

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ВІЗНАЧЕННЯ КІЛЬКІСНИХ ПАРАМЕТРІВ ОСТРІВНИХ ЛЬОДОВИКІВ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ЦИФРОВОГО СТЕРЕОФОТОГРАММЕТРИЧНОГО ЗНІМАННЯ

О. Дорожиський, В. Глозов***

**Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji Akademii Rolniczej w Krakowie*

***Національний університет "Львівська політехніка"*

На протязі 2002-2004 рр. на островах Галіндез, Вінтер, Бархани виконувалась цифрове стереофототопографічне знімання льодовиків, які розташовані на цих островах. Спостереження пов'язані з тим, що льодовики в останні 50 років змінили свої розміри у зв'язку з підвищенням температури у даному регіоні. Льодовиковий купол зменшує свої об'єми, але зміни, що проходять не однорідні. Отримані результати показують необхідність проведення постійного моніторингу льодового купола та льодовиків архіпелагу Аргентинських островів [1].

Визначення кількісних параметрів льодовиків застосовується у гляціології та у сфері динамічної гляціології. В першому варіанті вирішується більшість програм стосовно моніторингу льодовиків, а у другому, вивчення механізму переміщення льодовиків дає змогу виявити фізико-географічні процеси гляціології і перигляціологічних поясів. Таким чином застосування цифрового фототеодолітного знімання дасть можливість визначити глобальні задачі гляціології.

Для отримання кількісних параметрів льодовиків необхідно зробити попередній розрахунок точності визначення поверхневих об'ємів, а також проаналізувати матеріали отримані з допомогою цифрового знімання.

Застосування цифрового фототеодолітного знімання для дослідження льодовиків дасть змогу:

- визначити поверхнєві об'єми льодовиків;
- побудувати поздовжні профілі льодовикових куполів;
- виконати порівняльний аналіз результатів обмірів.

Для визначення поверхневих об'ємів льодовиків запропоновано метод вертикальної сітки, при якій положення виходу льодовика проектується на площину, яка є нормаллю до оптичної вісі знімальної камери. Технологічна схема польових робіт полягає у наступному [2].

На лівій та правій точках базису встановлюється прилад і марка. На лівій точці – цифровий фототеодоліт, на правій – візирна марка. Центрування проводилося звичайним для геодезичних приладів способом. Після встановлення цифрового фототеодоліта та марки вимірюють висоту інструмента i .

Фотографування виконувалось в наступному порядку:

- 1) на орієнтуючому пристрої (2Т2) встановлюють відлік, який відповідає необхідному випадку знімання;
- 2) послаблюючи закріпний гвинт, повертають теодоліт так, щоб візирна марка потрапила в поле зору зорової труби орієнтуючого пристрою; потім, закріпивши гвинт, точно суміщають бісектор зорової труби з центром візирної марки;
- 3) перевіряють точність встановлення відліку і положення рівнів; при необхідності положення рівнів виправляють і знову проводять візування на марку;

- 4) вмикують цифрову камеру, дисплей. Встановлюють робочу витримку, вибирають вид знімання. Обережно, щоб не порушити орієнтування приладу, проводять експозицію;
- 5) цифровий фототеодоліт переносять на праву точку базиса, а на його місце встановлюють візирну марку; після чого в цій же послідовності виконують знімання.

Знімання проводилось при різних фокусних відстанях камери, що обумовлювалось ракурсами захоплення об'єкту. Далі, згідно технологічної схеми, визначались координати точок знімання з допомогою GPS у статичному режимі для підвищення точності знаходження місцеположення центрів.

Таким чином на протязі 2002-2004рр. проведено три цикли знімання західної частини льодовика о.Галіндез та два цикли виходів льодовиків о.о.Вінгер та Бархани. Отримані матеріали для визначення кількісних параметрів про стан льодовиків і в першу визначення поверхневих об'ємів. Як зазначалося вище, був запропонований метод вертикальної сітки, який застосовується для обчислення об'ємів при розв'язуванні маркшейдерських робіт. Робоча формула розрахунку об'єму [5]:

$$V = \frac{1}{3} B^3 \Delta x \Delta z f \left\{ \sum_{i=1}^n \frac{1}{p_{сєр}^3} - \sum_{i=1}^n \frac{1}{p_{сєр}^3} \right\} \quad (1)$$

де B — довжина базису фотографування;

$\Delta x, \Delta y$ — прийняті розміри сторін елементарного квадрату (прямокутника) на знімку, що визначають собою кроки переміщення лівого знімка стереопари, за осями абсцис та аплікват;

f — фокусна віддаль знімальної камери;

$p_{сєр}, p'_{сєр}$ — паралакси нульового та наступних циклів, отримані кожен як середнє арифметичне з чотирьох паралаксів вершин комірок сітки.

