

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ МОНІТОРИНГУ ОСТРІВНИХ ЛЬДОВИКІВ АНТАРКТИЧНОГО УЗБЕРЕЖЖЯ ЦИФРОВИМ СТЕРЕОФОТОГРАММЕТРИЧНИМ МЕТОДОМ

К. Третяк, В. Глотов, Ю. Голубінка

Національний університет "Львівська політехніка"

Ключові слова: льодовики, лазерне наземне сканування, цифрове стереофотограмметричне знімання.

Постановка проблеми

Льодовики – це скупчення льоду, що повільно рухаються по земній поверхні. У деяких випадках рух льоду припиняється і утворюється нерухомий лід [1]. Багато льодовиків просуваються на деяку відстань в океани, великі озера, а потім утворюють фронт отелення, де відбувається відкол айсбергів. Виділяють чотири основних типи льодовиків: материкові льодовикові покриви, льодовикові шапки, долинні льодовики (альпійські) і передгірні льодовики [2, 3].

Найпоширеніші покривні льодовики, що можуть цілком перекивати плато й гірські хребти. Найбільшим є Антарктичний льодовиковий покрив площею понад 13 млн. км², що займає майже весь материк [4, 5]. У цій оцінці враховано площу не тільки самого льодовикового покриву, але й численних вихідних льодовиків.

Гідрологічна роль льодовиків полягає в перерозподілі стоку атмосферних опадів всередині року й у згладжуванні коливань річних водотоків рік. У льодовиках зосереджено 39890 км³ прісної води, приблизно 110 км³ – формується щорічно. Тому актуальною є проблема моніторингу льодовиків Антарктичного узбережжя і передусім острівних льодовиків, як показників зміни клімату.

Інтенсивне танення острівних льодовиків значною мірою впливає на біорізноманіття та еволюцію пристосування флори і фауни цього регіону [22]. Спостереження за динамікою цього явища дасть змогу виявити кліматичні, гляціологічні та біологічні зміни, що тут відбуваються.

Зв'язок із важливими науковими й практичними завданнями

Аналіз результатів останніх метеорологічних і гляціологічних спостережень у регіоні Західної Антарктики та в інших місцях земної кулі дає підстави стверджувати, що спостереження за льодовиками є лише частиною масових досліджень, які сприяють встановленню тенденції глобальних кліматичних змін на усій планеті, а також різноманітних змін безпосередньо в районі Антарктичного узбережжя.

Сьогодні для спостережень за станом льодовиків активно використовують сучасні засоби дистанційних наземних досліджень, які дають змогу істотно підвищити швидкість виконання вимірювань та точність отримання кількісних параметрів об'єктів дослідження, зокрема поверхонь льодовиків. Провідними

методами, впродовж останніх років, є використання лазерного сканування та цифрового знімання.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, які стосуються вирішення цієї проблеми

Нині у гляціології накопичено величезний фактичний матеріал, створені оригінальні й адаптовані стандартні математичні методи обробки даних. Розроблений і опублікований Атлас сніжно-льодових ресурсів світу, де представлені картографічні моделі нівально-гляціональних систем усіх рівнів від локального до глобального, створені на основі середньобагаторічних прямих і непрямих даних за 30 років спостережень [6–12].

Десятирічні спостереження за температурою та концентрацією солі в морській воді в районі архіпелагу Аргентинські острови, які розташовані біля Антарктичного півострова, свідчать про значне їх зростання в літній період. Найбільше підвищення температури повітря та води спостерігалось в січні 2001–2005 років. А загалом середньорічна температура повітря в районі архіпелагу зросла більше ніж на 2 °С за останні 40 років [13–21], що спричинило танення острівних льодовиків, які виникли на цих островах понад 10 тис. років тому.

Невирішені частини загальної проблеми

Проаналізувавши матеріали останніх метеорологічних і гляціологічних спостережень у цьому регіоні та в інших місцях земної кулі, можна стверджувати, що спостереження за льодовиками є лише частиною масових досліджень, які сприяють встановленню тенденції глобальних кліматичних змін на усій планеті, а також різноманітних змін безпосередньо в районі Антарктичного узбережжя. Зростають також обсяги досліджень льодовиків методами дистанційного зондування. Водночас не досліджено такі питання розвитку острівних та материкових льодовиків цього регіону:

- просторове зміщення льодовиків за відповідний проміжок часу;
- особливості льодовиків та їх морфологічні характеристики на різних етапах розвитку;
- зміни форми та розмірів льодовиків, а також їх об'ємів, складу мас льоду.

