

УДК 551

[https://doi.org/10.18524/2303-9914.2025.2\(47\).344775](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2025.2(47).344775)

С. В. Кадурін, канд. геол. наук, доцент

О. Є. Кузьменко, аспірантка

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова,
кафедра морської геології, гідрогеології, інженерної геології та палеонтології,
Шампанський пров., 2, м. Одеса, 65015, Україна

kadurins@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-0691-1828>

sashakuzmenko0987654321@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0000-3479-2892>

ПРОСТОРОВО-ЧАСОВІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ДИНАМІКИ РУХУ ЛЬОДОВОГО ПОКРИВУ ПІВОСТРОВА КИЇВ

У роботі визначені просторові та часові закономірності руху льодового покриву півострова Київ в період з 2015 по 2025 рік, виявлені в результаті аналізу поля швидкостей руху льодовика Труз, отриманого з використанням радіолокаційних зображень Sentinel-1. Встановлено роль кліматичних чинників у формуванні процесів переміщення льодовикового покриву, перевірено наявність циклічних компонентів в динаміці його руху та загальних трендів до прискорення (сповільнення) швидкості переміщень льодовика

Ключові слова: льодовик Труз, півострів Київ, рух льодовика, ДЗЗ, клімат.

ВСТУП

Дослідження динаміки льодовикового покриву є одним із важливих напрямків сучасної кліматології та гляціології, оскільки танення льодовиків істотно впливає на рівень Світового океану (Rignot E., 2021) та клімат Землі загалом. У контексті сучасного глобального потепління, що супроводжується зростанням середньорічних температур (Wang Sai & Li та ін., 2025), вивчення закономірностей поведінки льодовиків набуває особливої актуальності.

На даний момент район Антарктичного півострова є одним з регіонів Землі, які переживають найстрімкіше потепління (Vaughan та ін., 2003), тому саме ця територія є однією з найперспективніших для досліджень просторово-часових особливостей руху і танення льодовиків.

Упродовж останніх десятиліть район Антарктичного півострова став об'єктом численних наукових досліджень, в тому числі спрямованих на вивчення льодовикових процесів та їх зв'язку з кліматом. Більшість таких спостережень показали зменшення розміру льодовиків в регіоні (Akker, Tim & Lipscomb та ін., 2023), та встановили, що для Антарктичного півострова характерні одні з найвищих темпів руйнування льодовиків в Антарктиді (Tuckett та ін., 2019; Wallis та ін., 2023). Також, в Звіті про науково-дослідну роботу (НДР) «Виявлення трендів та тенденцій зміни у динаміці руху різних частин льодового покриву півострова Київ під впливом змін кліматичних чинників»

(2023) показано, в 2016–2022 роках швидкість руху різних ділянок льодовика Труз та його загальне прискорення знаходилося під впливом атмосферних і кліматичних параметрів.

Проведення таких досліджень в цьому важкодоступному регіоні стає можливим завдяки даним дистанційного спостереження, які дозволяють охопити одночасно великі території з прийнятною частотою спостережень та роздільною здатністю. В даній роботі використані дані супутника Copernicus Sentinel-1, який забезпечує регулярні спостереження з точною просторово-висотною прив'язкою.

Мета роботи: визначення просторових і часових закономірностей руху льодового покриву півострова Київ в період з 2015 по 2025 рік та встановлення ролі кліматичних чинників у формуванні цих процесів.

Для досягнення поставленої мети було вирішено наступні задачі:

1. Виявлення основних просторових закономірностей переміщень контрольних точок на поверхні льодовика Труз та виділення в його межах окремих ділянок (кластерів точок), що характеризуються спільними тенденціями руху.
2. Верифікація супутникових даних проекту NASA POWER про кліматичні параметри шляхом порівняння із наземними спостереженнями на українській антарктичній станції «Академік Вернадський».
3. Перевірка статистично значущих зв'язків між швидкістю руху окремих ділянок льодовика і кліматичними параметрами.
4. Встановлення основних часових закономірностей зміни швидкості руху окремих частин льодовика Труз, зокрема виявлення наявності циклічних компонентів та визначення загальних трендів динаміки швидкості руху льодовика.

