



І. Савчин*, Є. Шило

Інститут геодезії, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, 79013, Україна

* Автор для кореспонденції: ih.savchyn@gmail.com

Моніторинг зміни площі льодовиків, розташованих на островах Галіндез, Вінтер та Скуа (Аргентинські острови, Західна Антарктида)

Реферат. У зв'язку із глобальним потеплінням впродовж останніх десятиліть льодовики та льодові системи Антарктиди та Антарктичного півострова зазнають значних змін розмірів та форми. Тому, для контролю, прогнозування та запобігання таким процесам необхідно проводити постійний моніторинг та аналіз зміни основних параметрів льодовиків та льодових систем. У даній роботі пропонується дослідження зміни площі льодовиків, розташованих на островах Галіндез, Вінтер та Скуа (Аргентинські острови, Антарктичний півострів, Західна Антарктида). Дослідження ґрунтується на інтегруванні різних просторово-часових масивів даних в єдину систему для виконання ретроспективно-географічного моніторингу зміни площі льодовиків на островах Галіндез, Вінтер та Скуа. Єдиною системою для інтегрування просторово-часових масивів даних вибрано систему координат UTM (zone 20, South). Використовуючи трансформовані архівні картографічні матеріали, а також отримані ортофотоплани, оцифровано межі льодовиків на островах Галіндез, Вінтер та Скуа у різні періоди досліджень. Ґрунтуючись на ідентифікованих межах визначено значення зміни площі острівних льодовиків, а також швидкість їх зміни впродовж 1935–2019 років. На основі інтегрування різних просторово-часових масивів даних в єдину систему виконано ретроспективно-географічний моніторинг зміни площі льодовиків на островах Галіндез, Вінтер та Скуа впродовж 1935–2019 років. Встановлено, що льодовики на островах Галіндез, Вінтер та Скуа зазнають систематичного зменшення площі із середньою лінійною швидкістю від $-0.30\%/рік$ до $-0.37\%/рік$. Детальний аналіз всіх інтегрованих просторово-часових масивів даних, а також визначення причин зміни площі льодовиків на островах Галіндез, Вінтер та Скуа є перспективним напрямком для подальших досліджень.

Ключові слова: аерознімання, архівні картографічні матеріали, зміна площі льодовиків, острівні льодовики

1 Вступ

Глобальне потепління відповідно до Cook et al. (2005), Pritchard and Vaughan (2007), Pritchard et al. (2009), Kunz et al. (2012) впродовж останніх десятиліть призвело до значних змін форми та розмірів льодовиків Антарктичного півострова. Найбільші тенденції потепління притаманні західній та північній частинам Антарктичного півострова (Turner et al., 2014). Однак, відповідно до Shepherd

et al. (2012) такі зміни є нерівномірними по всьому регіону. З точки зору зменшення площі, найбільших втрат зазнали шельфові льодовики. За спостереженнями Silva et al. (2020) 60% льодовиків Антарктичного півострова перебувають у процесі зменшення, 25% — розширення та 7% — коливання. Танення більшості льодовиків підтверджує, що Антарктичний півострів втрачає більше льодовикової маси, ніж набирає, тому процес є не збалансованим (Cook et al., 2014).