Постановка завдання

Протягом 2002–2005 рр. та 2013 р., зокрема на острові Галіндез, виконувалось цифрове стереофотографічне знімання льодовика, який там розташований. У 2013 р. вперше було застосовано для дослідження цих льодовиків наземне лазерне сканування.

Спостереження пов'язані з тим, що розміри острівних льодовиків в останні 50 років істотно змінилися через підвищення температури у цьому регіоні. Льодовиковий купол зменшує свої об'єми, але зміни, що проходять, не однорідні. Отримані результати свідчать, що необхідно проводити постійний моніторинг льодового купола та льодовиків архіпелагу Аргентинських островів.

Отже, постало завдання – провести дослідження острівних льодовиків як каталізаторів зміни кліматичних, біологічних та гляціологічних процесів, які відбуваються у Західній Антарктиці.

Виклад основного матеріалу

Аналіз методів спостереження за льодовиками дає підстави зробити висновки, що геодезичні методи дослідження, які мають контактний характер, є недостатньо технологічними, а з погляду охорони праці у більшості видів робіт небезпечними. Водночас дистанційні методи зондування (аерофотознімання та наземне фототеодолітне знімання) повністю задовольняють техніко-технологічні вимоги та виключають небезпечність під час виконання робіт. Але використання АФЗ в районі Антарктиди, як вже зазначалося, є технологічною проблемою і має дуже високу собівартість [25].

Застосування НФЗ виключає негативні риси цих методів і дає можливість визначити параметри льодовиків, до яких передусім зараховують [26]:

- форми та розміри, а також зміну об'ємів, складових їх мас льоду;
- використання знімальних матеріалів для різноманітних гляціологічних робіт.

Актуальним також є питання визначення апріорної точності просторових координат льодовиків.

Точність визначення просторових координат точок об'єкта за стереопарами наземних знімків залежить від ряду джерел похибок. Похибки визначення координат та паралаксів точок на знімках викликають похибки $m_{x\phi}$, $m_{y\phi}$, $m_{z\phi}$ у фотограмметричних координатах точок об'єкта. Для визначення точності координат використовують формули для нормального та паралельного випадків знімання [27].

У табл. 1 наведено значення похибок $m_{x\phi}$, $m_{y\phi}$, $m_{z\phi}$ для двох випадків знімання. Для цифрової камери Canon EOS 450D з фокусними віддалями відповідно: 35 мм та 55 мм та розміром ПЗЗ-матриці 22,2×14,8 мм.

Досить висока точність визначення координат пояснюється довжиною фокусних віддалей. Для такої кадрової рамки вони будуть довгофокусні.

Польові роботи передбачали такі процеси:

- рекогностування ділянки та складання робочого проекту знімання;
- закріплення контрольних та базисних точок та проведення робіт з визначення їх геодезичних координат;
- виготовлення довгострокових центрів знімання;
- знімання [26].

Довгострокові центри знімання виготовлено з товстостінних труб діаметром 7 см та 160 см завдовжки. Для встановлення приладів з торцевої частини труби зварюванням закріплювали підставку розміром 15×15 см, в якій зроблено отвір діаметром 16 мм для примусового центрування. З метою посилення жорсткості підставку закріплено додатково скісною підпиркою. Центри встановлено на місцевості за допомогою бетонування.

Виконувався такий комплекс спостережень. На лівій та правій точках базису встановлювали прилад і марку. На лівій точці – цифровий фототеодоліт, на правій – візирну марку. Центрування проводилось звичайним для геодезичних приладів способом. Після встановлення цифрового фототеодоліта та марки вимірювали висоту інструменту i .

Фотографування виконувалось у такій послідовності:

- 1) на орієнтирному пристрої (2Т2) встановлюють відлік, який відповідає необхідному випадку знімання;
- 2) послаблюючи закріпний гвинт, повертають теодоліт так, щоб візирна марка попала в поле зору зорової труби орієнтирного пристрою; потім, закріпивши гвинт, точно суміщають бісектор зорової труби із центром візирної марки;
- 3) перевіряють точність встановлення відліку і положення рівнів; за необхідності положення рівнів виправляють і знову проводять візування на марку;
- 4) вмикають цифрову камеру, дисплей. Встановлюють робочу витримку, вибирають вид знімання. Обережно, щоб не порушити орієнтування приладу, проводять знімання;
- 5) цифровий фототеодоліт переносять на праву точку базису, а на його місце встановлюють візирну марку, після чого в цій самій послідовності виконують знімання.