Перейдемо тепер до оцінки точності визначення об'єму. Продиференціювавши формулу (1) та зробивши перехід до відносної похибки, отримаємо:

$$\left(\frac{m_V}{V} \right)^2 = 9 \cdot \left(\frac{m_B}{B} \right)^2 + \left(\frac{m_f}{f} \right)^2 + \frac{2m_p^2}{L} \left(\frac{1}{\Delta p_{сєр}^2} + \frac{4}{p_{сєр}^2} \right) + \frac{2}{\sqrt{N^3}} \left\{ \left(\frac{m_{\Delta x}}{\Delta x} \right)^2 + \left(\frac{m_{\Delta z}}{\Delta z} \right)^2 \right\} \quad (2)$$

де m_B — середня квадратична похибка базису знімання;

$m_p, m_{\Delta x}, m_{\Delta z}, m_{\Delta p}$ — середньоквадратичні похибки визначення фокусної віддалі та похибки встановлення відліків за осями абсцис та аплікват паралаксу;

N — кількість симетричних квадратів (прямокутників) мережі;

L — кількість усіх точок вимірів.

Підрахуємо за формулою (2) похибку визначення об'єму у відсотках. У нашому випадку:

$$\frac{m_B}{B} = \frac{1}{5000}$$

$$\Delta x = \Delta z = 2 \text{ мм}$$

$$m_f = 0,05 \text{ мм}$$

$$m_p = m_{\Delta x} = m_{\Delta z} = 0,005 \text{ мм}$$

$$f = 90 \text{ мм}$$

$$L = 264$$

$$p_{сєр} = 20 \text{ мм}$$

$$N = 231$$

$$p'_{сєр} = 21 \text{ мм}$$

Похибка перших двох членів буде складати – 0,1%, третього – 0,01%, і відповідно четвертого – 0,006%, тобто загальна відносна похибка: $\frac{m_V}{V} = 0,12\%$

Аналізуючи результати отримані за розрахунками чисельного прикладу можливо зробити наступні висновки:

1. Похибки виміру базису та фокусної віддалі визначають величину відносно похибки об'єму, яка у всіх випадках буде однаковою, тобто необхідно з максимальною точністю виміряти довжину базису знімання. Це можливо, оскільки вона визначається з допомогою GPS приймачів при наявності перманентної станції. Точність фокусної відстані знімання камер у нашому випадку складає – 0,05мм, що обумовлено способом визначення [3].
2. Третій член формули залежить від похибок паралаксів і буде зменшуватися від зміни площі елементарних фігур.
3. Значна степінь зменшення останнього члена залежить від збільшення величини масиву.
4. Оскільки застосовується наземне фототеодолітне знімання, то звичайно всі похибки, що стосуються цього методу присутні і при визначенні об'єму, тобто похибки визначення цієї величини залежать від відстані до об'єкту, а при збільшенні базису точність буде зростати.
5. Суттєво, що точність буде ще залежати від різниці паралаксів ($\Delta\rho$), причому обернено пропорційно.

Провівши аналіз значень похибок необхідно відмітити, що більш значною є похибка інтегрування рельєфу поверхні, яку можливо зменшити шляхом поділу окремих комірок вертикальної мережі на більш дрібні частки.

Як бачимо, у формулі (2) не присутні похибки елементів зовнішнього орієнтування; наявність цих похибок в значній мірі буде спотворювати величину об'єму. Розглянемо вплив похибок нахилу знімка на різницю повздовжніх паралаксів, оскільки вони безпосередньо впливають на відносну похибку визначення об'єму. Застосовуючи формули [4], отримаємо:

$$\Delta\rho_{\Delta\omega} = -\frac{z}{f}(x_1\Delta\omega_1 - x_2\Delta\omega_2) \quad (3)$$

$$\Delta\rho_{\Delta\varphi} = f(\Delta\varphi_1 - \Delta\varphi_2) + \frac{x_1^2\Delta\varphi_1 - x_2^2\Delta\varphi_2}{f}$$

Враховуючи $\Delta\varphi = \Delta\omega = 30''$, для $f = 90\text{мм}$, $x_1 = 40\text{мм}$, $x_2 = 30\text{мм}$, $z = 30\text{мм}$, тоді $\Delta\rho_{\Delta\omega} = 0,0005\text{мм}$, $\Delta\rho_{\Delta\varphi} = 0,013\text{мм}$. Згідно отриманих даних точність методу при нормальному випадку знімання та орієнтування фототеодоліта з точністю $30''$ не виходить за межі розрахункової, тобто $0,1\%$. Однак при рівновідхилсному випадку (15°) точність визначення об'ємів складає вже 1% ; в цьому випадку знімки необхідно трансформувати.