У регіонах поза полярних широт межі льодовиків в основному визначають за допомогою напіваавтоматизованих методів багатоспектрально-го аналізу (Paul et al., 2002; Bolch et al., 2010). Проте в Антарктиді, через цілорічний сніг у більшості регіонів та багат шаровість льодовикового покриву, використання таких методів не дає якісного результату. Практичним рішенням є визначення меж льодовиків на основі басейнів, утворених топографічною поверхнею. Проте, за такого підходу межі льодовиків вважаються незмінними, тому визначити зміну їх форми та розмірів є досить складно. В даному підході чітко ідентифікувати можна тільки виходи льодовиків до моря. Значно простіше ідентифікувати межі острівних льодовиків, оскільки значна їх частина виходить до моря. Тому, у даній роботі пропонується дослідження зміни площі льодовиків, розташованих на островах Галіндез, Вінтер та Скуа (Аргентинські острови, Архіпелаг Вільгельма, Антарктичний півострів, Західна Антарктида). Ці острови знаходяться в складі групи т.з. Аргентинських островів (65°15' S 64°15' W), яка була відкрита Французькою антарктичною експедицією (1903–1905), очолюваною Жаном-Батистом Шарко, і названа ним на честь Аргентинської Республіки в знак вдячності за підтримку, яку надав уряд цієї держави його експедиції. Слід зазначити, що незначна віддаленість вибраних острівних льодовиків від Української антарктичної станції «Академік Вернадський» (до 1996 року — станція «Фарадей» Британської антарктичної служби) сприяє активним дослідженням та моніторингу їх кількісних та якісних параметрів різними методами. Для прикладу в Glotov et al. (2003), Dorozhynskyy et al. (2004), Hlotov (2008), Cisak et al. (2008), Tretiyak et al. (2016) для моніторингу поверхневих об'ємів виходів острівних льодовиків використано наземне цифрове знімання, а в Marusazh et al. (2019) отримані результати поєднано із результатами наземного лазерного сканування. Авторами встановлено, що впродовж всього періоду досліджень (2002–2019) виходи острівних льодовиків на островах Галіндез, Вінтер та Скуа зазнають систематичного зменшення їх поверхневого об'єму. Та-

кож для дослідження потужності льодового покриву острова Галіндез використано метод вертикального електрорезонансного зондування, який базується на вивченні процесів природної поляризації середовища та спектральних характеристик природного електричного поля над об'єктами, що досліджуються (Levashov et al., 2004). Проведені дослідження засвідчили високу ефективність методу та можливість його практичного застосування при дослідженнях льодових покривів. Із 2017 року проводяться активні дослідження потужності льодового покриву острівних льодовиків групи Аргентинські острови георадарним методом (Chernov, 2017; Chernov et al., 2018; Karušs et al., 2019). Авторами виявлено шаруватість та неоднорідність внутрішньої будови, а також встановлено потужність льодового покриву острівних льодовиків. Льодовики на островах Галіндез, Вінтер та Скуа є досить малими, тому чутливі до зміни температури та можуть служити індикаторами зміни клімату в регіоні. Оскільки представлені методи досліджень базуються на сучасних технологіях, а ряди їх даних є не тривалими, тому виникає необхідність інтегрування різних просторово-часових масивів даних в єдину систему для виконання ретроспективно-географічного моніторингу зміни площі льодовиків на островах Галіндез, Вінтер та Скуа впродовж тривалого періоду.

2 Матеріали та методи

Для дослідження ми обрали просторово-часові масиви даних, які охоплюють період з 1935 по 2019 роки. В якості першого такого масиву ми використали найстаріші архівні картографічні матеріали, які вдалося віднайти для цього регіону — топографічну карту, побудовану за результатами досліджень з лютого 1935-го по лютий 1936 року під час Британської експедиції Землі Греяма (British Graham Land Expedition) в 1934–1937 рр. (Laws, 1976) опубліковану в 1938 році (Fleming et al., 1938). Також в якості просторово-часового масиву даних залучили архівні картографічні матеріали, опубліковані у 1963 році (Sadler, 1968;