Знімання проводилось з різними фокусними віддалями камери, це пояснюється застосуванням різних ракурсів захоплення об'єкта [28]. Далі, згідно з технологічною схемою, визначали координати точок знімання за допомогою GPS у статичному режимі для підвищення точності знаходження місцеположення центрів (рис. 1).

Таблиця 1

Визначення апріорної оцінки точності фотограмметричних координат для нормального та паралельного випадків знімання

Назва об'єкта	$U\phi$ max, м	B , м	Камера	f , мм	Нормальний випадок знімання			Рівновідхилений випадок ($\phi = 15^\circ$)		
					$m_{x\phi}$, м	$m_{y\phi}$, м	$m_{z\phi}$, м	$m_{x\phi}$, м	$m_{y\phi}$, м	$m_{z\phi}$, м
о. Галіндез	200	40	Canon 450D	55 35	0.028 0.032	0.054 0.061	0.020 0.025	0.029 0.034	0.056 0.061	0.020 0.025

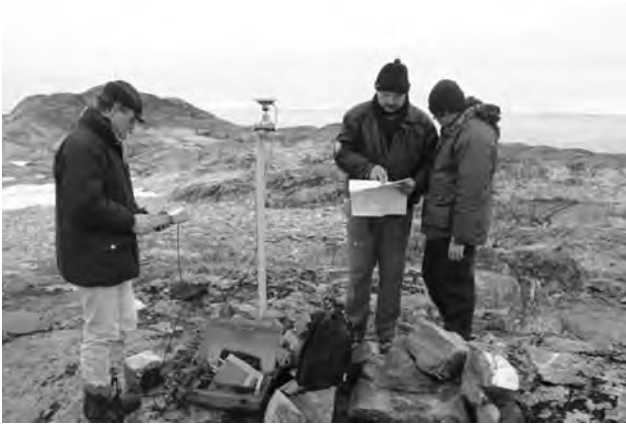


Рис. 1. Визначення координат базисних центрів

Камеральну обробку отриманих матеріалів здійснено на цифровій фотограмметричній станції (ЦФС) “Дельта-2”.

Орієнтувати знімки найкраще у режимі “Наземне знімання” та “Два поодиноких знімки”.

Визначення об’єму виконувалося в програмному пакеті “Digitals”. На поверхні виходу льодовика набирали пікетні точки (приблизно 1500–2000 пікетів) на характерних поверхнях рельєфу льодовика. Після цього визначали умовний об’єм циклу відносно поверхні, утвореної пікетами, та вертикальної площини, яка задавалась від краю льодовика. Далі аналогічно обробляли наступний цикл і визначали різницю цих об’ємів. В результаті розрахунків отримували різницю поверхневих об’ємів суміжних циклів, тобто зміну цієї величини між сезонами.

Апріорна оцінка точності визначення об’ємів відповідно буде:

$$m_V = (k^2 \cdot h^2 \cdot m_l^2 + l^2 \cdot k^2 \cdot m_h^2 + l^2 \cdot h^2 \cdot m_k^2)^{1/2}, \quad (7)$$

де, m_l, m_k, m_h – СКП зовнішнього орієнтування знімків; l, k, h – максимальні габаритні розміри льодовика.

У нашому випадку відповідно:

$$m_l \quad 0,20 \text{ м}, \quad m_h \quad 0,13 \text{ м}, \quad m_k \quad 0,50 \text{ м},$$

$$l \quad 210 \text{ м}, \quad h \quad 40 \text{ м}, \quad k \quad 40 \text{ м},$$

тоді відносна СКП становитиме $\frac{m_V}{V} = 1,2 \%$.

Отже, впродовж 2002–2005 рр. та 2013 р. проведено п’ять циклів знімання західної частини льодовика о. Галіндез та три цикли виходів льодовиків південної частини о. Галіндез. Отримано матеріали для визначення поверхневих об’ємів льодовиків. На рис. 2 подано цифрові знімки західної сторони виходу льодовика на острові Галіндез, зроблені з правої точки базису знімання.