Об'єктом дослідження є льодовий покрив півострова Київ, зокрема льодовик Труз, предметом дослідження – закономірності і тенденції його руху.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для дослідження просторово-часових особливостей руху льодового покриву півострова Київ було використано радіолокаційні зображення Sentinel-1 (роздільна здатність 10 м на піксель), отримані з загальнодоступного порталу Copernicus. Зображення були оброблені за допомогою платформи Sentinel Application Platform (SNAP), потім проводилося їх зіставлення і спільна реєстрація з використанням процедури DEM-Assistant, після чого визначалися швидкості руху льодовика за переміщеннями за різні дати із застосуванням програмної процедури Offset Tracking Operation. В результаті, для 713 контрольних точок, розміщених рівномірно по поверхні льодовика на відстані 570–600 м одна від одної, було отримано середні швидкості руху (м/добу) для 280 інтервалів часу довжиною по 12 днів в період з листопада 2015 року по лютий 2025 року.

З метою виявлення зв'язків між швидкістю руху окремих ділянок льодовика і кліматичними параметрами, було використано дані про метеорологічні умови і інтенсивність сонячного випромінювання для території льодовика, отримані з супутникових систем спостереження проекту NASA POWER. Також, для верифікації цих даних було здійснено зіставлення дистанційних даних NASA POWER, отриманих для острова Галіндез, з наземними спостереженнями на українській антарктичній станції «Академік Вернадський».

Для обробки та аналізу отриманих даних було використано комплекс математико-статистичних методів, реалізованих в програмних пакетах Microsoft Office Excel та STATISTICA. Просторові особливості руху льодовика визначалися шляхом кластерного аналізу контрольних точок з використанням методу Варда (Ward, 1963), що дозволило виокремити ділянки з подібними характеристиками руху. Для виявлення взаємозв'язків між швидкістю переміщень льодовикового покриву та кліматичними параметрами був проведений кореляційний аналіз з врахуванням часових лагів. Для дослідження періодичних компонентів часових рядів швидкостей руху льодовика застосовано спектральний аналіз на основі швидкого перетворення Фур'є (FFT), що дозволило оцінити циклічність даних процесів.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Півострів Київ розташований на північному заході Землі Грея, яка є частиною Антарктичного півострова. Півострів Київ майже повністю вкритий льодовим покривом, найбільшим льодовиком півострова є льодовик Труз (рис.1). Близько 10 км на захід від півострова Київ на острові Галіндез групи Аргентинських островів розташована Українська антарктична станція «Академік Вернадський».

На початковому етапі дослідження, з метою просторової сегментації льодовика Труз, всю сукупність контрольних точок на його поверхні було поділено на окремі кластери, кожен з яких характеризується спільними тенденціями руху. Для цього було використано метод Варда з мінімізацією дисперсії між змінними (Ward, 1963).

У результаті аналізу виокремлено три основні кластери, причому другий і третій додатково розділено на підкластери. Підкластери мають різні швидкості в межах загального тренду, характерного для цілого кластеру. Загалом таким чином отримано 53 сегменти, що відображають внутрішню просторову неоднорідність динаміки переміщень льодовика (рис. 2).

Встановлено, що за період спостережень швидкості всіх контрольних точок коливалися від 0,03 до 4,4 м/добу. Найбільші швидкості руху характерні для передгірлової частини льодовика, найменші значення зафіксовані на ділянках плато.

Для контрольних точок кластеру 1, розташованого в передгірловій частині льодовика, характерні найбільші швидкості руху, середньорічні значення яких