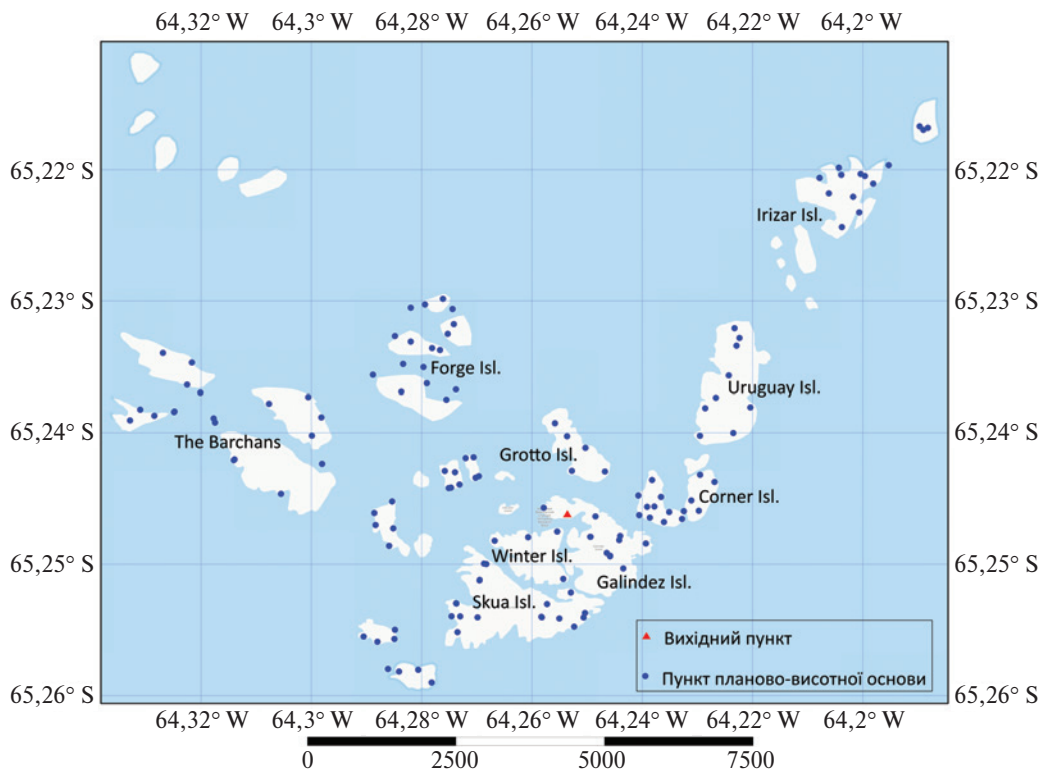


Рисунок 1. Розташування пунктів планово-висотної основи

Figure 1. Location of georeference points

Thomas, 1963), які базувалися на результатах ґрунтового аерознімання всієї території Землі Греяма (Graham Land) та аерознімках Аргентинських островів, отриманих в грудні 1956 року впродовж експедиції Falkland Islands and Dependencies Aerial Survey Expedition у 1955–1957 роках (Mott, 1958).

Крім архівних картографічних матеріалів також використано результати аерознімань, проведених у 2005 та 2009 роках представниками Британської антарктичної служби (British Antarctic Survey). Аерознімання виконувались аналоговою камерою Carl Zeiss RMK A 15/23 (фокусна віддаль 153 мм) із висоти 5500 м та 3800 м відповідно.

Останнім просторово-часовим масивом даних, який використано у нашому дослідженні, були результати аерознімання, отримані авторами у 2019 році в рамках 24-ї Української сезонної антарктичної експедиції. Аерознімання виконувалось з безпілотної літальної апарату літакового типу FLIRT Arrow камерою ILCE-QX1 (фо-

кусна віддаль 28 мм) із висоти 380 м. Слід зазначити, що в результаті аерознімання у 2005 році було отримано 28 знімків, у 2009 — 4 знімки, а у 2019 — 750 знімків. Всі отримані знімки в результаті аерознімань було перевірено візуальним методом, а також програмними продуктами на наявність браку (чіткість, роздільну здатність, яскравість, витримку, поздовжнє та поперечне перекриття тощо).

Дослідження ґрунтується на інтегуванні різних просторово-часових масивів даних в єдину систему для виконання ретроспективно-географічного моніторингу зміни площ льодовиків на островах Галіндез, Вінтер та Скуа. Єдиною системою для інтегування просторово-часових масивів даних вибрано систему координат UTM (zone 20, South). Для інтегування архівних картографічних матеріалів до вибраної системи координат, а також для опрацювання результатів аерознімань авторами у 2019 році в рамках 24-ї