Отже, за першими чотирма циклами визначено поверхневий об’єм виходів льодовика на острові Галіндез цифровим стереофотограмметричним методом (рис. 7).

З метою впровадження новітніх технологій та контролю апробованого методу у сезонній експедиції 2013 р. для розв’язання аналогічної задачі застосоване наземне лазерне сканування. Причому для опорних та контрольних точок цифрового стереофотограмметричного методу використано координати, отримані за допомогою лазерного сканування, що, своєю чергою, дало можливість зворотного контролю результатів вимірів

Метод наземного лазерного сканування полягає у визначенні координат точок поверхні сканованого об’єкта з високою швидкістю (до 1 млн. точок за секунду) та точністю (до 2 мм). У результаті сканування об’єктів отримують так звані “хмари” точок, які характеризують форму, розміри об’єкта та його орієнтацію у просторі.

Технологічну схему процесу сканування острівних льодовиків наведено на рис. 3.

Перед виконанням польових вимірювань, з використанням наявного картматеріалу, вибрано місця встановлення сканера та контрольних марок для сканування льодовика. Максимальна вимірювана відстань використаного сканера не перевищує 120 м, тому вибір здійснювали так, щоб відстані від приладу до об’єкта не перевищували 80 м, а відстані між контрольними марками та сканером не були більшими за 60 м.

Під час 18-ї Української антарктичної експедиції виконано дослідження поверхні виходів льодовика. Польові вимірювання проводилися з 2.04.2013 до 4.04.2013 р. наземним лазерним сканером Faro Focus 3D.

Для визначення координат марок та станцій сканування використовували два двочастотні приймачі Leica GPS1200.

Під час проведення ГНСС-спостережень один з приймачів встановлювали на геодезичному пункті VER1, поблизу Української антарктичної станції “Академік Вернадський”, другий послідовно встановлювався на контрольних марках та на станціях сканування (рис. 4). Також використано дані спостережень перманентної VNAD, встановленої поблизу станції “Академік Вернадський”. Спостереження проводилися в кінематичному режимі. Опрацювання результатів вимірювань реалізовувалося у програмному пакеті Leica Geo Office. В результаті визначено координати марок та станцій стояння сканера в системі координат WGS84 у проекції Universal Transverse Mercator (UTM), середні квадратичні похибки їх визначення не перевищували 10 см.

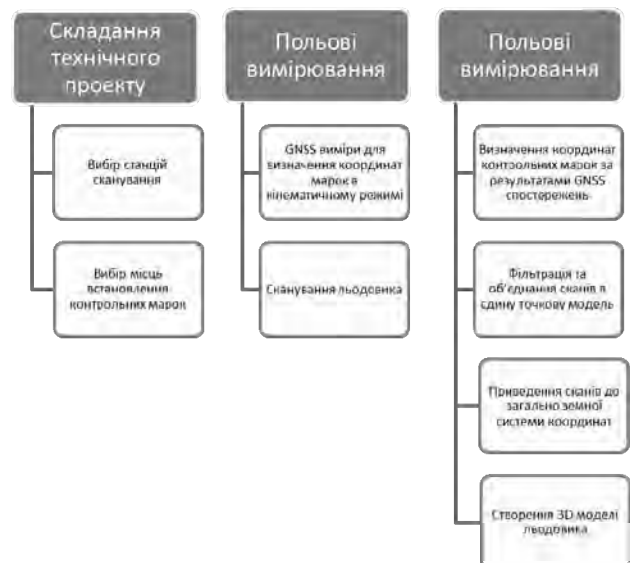


Рис. 3. Технологічна схема наземного лазерного сканування острівних льодовиків



а – 2002 р.



б – знімання 2003 р.



в – знімання 2004 р.



г – знімання 2005 р.



д – знімання 2013 р.

Рис. 2. Фрагменти західної частини льодовика на острові Галіндес



Рис. 4. Визначення координат марки та сканера методом ГНСС

Під час сканування відстані між станціями сканування, сканером і поверхнею льодовика, сканером і опорними марками були у межах до 80 м. Відповідно в налаштуваннях сканера встановлено роздільну здатність сканування, яка забезпечувала відстань між точками сканування на поверхні льодовика у межах 3 см. При цьому тривалість сканування на одній станції становила 30 хв.