З метою контролю вище викладеного методу були виконані геодезичні роботи, в процесі яких отримані координати опорних точок за контрольними напрямками. На поверхні льодовика (західна частина о.Галіндез, див. рис.1) згідно з розмірами стереопари вибирались контурні точки, координати яких визначались прямою геодезичною засічкою. Виміри виконувались з допомогою теодоліта 2Т2. Але у зв'язку з тим, що точки не маркувалися, через неможливість ходити по поверхні льодовика, виникла похибка візування і СКП визначення координат склала $0,09\text{м}$. Визначення об'єму виконувалося в програмному пакеті "Digital" наступним чином. На поверхні виходу льодовика набирались пікстні точки (приблизно 1500-2000 пікстів) в характерних частинах поверхні льодовика. Після чого визначався умовний об'єм даного циклу відносно поверхні, що утворилася пікстами та вертикальної площини, яка задавалась від краю льодовика. Далі аналогічно оброблявся наступний цикл і визначалась різниця об'ємів цих об'єктів. В результаті

розрахунків отримували різницю поверхневих об'ємів суміжних циклів, тобто зміну цієї величини між сезонами.



а) знімання 2002 р.



б) знімання 2003 р.



в) знімання 2004 р.

Рис 1. Знімки західньої сторони льодовика о. Галіндез

Апріорна оцінка точності визначення об'ємів відповідно буде

$$m_v = k \cdot h \cdot m_l + l \cdot k \cdot m_h + l \cdot h \cdot m_k \quad (4)$$

де, m_l , m_h , m_k — СКП зовнішнього орієнтування знімків;

l , k , h — максимальні габаритні розміри льодовика.

В нашому випадку відповідно до першого та другого циклу — $m_l = 0,20\text{м}$, $m_h = 0,13\text{м}$, $m_k = 0,50\text{м}$, $l = 210\text{м}$, $k = 40\text{м}$ тоді. Відносна СКП буде складати $\frac{m_v}{V} = 1,2\%$. Порівнюючи

методи наглядно видно, що метод вертикальної сітки на порядок точніший, але і метод пікстів не перевищує допустиму різницю.

В результаті обмірів західньої частини льодовика о.Галіндез встановлено, що поверхневий об'єм зменшується. В роках 2002-2003 він зменшився на 23000 м^3 , а за період 2003-2004 р.р. зменшення становило 28900 м^3 .

Аналізуючи процес орієнтування на ЦФС, в першу чергу необхідно визначити, що виникає досить суттєва складність переопізнання точок різних циклів. Це зумовлено досить значною зміною, що виникають на поверхні льодовиків. Тому орієнтувати знімки краще всього в режимі наземного знімання як два поодиноких знімка.

Висновки

1. Запропонована технологічна схема визначення поверхневих об'ємів льодовиків дає змогу оперативно із необхідною точністю розв'язати поставлену задачу, як методом пікетів так і методом вертикальної сітки.
2. Цифрове фототеодолітне знімання при застосуванні способу вертикальної сітки дозволяє визначити кількісні параметри льодовиків без додаткових геодезичних вимірів, але при рівновідхилених випадках знімання необхідно застосовувати трансформування знімків.
3. За результатами обрахунків встановлені суттєві зміни поверхонь льодовиків, що є підґрунтям для метеорологічних та гляціологічних досліджень.
4. В подальшому планується виконати обробку матеріалів знімання льодовиків розташованих на о.о. Вінтер та Бархани.

Abstract

ANALYSES OF TECHNOLOGICAL SCHEME OF DETERMINATION OF QUANTATIVE PARAMETERS OF ISLAND GLACIERS USING RESULTS OF DIGITAL STEREOPHOTOGRAMMETRIC SURVEYING.

A.Dorozhynskyy, V.Glotov

Analyses of digital phototheodolite method of researches of island glaciers in region of Ukrainian antarctic station of Vernadskyy is presented in the paper. Apriory calculation of accuracy of determination of surface values of glaciers is shown. The conclusions about accuracy increasing of the method of vertical network are made on its example. Results of researches are given.

Література

1. Глотов В.Н., Ковалсиок С.Б., Милиневский Г.П. и др. Мониторинг малых ледников как индикаторов изменений климата в районе Антарктического полуострова//Український Антарктичний журнал. №1. Київ. 2003р.с.93-99.
2. Глотов В.М. Створення фронтальних планів льодовиків Антарктичного узбережжя//36.наук. праць ЗГТ „Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва”. Львів. 2003р. с.264-268.
3. Глотов В.М. Особливості визначення фокусної відстані цифрових фототеодолітних камер//Міжвідомчий наук.-техн.збір. „Геодезія, картографія і аерофотознімання”. Вип.63. Львів. 2003р.
4. Лобанов А.Н.. Фототопографія // М., Недра. 1983г.
5. Пузанов Б.С., Иванов Н.И.. Методика измерений объемов и площадей по наземным стереоснимкам//Тр.ин-та «Оргэнергострой» 1959г.

Recenzował: dr hab. inż. Karol Noga