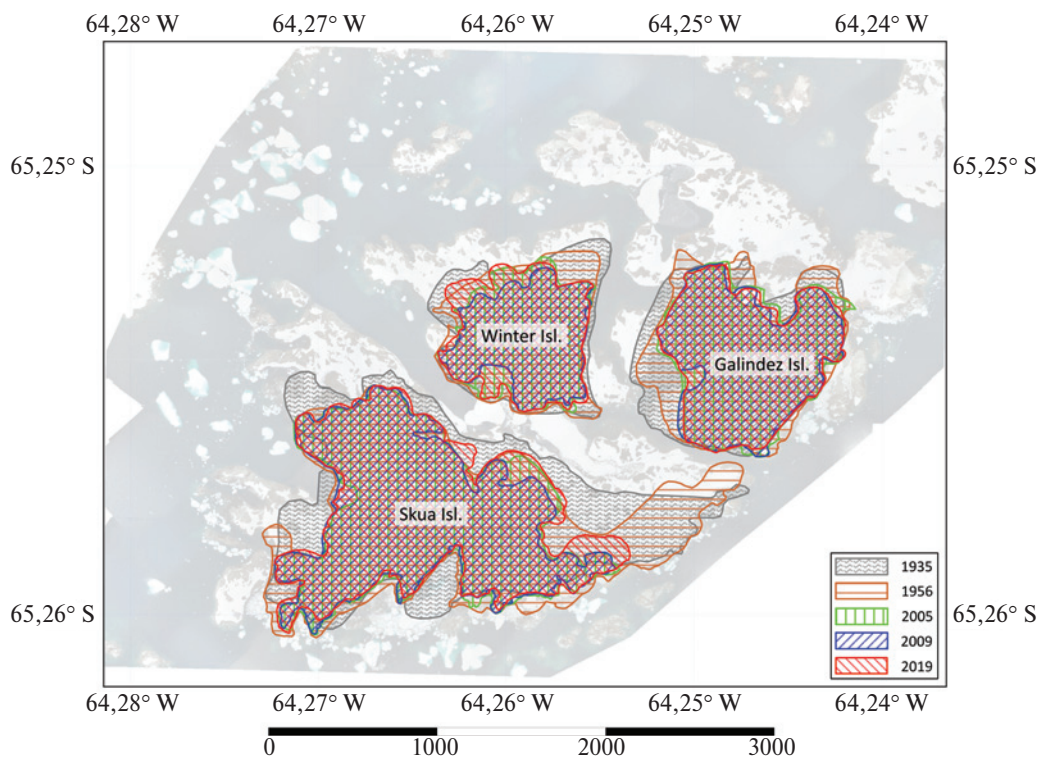


Рисунок 2. Межі льодовиків на островах Галіндез, Вінтер та Скуа ідентифіковані у різні періоди досліджень

Figure 2. The boundaries of ice caps on Galindez, Winter and Skua Islands were identified in different periods of research

Української сезонної антарктичної експедиції проведено комплекс робіт із визначення координат пунктів планово-висотної основи (рис. 1).

В якості пунктів планово-висотної основи використано чіткі контури місцевості (центри виходів скель над сніжником, центри перетину широких тріщин тощо), які було ідентифіковано на різних просторово-часових масивах даних. Координати пунктів планово-висотної основи визначались методом швидкої статки (Rapid Static). Основною перевагою методу є відносно короткий час вимірювань. Вимірювання виконували із використанням 2-х ГНСС-приймачів Leica GPS1200 (точність у режимі швидкої статки становить 10 мм + 1 мм (S) (де S — віддаль до вихідного пункту в км). В якості вихідного пункту використовували пункт sc02, який закладений в рамках SCAR GPS 2002 кампанії (Dietrich, 2001; Dietrich & Rülke, 2002). Слід зазначити, що даний пункт знахо-

дився у центрі регіону досліджень, а тривалість вимірювань становила 15–30 хв. Опрацювання вимірюваних ГНСС-векторів виконано в програмному пакеті Leica Geo Office Combined версія 7.2.

Точність визначення планових координат пунктів становила 5–10 см, а точність визначення висоти 10–20 см. В результаті отримано координати 138 пунктів планово-висотної основи. Така кількість пунктів планово-висотної основи була надлишковою, тому цей надлишок використано для незалежного контролю ортофотоплану. У результаті опрацювання знімків у програмному забезпеченні Pix4Dmapper отримано щільні хмари точок та ортофотоплани для різних періодів досліджень.

3 Результати та обговорення

Використовуючи трансформовані архівні картографічні матеріали, а також отримані ортофотоплани, оцифровано межі льодовиків на островах

Галіндез, Вінтер та Скуа у різні періоди досліджень (рис. 2). Ідентифікацію меж льодовиків виконано в ручному режимі на основі візуальної інтерпретації масивів даних.