Сканування виконувалося у складних погодних умовах – у дощ та при снігових зарядах. Ці опади були зафіксовані на сканах та видалені з використанням спеціальних фільтрів та у ручному режимі за допомогою програми Faro Scene. Під час апробації запропонованої технології виявлено, що різний за складом лід має відмінні відбивні властивості. Допустимі кути падіння лазерного променя на поверхню льодовика не повинні бути меншим за 45° . За менших кутів практично відсутнє приймання сканером відбитого сигналу. Відповідно з'являються невідскановані ділянки.

Опрацювання результатів наземного лазерного сканування здійснювалося в програмному пакеті Leica Cyclone. На початковому етапі було виконано фільтрацію даних, щоб вилучити хибні точки, отримані внаслідок складних погодних умов, кута відбиття об'єкта сканування. Фільтрацію здійснено автоматично за допомогою програмного забезпечення.

Після фільтрації виконувалося об'єднання сканів льодовиків у єдину точкову модель та перетворення її координат у просторову систему координат UTM на основі відомих координат контрольних марок. Для цього визначали параметри перетворення між системою координат сканера та просторовою системою координат (рис. 6) за такими виразами:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{bmatrix}, \quad (2)$$

де X, Y, Z – координати точки в просторовій системі координат; X_S, Y_S, Z_S – координати точки в системі

координат сканера; X_0, Y_0, Z_0 – координати початку системи координат сканера в просторовій системі координат; $a_1, a_2, a_3, \dots, c_3$ – напрямні косинуси:

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= \cos \varepsilon \cos \xi - \sin \varepsilon \sin \eta \sin \xi \\ a_2 &= -\cos \varepsilon \sin \eta - \sin \varepsilon \sin \eta \cos \xi \\ a_3 &= -\sin \varepsilon \cos \xi \\ b_1 &= \cos \eta \sin \xi \\ b_2 &= \cos \eta \cos \xi \\ b_3 &= -\sin \eta \\ c_1 &= \sin \varepsilon \cos \xi + \cos \varepsilon \sin \eta \sin \xi \\ c_2 &= -\sin \varepsilon \sin \eta + \cos \varepsilon \sin \eta \cos \xi \\ c_3 &= \cos \varepsilon \cos \eta \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Середні квадратичні похибки об'єднання та трансформації сканів за координатами контрольних марок, для створення точкових моделей льодовика острові Галіндез наведено у табл. 2.

В результаті отримані точкові моделі льодовика, приклад точкової моделі західної сторони льодовика л. Галіндез подано на рис. 5.

Таблиця 2

Середні квадратичні похибки об'єднання сканів

№ скану	№ марки	m_x , см	m_y , см	m_z , см
Скан 1	M1	10,0	18,0	15,0
	M2	17,0	15,0	5,0
	M3	12,0	19,0	15,0
Скан 2	M1	9,0	16,0	14,0
	M2	10,0	5,0	5,0
	M3	9,0	10,0	5,0
	M4	19,0	6,0	13,0
	M5	10,0	9,0	10,0
	M6	13,0	19,0	14,0
Скан 3	M4	15,0	13,0	19,0
	M5	8,0	17,0	13,0
	M6	9,0	5,0	17,0
	M7	20,0	16,0	6,0
	M8	8,0	14,0	17,0
	M9	12,0	18,0	17,0
	M10	18,0	17,0	20,0
Скан 4	M7	13,0	12,0	6,0
	M8	6,0	17,0	12,0
	M9	14,0	9,0	8,0
	M10	10,0	5,0	6,0
	M11	19,0	12,0	17,0
	M12	10,0	5,0	16,0
Скан 5	M10	16,0	15,0	15,0
	M11	10,0	12,0	18,0
	M12	20,0	8,0	10,0

У результаті опрацювання комплексних досліджень острівних льодовиків методами наземного лазерного сканування та цифрового фототеодолітного сканування ми обчислили значення приповерхневого об'єму західної частини льодовика острова Галіндез, яке дорівнює 64 тис. m^3 . Розподіл поверхневих об'ємів протягом 2002 – 2005 рр. та 2013 р. наведено на рис. 7.