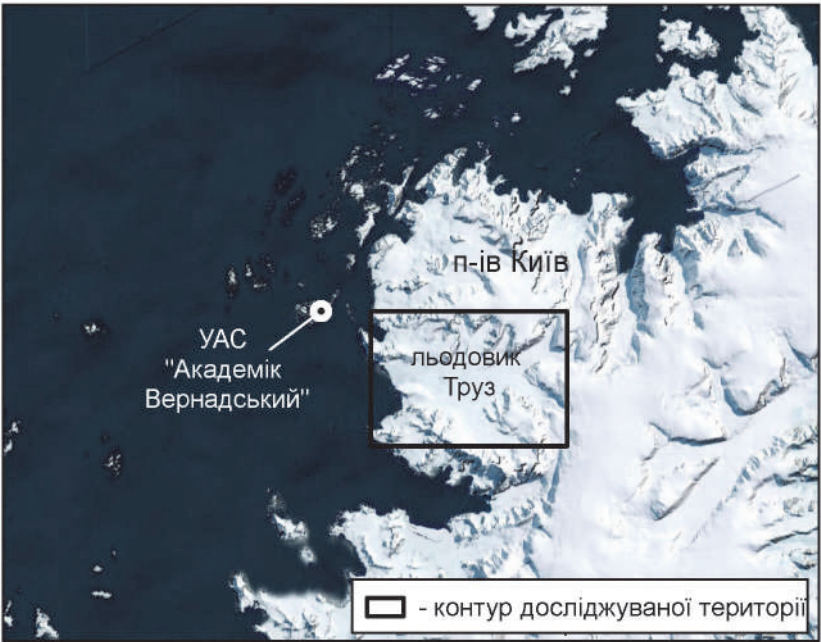


Рис. 1. Район дослідження.

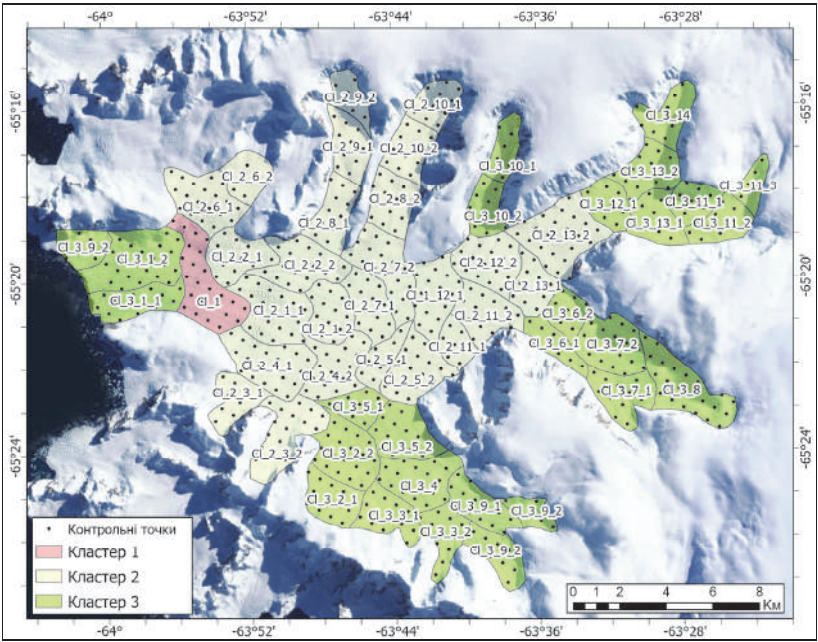


Рис. 2. Просторова сегментація льодовика Труз.

за досліджуваний проміжок часу становлять 1,90–2,01 м/добу з короткостроковими прискореннями до 3,5–4,4 м/добу. Для кластеру 2, що охоплює центральну частину долини льодовика, а також два північних притоки з вузькими долинами, середньорічна швидкість руху становила 0,62–0,68 м/добу. Для кластеру 3, що займає гирлову частину основної долини, південний приток, а також найбільш віддалені від узбережжя океану та найбільш високі притоки льодовика, середньорічна швидкість переміщень становила 0,46–0,51 м/добу, при чому для гирлової частини льодовика характерна більша швидкість руху (в середньому 1,1 м/добу) в порівнянні з іншими підкластерами кластеру 3.

На наступному етапі дослідження, з метою верифікації кліматичних даних супутникових систем спостереження проєкту NASA POWER, було виконано зіставлення дистанційних даних, отриманих для острова Галіндез, з наземними спостереженнями на Українській антарктичній станції «Академік Вернадський». Встановлено, що для таких параметрів, як температура та тиск, досягається значна точність вимірювань та висока кореляція ($r = 0,89\text{--}0,97$) між супутниковими і наземними даними. Нижчий рівень відповідності даних встановлюється для показників вологості і швидкості вітру ($r = 0,38\text{--}0,59$). В рамках даного дослідження така точність є достатньою, враховуючи відсутність наземних метеорологічних спостережень на півострові Київ.

Для подальшого аналізу для території, де розташований льодовик Труз, було отримано наступні показники: температура повітря, температура замерзання, температура «мокрого термометру» на висоті 2 м над поверхнею землі, температура безпосередньо поверхні землі, загальне короткохвильове випромінювання, яке потрапляє до поверхні землі (на 1 м²), середня швидкість вітру на висоті 10 м над землею, кількість атмосферних опадів (сумарна для кожного періоду в 12 діб), атмосферний тиск на поверхні землі.