Грунтуючись на ідентифікованих межах (див. рис. 2), визначено зміну площ острівних льодовиків, а також швидкість їх зміни впродовж 1935–2019 років (табл. 1).

Для оцінки точності отриманих значень площ використано класичну залежність:

$$m_p = m_t \sqrt{P}, \quad (1)$$

де m_t — помилка визначення координат поворотних точок фігури, яка описує льодовик, P — визначена площа льодовика.

Слід зазначити, що похибка визначення площі на основі архівних картографічних матеріалів ґрунтується на точності визначення координат з карти, тому безпосередньо залежить від масштабу карти. Для використаних архівних картографічних матеріалів із масштабами 1 : 13 716 та 1 : 10 000 значення точності визначення координат рівні 137 м та 100 м відповідно. Натомість, для даних аерознімання точність визначення координат безпосередньо залежить від роздільної здатності ортофотоплану, яка становила 1.5 м у 2005 році, 1.15 м у 2009 році та 0.16 м у 2019 році. В таблиці 2 представлено похибки визначення площ льодовиків впродовж досліджуваного періоду.

Таблиця 1. Значення зміни та швидкості зміни площі льодовиків впродовж 1935–2019 років

Table 1. Area change and rate of area change of ice caps during 1935–2019

Роки	Зміна площі		Швидкість зміни площі	
	км ²	%	км ² /рік	%/рік
<i>Льодовик на острові Галіндез</i>				
1935–1956	–0.039	–3.75	–0.002	–0.18
1956–2005	–0.171	–16.43	–0.004	–0.34
2005–2009	–0.062	–5.93	–0.015	–1.48
2009–2019	0.012	1.13	0.001	0.11
1935–2019	–0.260	–24.97	–0.003	–0.30
<i>Льодовик на острові Вінтер</i>				
1935–1956	–0.078	–10.08	–0.004	–0.48
1956–2005	–0.137	–17.67	–0.003	–0.37
2005–2009	–0.086	–11.14	–0.022	–2.79
2009–2019	0.108	13.97	0.011	1.40
1935–2019	–0.193	–24.93	–0.002	–0.30
<i>Льодовик на острові Скуа</i>				
1935–1956	–0.239	–11.06	–0.011	–0.53
1956–2005	–0.503	–23.27	–0.010	–0.48
2005–2009	–0.063	–2.90	–0.016	–0.73
2009–2019	0.132	6.11	0.013	0.61
1935–2019	–0.673	–31.12	–0.008	–0.37

Таблиця 2. Площі та похибки визначення площ льодовиків впродовж 1935–2019 років

Table 2. Areas and errors in determining the area of ice caps during 1935–2019

Роки	Площа км ²	Похибка визначення площі	
		км ²	%
<i>Льодовик на острові Галіндез</i>			
1935	1.0401	0.1399	13.45
1956	1.0012	0.1001	9.99
2005	0.8303	0.0014	0.16
2009	0.7686	0.0010	0.13
2019	0.7804	0.0001	0.02
<i>Льодовик на острові Вінтер</i>			
1935	0.7726	0.1206	15.60
1956	0.6947	0.0833	12.00
2005	0.5581	0.0011	0.20
2009	0.4721	0.0008	0.17
2019	0.5800	0.0001	0.02
<i>Льодовик на острові Скуа</i>			
1935	2.1633	0.2017	9.33
1956	1.9242	0.1387	7.21
2005	1.4208	0.0018	0.13
2009	1.3580	0.0013	0.10
2019	1.4901	0.0002	0.01

Аналізуючи представлені результати, потрібно зауважити, що похибка визначення площ льодовиків на основі архівних картографічних матеріалів є значно більшою ніж значення похибок за результатами аерознімання й іноді перевищує саму величину зміни площі (див. табл. 1 та 2). У зв'язку з цим можна констатувати, що ступінь довіри до таких значень, отриманих при порівнянні з даними 1935 та 1956 років, є невисоким. Тому отримані на основі таких даних значення зміни площ мають виключно оглядовий характер та не можуть бути використані при детальному аналізі. Натомість похибка визначення площ льодовиків на основі аерознімання є на порядок нижчою за значення зміни площі, тому результати, отримані на основі таких даних, об'єктивно характеризують зміни площ льодовиків.