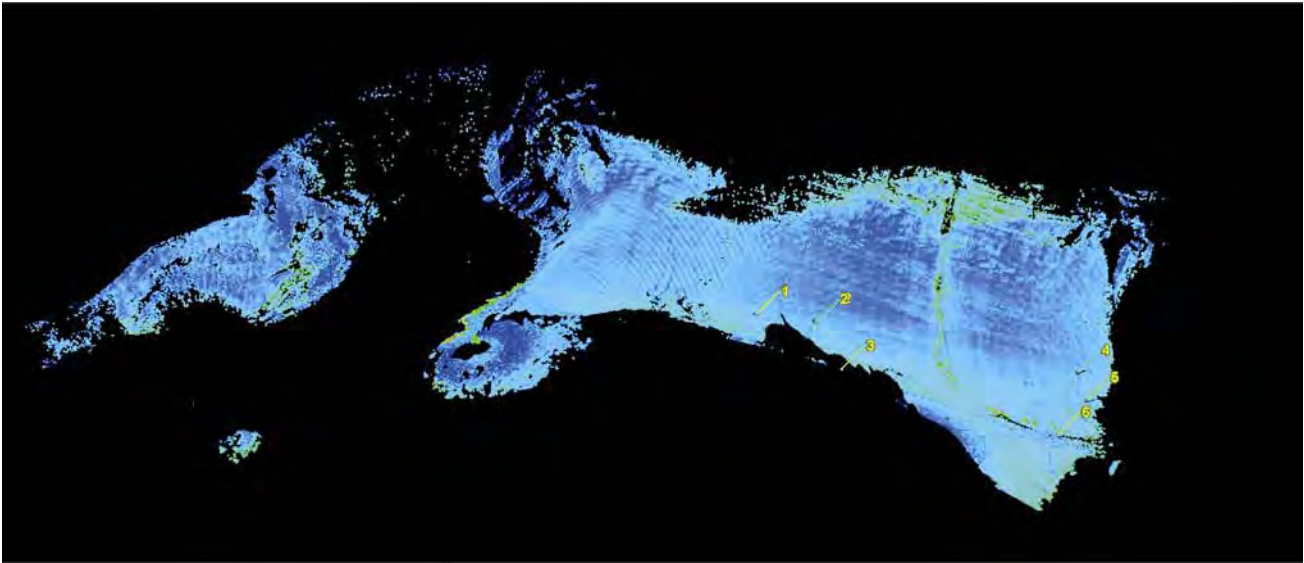


Рис. 5. Точкова модель західної частини льодовика о. Галіндез

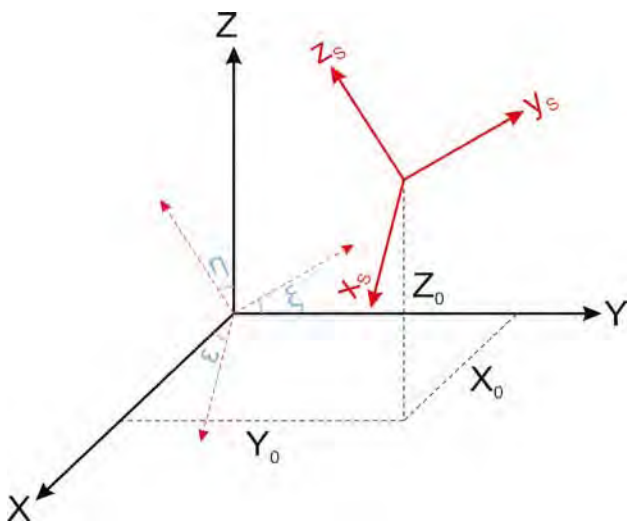


Рис. 6. Схема перетворення координат

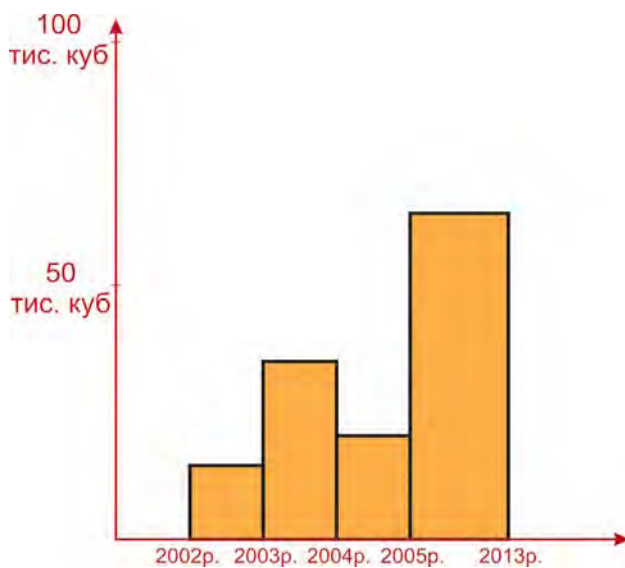


Рис. 7. Розподіл значень поверхневих об'ємів 2002–2005 рр. та 2013 р.