Наступним кроком у дослідженні стала перевірка статистично значущих зв'язків між швидкістю руху льодовика і кліматичними параметрами. Враховуючи довжину рядів спостережень ($N = 280$), статистично значущими при 95% довірчому інтервалі для функції крос-кореляції вважаються коефіцієнти кореляції $|r| > 0,12$ (ймовірність того, що такий зв'язок виник випадково, менша ніж 5%).

Оскільки швидкість руху льодовика, як очікується, реагує на зміни погодних умов не миттєво, перевірялися також кореляційні зв'язки із часовим лагом 1–8 інтервалів спостережень. В результаті встановлено:

- для більшості контрольних точок кластеру 1 та підкластерів 2_2_2, 2_3_2, 2_4_2, 2_5_1, 2_10, 2_11, 3_13_2 виявлено позитивні кореляційні зв'язки з температурними параметрами (температура повітря у 2 м над поверхнею землі, «мокрого термометру» на висоті 2 м над поверхнею землі, температура безпосередньо поверхні землі) з часовим лагом 2–4, що означає, що підвищення температур призводить до пришвидшення руху льодовика тільки через 24–48 днів. Також для контрольних точок

підкластерів 2_3, 2_5, 2_6, 2_7, 2_10, 2_11_1 встановлені позитивні кореляційні зв'язки із загальним короткохвильовим випромінюванням з лагом 2-3 (24–36 днів);

- для більшості контрольних точок кластеру 1 та підкластеру 2_13 встановлені негативні кореляційні зв'язки з кількістю опадів з лагом 0, а для підкластеру 2_10_1 з лагом 4, що означає, що зменшення кількості опадів викликає прискорення окремих сегментів льодовика, крім того, для контрольних точок кластеру 1 та підкластерів 2_2_2, 2_7_2, 2_8_2, 2_9 виявлені негативні кореляційні зв'язки із швидкістю вітру, тобто зменшення швидкості вітру відповідає прискоренню окремих сегментів льодовика Труз;
- отримані значення коефіцієнтів кореляції досить низькі, хоча і статистично значущі, і скоріше свідчать про загальну можливість впливу кліматичних параметрів на швидкості руху різних частин льодовика, водночас з іншими факторами, такими як ширина і форма долини, ухил поверхні або віддаленість від океану.

Отже, збільшення інтенсивності сонячного випромінювання та підвищення температур через деякий час (24–48 днів) призводить до прискорення руху льодовика, імовірно спричиненого процесами танення. Водночас встановлено, що збільшення швидкості вітру та кількості опадів відповідає сповільненню переміщень окремих сегментів льодовика в перші 12 днів або з часовим лагом 48 днів. Механізм впливу кліматичних параметрів на динаміку руху льодовиків розглядаються в багатьох дослідженнях (Huang та ін. 2023, Devis та ін. 2012). Зокрема показано, що зменшення швидкості вітру викликає підвищення приповерхневої температури (Van den Broeke & Van Lipzig, 2004), що в свою чергу імовірно може впливати на швидкість руху льодовика.

Оскільки був виявлений зв'язок між кліматичними чинниками та швидкостями руху льодовика, на завершальному етапі дослідження було перевірено наявність циклічних компонентів у динаміці переміщень льодовика, у першу чергу – річної циклічності з періодом 30–31 інтервал, що відповідає 360–372 дням, і характерна для кліматичних чинників. Для цього застосовано метод спектрального аналізу (методу Фур'є), який передбачає розрахунок спектральної щільності для коливань різної тривалості, що дозволяє оцінити з яким періодом у часовому ряді даних проявляються найбільш виражені коливання.

Проведений аналіз показав, що для більшості контрольних точок кластеру 1 та для його усереднених по всім точкам швидкостей характерна виражена циклічність з періодом 31 інтервал, хоча на періодограмах (рис. 3А) виявлена велика кількість так званого «шуму», що вказує на наявність факторів, які порушують циклічність даного ряду. Аналіз циклічності температур, зафіксованих на висоті 2 м від поверхні землі на території льодовика, показав, що для них характерна сильно виражена циклічність з аналогічним періодом (рис.3, Б), що узгоджується із попередніми висновками про наявність зв'язку між температурою і швидкістю руху льодовика. Менш виражена циклічність характер-

на для окремих контрольних точок та усереднених значень по точкам кластерів 2_4, 2_6, 2_7, а для інших частин льодовика не виявлено значимої циклічності в зміні швидкості руху впродовж досліджуваного періоду (2015–2025 р.). Для дослідження періодичної складової змін швидкості руху кластеру 1 льодовика, для якого характерна найбільш виражена циклічність, було застосовано метод сезонної декомпозиції (Census Method I).

