{n^3}, \\ m_z &= 0,15m m_q \sqrt{n^3}, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

де  $n$  – кількість знімків у маршруті;  $f$  – фокусна віддаль;  $b$  – базис у масштабі знімка;  $m_q$  – середня квадратична похибка вимірювання паралаксу;  $m$  – знаменник масштабу знімка. Тоді для нашого випадку, при  $n = 20$  (секція знімків із 6 опорними точками),  $f = 55$  мм,  $b = 6$  мм,  $m_q = 0,005$  мм,  $m = 500$ , отримаємо відповідно:  $m_x = 0,067$  м,  $m_y = 0,41$  м,  $m_z = 0,112$  м.

Точність визначення точності поверхневих об'єктів розрахуємо за формулою:

$$\left(\frac{m\nu}{V}\right) = \left(\frac{m\Delta X}{X}\right)^2 + \left(\frac{m\Delta Y}{Y}\right)^2 + \left(\frac{mh}{h}\right)^2, \quad (5)$$

де  $\frac{m\nu}{V}$  – відносна похибка СКП визначення поверхневого об'єму елементарної ділянки;  $\frac{m\Delta X}{X}$ ,  $\frac{m\Delta Y}{Y}$  – відносні похибки кроку сітки квадратів;  $\frac{mh}{h}$  – відносна точність середньої різниці змін позначок по кутах квадрата. Враховуючи подвійні похибки вимірювання сітки квадратів та різниці змін квадратів, із значень фототріангуляції отримаємо, що відносна по-

хибка визначення поверхневого об'єму становить 1,7 %, що задовольняє вимоги визначення об'ємів змитих ґрунтів.

Знімання виконувалося із човна на веслах, який переміщався паралельно до берега на запроєктованій відстані із можливо сталою швидкістю, яку забезпечувала швидкість течії ріки. Інтервал фотографування визначався попередньо із промірів і становив 5–6 секунд; це дало можливість зробити відповідне перекриття знімків з метою подальшої камеральної обробки. Фокусна віддаль була виставлена максимальною, оскільки відстань до об'єкта була мінімальна. Це дало змогу уникнути дисторсійних спотворень, оскільки у цьому випадку була задіяна тільки параксіальна область об'єктива.

Як у нульовому, так і у першому циклах було виконане розряджене маркування опорних точок під виконання надалі фототріангуляційних робіт (рис. 3 та 4).

Координати опорних точок визначалися за допомогою електронного тахеометра полярною засічкою.

Отже, як видно з рисунків, висота берегової смуги не перевищувала 2–3 метрів, а відтак масштаб знімання повинен був бути великим, оскільки територія берега повинна займати всю площу знімків для їх максимально точного орієнтування. Місця розташування точок закріплювалися на місцевості металевими штифтами для довгострокового зберігання, а в період знімання над ними встановлювалися марки. Для кожної марки вимірювалася висота над центром з подальшим урахуванням у період обробки знімків. Номерні хрестоподібні марки (див. рис. 1) встановлювалися на початку та наприкінці кожного маршруту, проміжні маркувалися геодезичними тичками (рис. 2); кожний маршрут забезпечувався шістьма опорними точками.



Рис. 3. Знімок нульового циклу із зображеними на ньому марками



Рис. 4. Знімок першого циклу із відображеними на ньому віхами

Загалом на дослідній ділянці було зроблено знімки двох маршрутів. У нульовому циклі: у першому зроблено 42 знімків, а в другому – 41. Аналогічне знімання здійснено і у першому циклі.

Камеральна обробка отриманих цифрових зображень виконана на ЦФС “Дельта-2”. Маршрутна фототріангуляція виконувалась за допомогою програми “Triada”. Проект фототріангуляції складався із трьох зв’язкових та шести опорних точок на одну стереопару. Окрім цього, в проект увійшли 10 точок геодезичного обґрунтування як для нульового, так і для першого циклів. Вимірювання регулярної ЦМР виконували через 2 мм, що на місцевості відповідало приблизно квадрату  $1 \times 1$  м. Об’єм обчислювався аналогічно у вікні “Сбор” і для ділянки протягом 162 м становить –  $43,8 \text{ м}^3$ .

### Висновки

1. Аналіз літературних джерел дає можливість стверджувати, що дистанційні методи цифрового фотографування є сьогодні актуальними та за собівартістю доступними для визначення кінематичних процесів щодо зміни кількісних параметрів русел річок, а відтак дає безпосередню змогу визначати і якісні параметри цих об’єктів.

2. Априорна оцінка точності підтвердила, що застосування запропонованої технологічної схеми дослідження русел річок задовольняє вимоги щодо визначення поверхневих об’ємів об’єктів. Апробація способу на прикладі берегової смуги р. Десни свідчить про дієздатність запропонованої технології дослідження процесів змиву.

3. Апробація способу безпосередньо на річці Десна дає змогу стверджувати, що методика повністю технологічна як із експлуатаційного погляду, так і з економічного.

### Література

1. Глотов В.М. Особливості цифрового знімання при створенні великомасштабних планів Антарктичного узбережжя в районі станції “Академік Вернадський” // Вісник геодезії та картографії, 2005, № 3(38). – С. 22–24.

2. Бабій Л., Глотов В., Озгович А. Дослідження пристрою спряження GPS та знімальних камер // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Львів. – 2006(II) р. – С. 161–166.

3. Глотов В., Чижевський В., Терещук О., Мовенко В. Розроблення технології оцінки стану берегової лінії русел середніх і великих рік України // Сучасні досягнення геодезичної

науки та виробництва, 2007 р. Вип. 1. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2007. – С. 180–184.