Аналіз наведених результатів (див. табл. 1) підтверджує те, що льодовики на островах Галіндез, Вінтер та Скуа впродовж всього періоду досліджень зазнали значного зменшення їх площі. Середня лінійна швидкість зменшення площі льодовиків знаходиться в межах від $-0.30\%/рік$ до $-0.37\%/рік$. Систематичне зменшення площі льодовиків спостерігалось до 2009 року (о. Галіндез -26% , о. Вінтер -38% , о. Скуа -37%), проте пізніше чітко ідентифікується збільшення площі на всіх льодовиках архіпелагу (о. Галіндез на 1% , о. Вінтер -14% , о. Скуа -6%).

4 Висновки

На основі інтегрування різних просторового-часових масивів даних в єдину систему виконано ретроспективно-географічний моніторинг зміни площ льодовиків на островах Галіндез, Вінтер та Скуа впродовж 1935–2019 років. Встановлено, що льодовики на островах Галіндез, Вінтер та Скуа зазнають систематичного зменшення площі із середньою лінійною швидкістю зменшення від $-0.30\%/рік$ до $-0.37\%/рік$.

Детальний аналіз всіх інтегрованих просторово-часових масивів даних, а також визначення причини зміни площі льодовиків на цих островах є перспективним напрямком для подальших досліджень.

Внесок авторів. Ідея, розробка концепції: ІС. Збір та підготовка даних: ІС, ЄШ. Формальний аналіз: ІС, ЄШ. Дослідження: ІС. Візуалізація: ІС. Реферат: ІС. Написання, початковий план: ІС, ЄШ. Написання, рецензування та редагування: ІС, ЄШ. Всі автори прочитали і згодні з публікацією даної версії рукопису.

Конфлікт інтересів. Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

Подяка. Автори висловлюють подяку Державній установі Національний антарктичний науковий центр МОН України за надані первинні дані та матеріали, отримані на Українській антарктичній станції «Академік Вернадський» під час сезонної 24-ї Української антарктичної експедиції.

References

- Bolch, T., Menounos, B., & Wheate, R. (2010). Landsat-based inventory of glaciers in western Canada, 1985–2005. *Remote Sensing of Environment*, 114(1), 127–137. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.08.015>
- Chernov, A. (2017). Informativeness of ground penetrating radar method for investigations of the glaciers on Galindez, Winter and Skua Islands (The Argentine Islands, results for the period April to November 2017). *Ukrainian Antarctic Journal*, (16), 29–36. <https://doi.org/10.33275/1727-7485.16.2017.56>
- Chernov, A., Lamsters, K., Karuš, J., Krievāns, M., & Ot-ruba, Y. (2018). A brief review of ground penetrating radar investigation results of ice caps on Galindez, Winter and Skua Islands (Wilhelm Archipelago, Antarctica) for the period April 2017–January 2019. *Ukrainian Antarctic Journal*, 1(17), 40–47. [https://doi.org/10.33275/1727-7485.1\(17\).2018.30](https://doi.org/10.33275/1727-7485.1(17).2018.30)
- Cisak, J., Milinevsky, G., Danylevsky, V., Glotov, V., Chizhevsky, V., Kovalenok, S., Olijnyk, A., & Zanimonskiy, Y. (2008). Atmospheric impact on GNSS observations, Sea level change investigations and GPS-photogrammetry ice cap survey at Vernadsky station in Antarctic Peninsula. In A. Capra & R. Dietrich (Eds.), *Geodetic and geophysical observations in Antarctica* (pp. 191–209). Springer.
- Cook, A. J., Fox, A. J., Vaughan, D. G., & Ferrigno, J. G. (2005). Retreating Glacier Fronts on the Antarctic Peninsula over the Past Half-Century. *Science*, 308(5721), 541–544. <https://doi.org/10.1126/science.1104235>
- Cook, A. J., Vaughan, D. G., Luckman, A. J., & Murray, T. (2014). A new Antarctic Peninsula glacier basin inventory and observed area changes since the 1940s. *Antarctic Science*, 26(6), 614–624. <https://doi.org/10.1017/S0954102014000200>
- Dietrich, R. (2001). Present Status of the SCAR GPS Epoch Campaigns. In *SCAR Report No. 20* (pp.15–18). Cambridge.