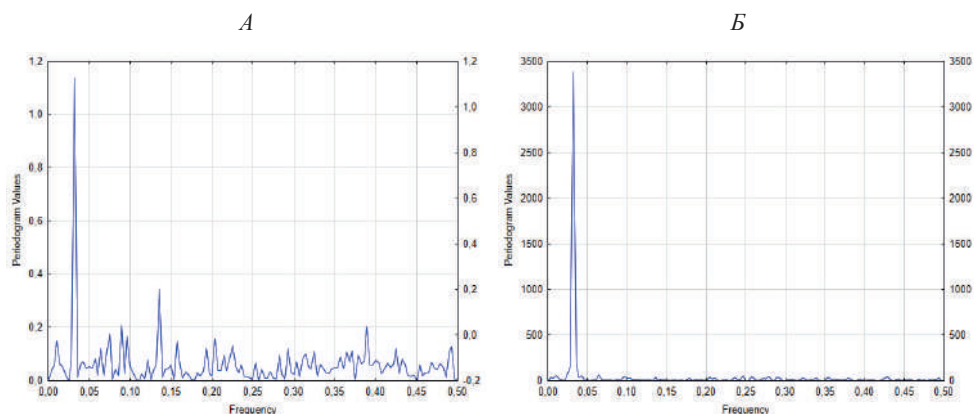


Рис. 3. Періодограми, отримані для часових рядів швидкості руху льодовика – кластеру 1 (А) та температури (Б).

Цей підхід дозволив розкласти часовий ряд на трендову, періодичну (сезонну) та випадкову компоненти, що дало змогу оцінити виявлену циклічність із періодом 31. Результати аналізу показали, що у сезонній компоненті (рис. 4) простежується чітке прискорення швидкості руху льодовика влітку (грудень–лютий), що відповідає підвищенням температурам в цей період, які призводить до танення льоду.

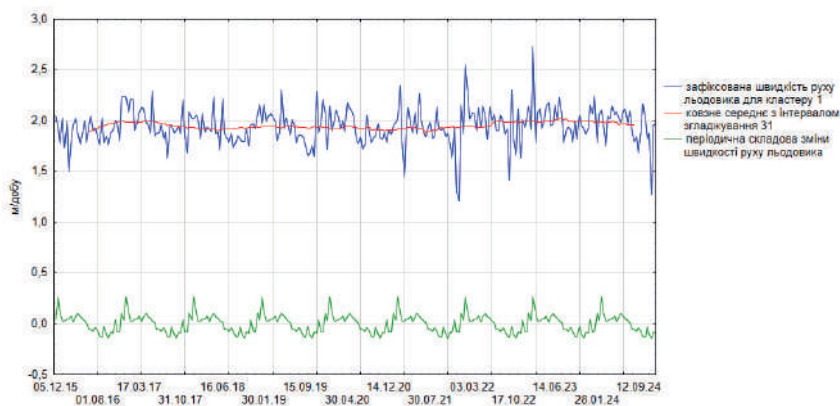


Рис. 4. Періодична складова змін швидкості руху льодовика Труз (кластер 1), отримана методом сезонної декомпозиції.

Оскільки, як було згадано раніше, для кластера 1 виявлено статистично значущу кореляцію між швидкістю руху льодовика та температурними показниками, для температурних рядів також була обчислена сезонна складова. Порівняння результатів сезонної декомпозиції для швидкості руху та температури засвідчило подібність цих компонент, при цьому для швидкості льодовика простежується певне відставання у часі від сезонних змін температури.