Висновки та пропозиції

1. Запропоновані технологічні схеми визначення поверхневих об'ємів льодовиків дають змогу оперативно і з необхідною точністю розв'язати поставлену задачу, як методом пікетів, так і методом вертикальної сітки.
2. Цифрове фототеодолітне знімання та лазерне сканування дає змогу визначити кількісні параметри льодовиків без додаткових геодезичних вимірів.
3. За результатами обчислень спостерігається істотна динаміка змін поверхні льодовиків, що є підґрунтям для досліджень метеорологічних та гляціологічних задач.
4. Надалі планується продовжити спостереження та обробку матеріалів щодо льодовиків о. Галіндез, Вінтер, Бархани, а також материкового льодовика Уїгенса.

Література

1. Книжников Ю.Ф. Полевые исследования горных ледников: метрические возможности стереоснимков, полученных цифровыми фотокамерами / Ю.Ф. Книжников, Р.Н. Гельман // Материалы гляциологических исследований. – Вып. 92. – 2002. – С.216–222.
2. Осипова Г.Б. Что дает мониторинг пульсирующих ледников / Г.Б. Осипова, А.Г. Цветков // Природа. – 2003. – № 4. – С.28–34.
3. Возможности аэрофотографического мониторинга пульсирующих ледников (на примере ледника Медвежьего, Западный Памир) / Г.Б. Осипова и др. // Материалы гляциологических исследований. – М., 1990. – Вып. 68. – С.149–156.
4. Antarctic Marine Geology / B.I. Anderson // Cambridge University Press, 1999. – 289 p.
5. Fleming W.L. Relic glacial forms on the western seaboard of Graham Land / W.L. Fleming // Geogr. J. – 1994. – 96, No. 2. – P.93–100.
6. Книжников Ю.Ф., Компьютерная система для измерения цифровых стереопар при решении топографических задач и научных исследованиях / Ю.Ф. Книжников, Р.Н. Гельман // Геодезия и картография. – 1999. – № 2. – С.136–149.