4. Терещук О.І., Мовенко В.І. Інженерно-геологічний моніторинг переформування берегів річок Чернігівського регіону // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції “Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування – європейський досвід”. – Вип. 3. Чернігів – 2007. – С. 118–124.

5. Shigeo Ogawaa, Takeo Shima, Hisashi Takeichi. Detection of preparatory water in paddy irrigation area using RADARSAT/SAR-C and Landsat/ETM+b NIRE // Department of Regional Resources, 2-1-6, Kannondai, Tsukuba, Ibaraki, Japan.

6. Stancalie G., Catana S., Iordache A. Evaluation and monitoring of snowcover water resources in Carpathian basins using geographic information and satellite data // National Institute of Meteorology and Hydrology (NIMH), 97, Soseaua Bucuresti-Ploiesti, Sector 1, 013686 Bucharest, Romania/

7. Noaje I., Turdeanu L. Aerospace monitoring of ecosystem dynamics in Danube delta // Geodetic and Photogrammetric Department, Technical University of Civil Engineering Bucharest, Bd. Lacul Tei 124, Sect 2, Bucharest, Cod 020396, O.P. 38, ROMANIA.

8. Ming Xiea and Guoqing Zhou. Tyree-dimensional (3D) GIS-based topographically morphological analysis and dynamical visualization of assateague island national seashore // Laboratory for Remote Sensing and Environmental Analysis (LARSEA), Department of Political Science & Geography, Old Dominion University, USA. bOld Dominion University, Kaufman Hall, Rm. 214, Norfolk, VA 23529, USA.

9. Bayram B., Bayraktar H., Helvacı C., Acar U. Coast line change detection using corona, SPOT and IRS 1D images // Yıldız Technical University, Civil Engineering Faculty, Photogrammetry and Remote Sensing Department, 34349 Besiktas Istanbul, Turkey. Dariusz

### Аналіз результатів визначення об’ємів змиву берегової лінії русла ріки Десна

В. Глотов, В. Мовенко, О. Терещук

Наведено аналіз технологічної схеми цифрового стереофотограмметричного методу визначення зміни берегової лінії та берегового об’єму змитого течією ріки ґрунту. Вказується

на можливість використання цифрової неметричної камери, яка з'єднана із GPS-приймачем, для виконання цих робіт.

### Анализ результатов определения объемов береговой линии русла реки Десна

В. Глотов, В. Мовенко, О. Терещук

Проанализирована технологическая схема цифрового стереофотограмметрического метода определения изменения береговой линии и поверхностного объема вымываемого грунта течением реки. Указывается на возможность использования цифровой неметрической каме-

ры, соединенной с GPS-приемником, для выполнения этих работ.

### Analysis of results of determining the condition of the coastline of riverbed Desna

V. Hlotov, V. Movenko, O. Tereshchuk

The analysis of the technological scheme of digital stereophotogrammetric method for determining changes in the coastline and coastal amount of soil washed away the river flows is presented in the paper. For implementation of these works it is pointed on possibility to use digital non-metric camera connected with GPS-receiver.



## Видавництво Львівської політехніки пропонує

### Гребенюк Т. М. та ін. ВІЙСЬКОВА ТОПОГРАФІЯ

Навчальний посібник / Т. М. Гребенюк, П. І. Волчко, В. Ю. Жидков, В. Д. Макаревич, В. М. Корольов, О. П. Полець, С. Г. Власенко, І. С. Тревого; За ред. П. П. Ткачука, І. С. Тревого. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2008. – 384 с.

Формат 170 x 240 мм. Тверда оправа.

ISBN: 978-966-553-739-7

Розглянуто вивчення тактичних властивостей місцевості, виконання необхідних вимірювань для отримання вихідних даних для прийняття рішення командиром; використання карт, аерофото- і аерокосмічних матеріалів, способи та засоби орієнтування на місцевості; використання засобів навігації наземних рухомих об'єктів у бойовій роботі командира. Представлено картографічні матеріали інших країн. Наведено науково-теоретичні основи застосування цифрових та електронних карт, супутникових радіонавігаційних систем і автономних систем навігації рухомих об'єктів, програмних модулів, геоінформаційних систем військового призначення.

Для курсантів (слухачів) військових спеціальностей вищих навчальних закладів, для самостійної підготовки офіцерів Збройних сил України.

#### ЗМІСТ

Передмова.

Розділ 1. Місцевість як елемент бойової обстановки.

Розділ 2. Топографічні та спеціальні карти.

Розділ 3. Читання топографічних карт.

Розділ 4. Вивчення рельєфу місцевості по карті.

Розділ 5. Вимірювання відстаней, площ і напрямів на карті.

Розділ 6. Визначення координат на топографічній карті.

Розділ 7. Аерокосмічні матеріали та їх використання.

Розділ 8. Карта як засіб управління.

Розділ 9. Вивчення тактичних властивостей місцевості.

Розділ 10. Використання засобів навігації наземних рухомих об'єктів у бойовій роботі командира.

Розділ 11. Орієнтування на місцевості без карти.

Розділ 12. Орієнтування на місцевості по карті.

Розділ 13. Робота з картою на місцевості.

Розділ 14. Розвідка місцевості.

Розділ 15. Методика проведення занять з військової топографії у підрозділі.

Розділ 16. Топографічні карти країн НАТО.

Список літератури.

Книги можна замовити за адресою: вул. Ф. Колесси, 2, корп. 23А, м. Львів, 79000  
тел. +38 032 258-21-46, факс +38 032 258-21-36, ел. пошта: [vmr@vlp.com.ua](mailto:vmr@vlp.com.ua), <http://vlp.com.ua>