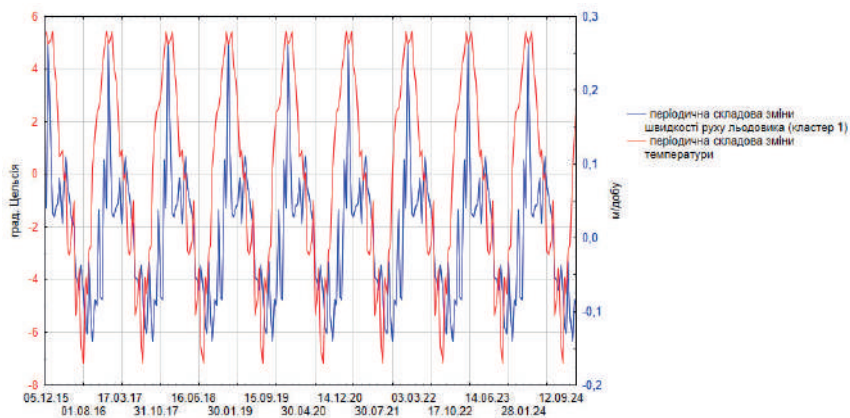


Рис. 5. Періодичні складові зміни швидкості руху льодовика Труз (кластер 1) та температури повітря на висоті 2 м від поверхні землі.

Аналіз ковзного середнього та виявленої трендової складової для переміщень льодовика не показав чіткої тенденції до прискорення його швидкості, хоча деякі інші дослідження вказують на протилежне (Davison, Benjamin J & Hogg та ін., 2024). Водночас відсутність вираженого тренду у даному випадку не свідчить про відсутність самого процесу, а може бути зумовлена обмеженою тривалістю досліджуваного періоду, яка є недостатньою для однозначних висновків щодо подібних довгострокових змін.

ВИСНОВКИ

Проведене дослідження дозволило виявити просторово-часові закономірності руху льодового покриву півострова Київ у 2015–2025 роках. За період спостережень швидкість контрольних точок на поверхні льодовика Труз коливалася в широкому діапазоні від 0,03 до 4,4 м/добу. Отримані результати свідчать про складний характер динаміки руху льодового покриву.

Встановлено, що для льодовика Труз характерна внутрішня просторова неоднорідність динаміки переміщень. Вся сукупність контрольних точок на його поверхні поділяється на 53 сегменти, які можна об’єднати в 3 кластери, кожен з яких характеризується спільними тенденціями руху.

Перевірка зв’язків між швидкістю руху окремих ділянок льодовика і кліматичними параметрами показала наявність позитивної кореляції між швидкістю

руху окремих сегментів льодовика та температурними показниками і кількістю загального короткохвильового випромінювання з часовим лагом 24–48 днів, та негативних кореляційних зв'язків з кількістю опадів і швидкістю вітру без часового лагу та з часовим лагом 48 днів. Отримані значення коефіцієнтів кореляції досить низькі, хоча і статистично значущі, і скоріше свідчать про загальну можливість впливу кліматичних параметрів на швидкості руху різних частин льодовика.

Серед проаналізованих кліматичних чинників найбільш виразний вплив на динаміку руху льодовика справляють температурні показники, зростання яких сприяє прискоренню його переміщень. Збільшення кількості загального короткохвильового випромінювання також зумовлює прискорення льодовика, натомість підвищення кількості опадів та швидкості вітру відповідає уповільненню окремих сегментів льодовикового покриву.

Для окремих сегментів льодовика, серед яких його передгірлова частина та окремі ділянки основної долини, характерна виражена річна циклічність, в якій простежується чітке прискорення швидкості руху льодовика влітку (грудень–лютий), що відповідає підвищеним температурам в цей період, які призводять до танення льоду. Водночас, не виявлено чітку тенденцію до прискорення швидкості льодовика.