- Dietrich, R., & Rülke, A. (2002). The SCAR GPS Campaigns in the ITRF2000. In *SCAR Report, 21*. Scientific Committee on Antarctic Research, Scott Polar Research Institute. Cambridge.
- Dorozhynskyy, O., Minilevskyy, G., & Hlotov, V. (2004). Photogrammetric research conducted at the Antarctic station "Academician Vernadsky". In O. Altan (Ed.), *ISPRS Archives: Vol. XXXV. Part B4, 2004. XXth ISPRS Congress Technical Commission IV July 12–23, 2004, Istanbul, Turkey* (pp. 642–644). Retrieved November 2, 2020, from <https://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm4/comm4.aspx>
- Fleming, W. L. S., Stephenson, A., Roberts, B. B., & Bertram, G. C. L. (1938). Notes on the scientific work of the British Graham Land expedition, 1934–37. *The Geographical Journal*, 91(6), 508–528. <https://doi.org/10.2307/1787413>
- Glotov, V. M., Kovalenok, S. B., Milinevsky, G. P., Nakalov, E. F., & Fulitka, Yu. V. (2003). Monitoring of small ice caps as indicators of the Antarctic Peninsula region climate change. *Ukrainian Antarctic Journal*, 1, 93–98. Retrieved November 2, 2020, from <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/128129>
- Hlotov, V. (2008). Report on photogrammetric research conducted at the Antarctic station "Academician Vernadsky". In A. Capra & R. Dietrich (Eds.), *Geodetic and geophysical observations in Antarctica: An overview in the IPY perspective* (pp. 333–345). Springer-Verlag.
- Karušs, J., Lamsters, K., Chernov, A., Krievāns, M., & Ješkina, J. (2019). Subglacial topography and thickness of ice caps on the Argentine Islands. *Antarctic Science*, 31(6), 332–344. <https://doi.org/10.1017/S0954102019000452>
- Kunz, M., King, M. A., Mills, J. P., Miller, P. E., Fox, A. J., Vaughan, D. G., & Marsh, S. H. (2012). Multi-decadal glacier surface lowering in the Antarctic Peninsula. *Geophysical Research Letters*, 39(19). <https://doi.org/10.1029/2012GL052823>
- Laws, R. M. (1976). British research in the Antarctic. *Journal of the Royal Society of Arts*, 124(5243), 630–645. Retrieved November 2, 2020, from <http://www.jstor.org/stable/41372389>
- Levashov, S. P., Yakymchuk, N. A., Usenko, V. P., Korshagin, I. N., Solovyov, V. D., & Pishchany, Y. M. (2004). Determination of the Galindez Island ice cap thickness by the vertical electric-resonance sounding method. *Ukrainian Antarctic Journal*, (2), 38–43. Retrieved November 2, 2020, from <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/128146>
- Marusazh, Kh. I., Hlotov, V. M., & Siejka, Z. (2019). Monitoring of glacier frontal parts on Galindez and Winter islands (the Argentine Islands) in 2018–2019. *Ukrainian Antarctic Journal*, 2(19). [https://doi.org/10.33275/1727-7485.2\(19\).2019.149](https://doi.org/10.33275/1727-7485.2(19).2019.149)
- Mott, P. G. (1958). Airborne surveying in the Antarctic. *The Geographical Journal*, 124(1), 1–16. <https://doi.org/10.2307/1790560>
- Paul, F., Kääb, A., Maisch, M., Kellenberger, T., & Haeberli, W. (2002). The new remote-sensing-derived Swiss glacier inventory: I. Methods. *Annals of Glaciology*, 34, 355–361. <https://doi.org/10.3189/172756402781817941>
- Pritchard, H. D., & Vaughan, D. G. (2007). Widespread acceleration of tidewater glaciers on the Antarctic Peninsula. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 112, Article F03S29. <https://doi.org/10.1029/2006JF000597>
- Pritchard, H. D., Arthern, R. J., Vaughan, D. G., & Edwards, L. A. (2009). Extensive dynamic thinning on the margins of the Greenland and Antarctic ice sheets. *Nature*, 461, 971–975. <https://doi.org/10.1038/nature08471>
- Sadler, I. (1968). Observations on the ice caps of Galindez and Skua Islands, Argentine Islands, 1960–1966. *British Antarctic Survey Bulletin*, 17, 21–49. Retrieved November 2, 2020, from <http://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/526505>
- Shepherd, A., Ivins, E. R., Geruo, A., Barletta, V. R., Bentley, M. J., Bettadpur, S., Briggs, K. H., Bromwich, D. H., Forsberg, R., Galin, N., Horwath, M., Jacobs, S., Joughin, I., King, M. A., Lenaerts, J. T. M., Li, J., Ligtenberg, S. R. M., Luckman, A., Luthcke, S. B., ... & Zwally, H. J. (2012). A reconciled estimate of ice-sheet mass balance. *Science*, 338(6111), 1183–1189. <https://doi.org/10.1126/science.1228102>
- Silva, A. B., Arigony-Neto, J., Braun, M. H., Almeida Espinoza, J. M., Costi, J., & Janá, R. (2020). Spatial and temporal analysis of changes in the glaciers of the Antarctic Peninsula. *Global and Planetary Change*, 184, Article 103079. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2019.103079>
- Thomas, R. H. (1963). Studies on the ice cap of Galindez Island, Argentine Islands. *British Antarctic Survey Bulletin*, 2, 27–43. Retrieved November 2, 2020, from <http://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/526903>
- Tretyak, K., Hlotov, V., Holubinka, Y. & Marusazh, K. (2016). Complex geodetic research in Ukrainian Antarctic station "Academician Vernadsky" (years 2002–2005, 2013–2014). *Reports on Geodesy and Geoinformatics*, 100(1), 149–163. <https://doi.org/10.1515/rgg-2016-0012>
- Turner, J., Barrand, N. E., Bracegirdle, T. J., Convey, P., Hodgson, D. A., Jarvis, M., Jenkins, A., Marshall, G., Meredith, M. P., Roscoe, H., Shanklin, J., French, J., Goosse, H., Guglielmin, M., Gutt, J., Jacobs, S., Kennicutt, M. C., Masson-Delmotte, V., Mayewski, P., ... & Klepikov, A. (2014). Antarctic climate change and the environment: An update. *Polar Record*, 50(3), 237–259. <https://doi.org/10.1017/S0032247413000296>