7. Benn D.I., Glaciers and glaciation / D.I. Benn, D.J.A. Evans // Edward Arnold, Oxford 1998. – 734 p.
8. Betterton M.D. Theory of structure formation in snowfields motivated by penitentes, suncups and dirt cones / M.D. Betterton // The American Physical Society, Physical review E 63, 2001. – P.1–12.
9. Sadler I. Observations on the Ice Caps of Galindez and Skua Islands, Argentine Islands, 1960–1966 / I. Sadler // Br. Antarct. Surv. Bull. – 1968. – No. 17. – P.21–49.
10. Theakstone W.H. Mapping changing glaciers / W.H. Theakstone // Aarhus Geoscience 7, 1997. – P.101–111.
11. Studies on the Ice Cap of Galindez Island, Argentine Islands / R.H. Thomas // Br. Antarct. Surv. Bull. – 1963. – No. 2. – P. 27–43.
12. Vaughan D.G. Risk estimation of collapse of the West Antarctic ice sheet / D.G. Vaughan, J.R. Spouge // Climatic Change. – 2002. – Vol. 52. – P.65–91.
13. Мониторинг малых ледников как индикаторов изменений климата в районе Антарктического полуострова / В.М. Глотов та ін. // Український Антарктичний журнал. – 2003. – № 1. – С.93–99.
14. Дослідження динаміки льодовиків Аргентинського архіпелагу з допомогою GPS для вивчення кліматичних змін на Антарктичному півострові / С. Ковальонюк // Геодинаміка. – 2004. – № 4. – С.62–68.
15. Cook A.J. Retreating Glacier Fronts on the Antarctic Peninsula over the Past Half-Century the loss of ice shelves has caused acceleration of the glaciers that fed them / A.J. Cook, A.J. Fox, D.G. Vaughan, J.G. Ferrigno // Science. – Vol. 308. – 2005. – P.541–544.
16. King J. C. Recent climate variability in the vicinity of the Antarctic Peninsula / J.C. King // International Journal of Climatology. – 1994. – 14, No 4. – P.357–369.
17. Small ice cap dynamic in the Antarctic Peninsula rapid climate change conditions / S.B. Kovalenok // XXVIII SCAR Open Science Conference, Bremen, 2004 – Abstracts, Session 08: S08/O10. – 2004. – P.216–217.
18. Kovalenok S.B., Impact of Antarctic Peninsula climate change on Galindez Island ice cap dynamics / S.B. Kovalenok, G.P. Milinevsky, J.D. Shanklin // Antarctic Peninsula Climate Variability: History, Causes and Impacts, 16–18 September 2004, Cambridge, UK. – Poster.
19. Determination of the Galindez Island ice cap thickness by the vertical electric-resonance sounding method / S.P. Levashov et al. // Ukr. Antarc. Zh. – 2004. – No.2. – P. 38–43.
20. Cramer P. Performance of medium format digital aerial sensor systems / P. Cramer // The international archives of the remote sensing and spatial information sciences. XXXV congress ISPRS. Istanbul, – 2004. – P.769–775.
21. Faro® laser scanner focus3d User manual // 2011 FARO Technologies Inc., 2011. – 136 p.
22. Leica GPS1200+ Technical Reference Manual Leica Geosystems AG 2010. – 1442 p.
23. Using of the digital stereo photogrammetric survey for the ice cap dynamic research (GS21) Glotov V.M. at all // Second Ukrainian Antarctic Meeting. – Kyiv, 2004. – P.37–38.
24. Глотов В.М. Створення фронтальних планів льодовиків Антарктичного узбережжя / В.М. Глотов // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Львів. – 2003. – С.264–268.
25. Лобанов А.Н. Фотограмметрия / А.Н. Лобанов. – М.: Недра, 1984. – 552 с.
26. Глотов В. Результаты мониторинга островных льодовиків Антарктичного узбережжя / В. Глотов // Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища – GPS- і GIS-технології: зб. наук. матер. IX Міжн. наук.-техн. симпозіум. (Алушта, вересень 2004). – Л. – 2004. – С.20–23.
27. Наземная фототопографическая съемка при инженерных изысканиях / П.Н. Бруевич, В.С. Кириленко, Г.А. Лысков. – М.: Недра, 1979. – 254 с.
28. Полевые исследования горных ледников: метрические возможности стереоснимков, полученных цифровыми фотокамерами / Ю.Ф. Книжников и др. // Материалы гляциологических исследований. – М., 2002. – Вып. 92. – С.216–222.
29. Визначення динаміки поверхневих об'ємів островних льодовиків як складова частина ГІС “Антарктида” / В.М. Глотов // зб. наук. пр. X Міжн. наук.-техн. симпозіум “Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища – GPS- і GIS-технології”. 6–10 вересня 2005. – Алушта. – С.172–176.
30. Пузанов Б.С., Методика измерений объемов и площадей по наземным стереоснимкам / Б.С. Пузанов, Н.И. Иванов // Тр. Ин-та “Оргэнергострой”, 1959. – 50 с.

Аналіз результатів моніторингу островних льодовиків Антарктичного узбережжя лазерним скануванням та цифровим стереофотограмметричним методом
К. Третяк, В. Глотов, Ю. Голубінка

Наведено результати визначення поверхневих об'ємів островних льодовиків Аргентинського архіпелагу Антарктичного узбережжя. З цією метою запропоновано два методи визначення об'ємів: лазерним наземним скануванням та цифровим стереофотограмметричним методом. Акцентується на суттєвій зміні кількісних параметрів льодовиків, що пояснюється зміною кліматичних умов на земній кулі.

Анализ результатов мониторинга островных ледников Антарктического побережья лазерным сканированием и цифровым стереофотограмметрическим методом
К. Третяк, В. Глотов, Ю. Голубинка

Приведены результаты определения поверхностных объемов островных ледников Аргентинского архипелага Антарктического побережья. С этой целью предложено два метода определения объемов: лазерным наземным сканированием и цифровым стереофотограмметрическим методом. Акцентируется на существенном изменении количественных параметров ледников, что объясняется изменением климатических условий на земном шаре.

The monitoring analysis of the Antarctic island glaciers laser scanning and digital photogrammetry measurements
V. Hlotov, Ju. Golubinka, K. Tretyak

In this article are shown results of volumes determination of islands glaciers of Argentinian archipelago (West Antarctic). For this purpose two methods were used: ground laser scanning and digital photogrammetry measurements.