Подальші дослідження доцільно зосередити на збільшенні тривалості часових рядів спостережень, що дозволить оцінити довгострокові тренди, характерні для руху льодовика Труз.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Кадурін С. В. Виявлення трендів та тенденцій зміни у динаміці руху різних частин льодового покриву півострова Київ під впливом змін кліматичних чинників: звіт про НДР. Національний антарктичний науковий центр МОН України, 2023. 49 с.
- Present-day mass loss rates are a precursor for West Antarctic Ice Sheet collapse / T. van der Akker, W. H. Lipscomb, G. R. Leguy, J. Bernalles, C. J. Berends, W. J. van der Berg, R. S. W. van de Wal. *The Cryosphere*. 2023. Vol. 19, iss. 1. P. 283–301. <https://doi.org/10.5194/tc-19-283-2025>
- Rapid accelerations of Antarctic Peninsula outlet glaciers driven by surface melt / P. A. Tuckett, J. C. Ely, A. J. Sole, S. J. Livingstone, B. J. Davison, J. M. van Wessem, J. Howard. *Nature Communications*. 2019. Vol. 10. Article 4311. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12039-2>
- Recent rapid regional climate warming on the Antarctic Peninsula / D. G. Vaughan, G. J. Marshall, W. M. Connolley, C. Parkinson, R. Mulvaney, D. A. Hodgson, J. C. King, C. J. Pudsey, J. Turner. *Climatic Change*. 2003. Vol. 60. P. 243–274. <https://doi.org/10.1023/A:1026021217991>
- Recent warming trends in Antarctica revealed by multiple reanalysis / S. Wang, G.-C. Li, Z.-H. Zhang, W.-Q. Zhang, X. Wang, D. Chen, W. Chen, M.-H. Ding. *Advances in Climate Change Research*. 2025. Vol. 16, iss. 3. P. 447–459. <https://doi.org/10.1016/j.accre.2025.03.003>
- Rignot E. Sea level rise from melting glaciers and ice sheets caused by climate warming above pre-industrial levels. *Physics-Uspekhi*. 2022. Vol. 65. P. 1129–1138. <https://doi.org/10.3367/UFNe.2021.11.039106>
- van den Broeke M. R., van Lipzig N. P. M. Changes in Antarctic temperature, wind and precipitation in response to the Antarctic Oscillation. *Annals of Glaciology*. 2004. Vol. 39. P. 119–126. <https://doi.org/10.3189/172756404781814654>
- Variability of glacier velocity and the influencing factors in the Muztag-Kongur Mountains, Eastern Pamir Plateau / D. Huang, Z. Zhang, L. Jiang, R. Zhang, Y. Lu, A. Shahtahmassebi, X. Huang. *Remote Sensing*. 2023. Vol. 15, iss. 3. Article 620. <https://doi.org/10.3390/rs15030620>

Variable glacier response to atmospheric warming, northern Antarctic Peninsula, 1988–2009 / B. J. Davies, J. L. Carrivick, N. F. Glasser, M. J. Hambrey, J. L. Smellie. *The Cryosphere*. 2012. Vol. 6, iss. 5. P. 1031–1048. <https://doi.org/10.5194/tc-6-1031-2012>

Ward Jr. J. H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association*. 1963. Vol. 58. P. 236–244.

Widespread increase in discharge from west Antarctic Peninsula glaciers since 2018 / B. J. Davison, A. E. Hogg, C. Moffat, M. Meredith, B. J. Wallis. *The Cryosphere*. 2024. Vol. 18, iss. 7. P. 3237–3251. <https://doi.org/10.5194/tc-18-3237-2024>

Widespread seasonal speed-up of west Antarctic Peninsula glaciers from 2014 to 2021 / B. J. Wallis, A. E. Hogg, J. M. van Wessem, B. J. Davison, M. R. van den Broeke. *Nature Geoscience*. 2023. Vol. 16. P. 231–237. <https://doi.org/10.1038/s41561-023-01131-4>

REFERENCES

Kadurin, S. V. (2023) *Viyavlennia trendiv ta tendentsii zminy u dynamitsi rukhu riznykh chastyn lodovoho pokrovu pivostrova Kyiv pid vplyvom zmin klimatychnykh chynnykiv: zvit pro NDR* [Identification of trends and tendencies of change in the dynamics of movement of different parts of the ice cover of the Kyiv Peninsula under the influence of changing climatic factors: report on research] (49 p.). National Antarctic Scientific Center of the Ministry of Education and Science of Ukraine. [in Ukrainian].

van der Akker, T., Lipscomb, W. H., Leguy, G. R., Bernalles, J., Berends, C. J., van der Berg, W. J., & van de Wal, R. S. W. (2023). Present-day mass loss rates are a precursor for West Antarctic Ice Sheet collapse / *The Cryosphere*, 19(1), 283–301. <https://doi.org/10.5194/tc-19-283-2025>

Tuckett, P. A., Ely, J. C., Sole, A. J., Livingstone, S. J., Davison, B. J., van Wessem, J. M., & Howard, J. (2019). Rapid accelerations of Antarctic Peninsula outlet glaciers driven by surface melt. *Nature Communications*, 10, 4311. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12039-2>

Vaughan, D. G., Marshall, G. J., Connolley, W. M., Parkinson, C., Mulvaney, R., Hodgson, D. A., King, J. C., Pudsey, C. J., & Turner, J. (2003). Recent rapid regional climate warming on the Antarctic Peninsula. *Climatic Change*, 60, 243–274. <https://doi.org/10.1023/A:1026021217991>