Надійшов: 19 листопада 2020
Прийнятий: 28 грудня 2020

I. Savchyn*, Ye. Shylo

Institute of Geodesy, Lviv Polytechnic National University, Lviv, 79013, Ukraine

* **Corresponding author:** ih.savchyn@gmail.com

**Monitoring of the ice caps area changes on Galindez, Winter and Skua Islands
(Argentine Islands, West Antarctica)**

Abstract. Due to global warming, the glaciers and ice systems of Antarctica and the Antarctic Peninsula have been significantly changing in shape and size in recent decades. Therefore, to control, forecast and prevent such processes, it is necessary to constantly monitor and analyse changes in the basic parameters of glaciers and ice systems. This paper proposes a study of changes in the area of ice caps located on the Galindez, Winter and Skua islands (Argentine Islands, West Antarctica). The study is based on the integration of different spatio-temporal datasets into a single system for retrospective geographical monitoring of changes in the area of Galindez, Winter and Skua islands ice caps. The system for integrating space-time datasets is the UTM coordinate system (zone 20, South). Using transformed archival cartographic materials, as well as recently obtained orthophotos, the boundaries of the glaciers in different periods of research were digitized. Based on the identified boundaries, the significance of changes in the area of island glaciers, as well as the rate of their change during 1935–2019, were determined. Based on the integration of different spatio-temporal datasets into a single system, retrospective-geographical monitoring of changes in ice caps area during 1935–2019 was performed. The ice caps were found to be experiencing systematic decrease in area with average linear rate of decrease from $-0.30\%/year$ to $-0.37\%/year$. A detailed analysis of all integrated spatio-temporal data sets including determination of the cause of changes in the area of the Galindez, Winter and Skua islands' ice caps is a promising topic for further research.

Keywords: aerial survey, archival cartographic materials, glacier changes, island glacier