Wang, S., Li, G.-C., Zhang, Z.-H., Zhang, W.-Q., Wang, X., Chen, D., Chen, W., & Ding, M.-H. (2025). Recent warming trends in Antarctica revealed by multiple reanalysis. *Advances in Climate Change Research*, 16(3), 447–459. <https://doi.org/10.1016/j.accre.2025.03.003>

Rignot, E. (2022). Sea level rise from melting glaciers and ice sheets caused by climate warming above pre-industrial levels. *Physics-Uspekhi*, 65, 1129–1138. <https://doi.org/10.3367/UFNe.2021.11.039106>

van den Broeke, M. R., van Lipzig, N. P. M. (2004). Changes in Antarctic temperature, wind and precipitation in response to the Antarctic Oscillation. *Annals of Glaciology*, 39, 119–126. <https://doi.org/10.3189/172756404781814654>

Huang, D., Zhang, Z., Jiang, L., Zhang, R., Lu, Y., Shahtahmassebi, A., & Huang, X. (2023). Variability of glacier velocity and the influencing factors in the Muztag-Kongur Mountains, Eastern Pamir Plateau. *Remote Sensing*, 15(3), 620. <https://doi.org/10.3390/rs15030620>

Davies, B. J., Carrivick, J. L., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., & Smellie, J. L. (2012). Variable glacier response to atmospheric warming, northern Antarctic Peninsula, 1988–2009. *The Cryosphere*, 6(5), 1031–1048. <https://doi.org/10.5194/tc-6-1031-2012>

Ward Jr., J. H. (1963). Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association*, 58, 236–244.

Davison, B. J., Hogg, A. E., Moffat, C., Meredith, M., & Wallis, B. J. (2024). Widespread increase in discharge from west Antarctic Peninsula glaciers since 2018. *The Cryosphere*, 18(7), 3237–3251. <https://doi.org/10.5194/tc-18-3237-2024>

Wallis, B. J., Hogg, A. E., van Wessem, J. M., Davison, B. J., & van den Broeke, M. R. (2023). Widespread seasonal speed-up of west Antarctic Peninsula glaciers from 2014 to 2021. *Nature Geoscience*, 16, 231–237. <https://doi.org/10.1038/s41561-023-01131-4>

Стаття надійшла 17.10.2025 р.

S. V. Kadurin

O. Ye. Kuzmenko

Odesa I. I. Mechnikov National University,
Department of Marine Geology, Hydrogeology, Engineering Geology
and Paleontology
2 Shampanskyi Ln, Odesa, 65058, Ukraine
kadurins@gmail.com

SPATIO-TEMPORAL PATTERNS OF ICE COVER MOVEMENT DYNAMICS OF KYIV PENINSULA

Abstract

Problem Statement and Purpose. The study of glacier cover dynamics is one of the key areas of modern climatology and glaciology, and in the context of ongoing global warming, the investigation of glacier behavior patterns is of particular relevance. The aim of this work is to identify the spatial and temporal regularities of ice cover movement on the Kyiv Peninsula during the period 2015–2025 and to determine the role of climatic factors in shaping these processes.

Data & Methods. The research was carried out using Sentinel-1 radar imagery (to obtain the velocity field of the Trooz Glacier) and climatic parameters derived from satellite observation systems of the NASA POWER project. A set of mathematical and statistical methods was applied for data processing and analysis, including cluster analysis, correlation analysis, and spectral analysis.

Results. The research revealed the spatiotemporal patterns of ice cover dynamics on the Kyiv Peninsula in 2015–2025. During the observation period, the velocity of control points on the surface of the Trooz Glacier varied within a wide range from 0.03 to 4.4 m/day. The obtained results indicate a complex character of ice cover dynamics. It was established that the Trooz Glacier is characterized by internal spatial heterogeneity of displacement dynamics, with its entire area being divided into 53 segments based on the similarity of movements. The analysis also demonstrated the general possibility of climatic parameters influencing glacier velocities, with temperature being identified as the most significant driver of glacier dynamics. Furthermore, for certain glacier segments, including its terminus area and parts of the main valley, a pronounced annual cyclicality was observed, with a clear acceleration of glacier movement in summer (December–February), corresponding to elevated temperatures that trigger ice melt. At the same time, no consistent trend of long-term acceleration of glacier velocity was identified.

Keywords: Trooz Glacier, Kyiv Peninsula, glacier dynamics, remote sensing, climate.