

УДК 551.326.7:551.54:551.55(261.4+268)

ЗАЛЕЖНІСТЬ МАКСИМАЛЬНОГО РОЗПОВСЮДЖЕННЯ КРИГИ В ПРОТОЦІ ДЕЙВІСА І МОРІ ЛАБРАДОР З АТМОСФЕРНИМ ТИСКОМ І ШВИДКІСТЮ ПРИЗЕМНОГО ВІТРУ В ПІВНІЧНІЙ ЧАСТИНІ АТЛАНТИЧНОГО ОКЕАНУ ТА ПІВНІЧНОМУ ЛЬОДОВИТОМУ ОКЕАНІ

Е. Є. Малюга¹, Р. В. Гаврилюк²

¹ Національний університет «Одеська морська академія»,
вул. Дідріхсона, 8, 65000, Одеса, Україна,
eduard241965@gmail.com, <http://orcid.org/0009-0005-0039-9837>
² Одеський національний університет імені І. І. Мечникова,
вул. Всеволода Змієнка, 2, 65082, Одеса, Україна,
RAISAGAVR@gmail.com, <http://orcid.org/0009-0002-9129-3293>

У арктичному регіоні впродовж останніх десятиріч відбуваються безпрецедентні кліматичні зміни і температура повітря зростає сильніше, ніж в інших частинах Земної кулі. Це отримало назву «арктичне посилення». Разом із рештою наслідків, воно призвело до стрімкого зменшення крижаного покриву, в тому числі і в Північно-Західному проході, який в сучасних умовах може відігравати все більш важливу роль в судноплаванні. З огляду на глобальні тенденції розвитку морської логістики, що проявляються в скороченні вантажоперевезень Панамським каналом (внаслідок його суттєвого обміління через посуху) і Червоним морем (у зв'язку з ризиками, з огляду на військові дії) прохід розглядається як перспективний новий маршрут, який значно знижує транспортні відстані між портами Північної Америки, Європи та Східної Азії. Тому питання, що стосуються динаміки льодового режиму в Дейвісовій протоці та морі Лабрадор, де починається шлях у Тихий океан, мають велику вагу.

На танення криги впливають передусім метеорологічні умови. Серед них – такі взаємопов'язані величини, як швидкість приземного вітру та атмосферний тиск на рівні моря. Горизонтальні градієнти тиску визначають параметри повітряних потоків, які можуть зумовити притік тепла чи посилення дрейфу льоду, що сприяє його розриву й утворенню відкритої води. Відкрита вода, у свою чергу, поглинає більше сонячного випромінювання, підсилюючи локальне нагрівання й подальше танення. Саме для визначення вираженої залежності між максимальним розповсюдженням криги в протоці Дейвіса та морі Лабрадор і цими двома факторами була проведена дана робота, методологічну основу якої складає статистичний аналіз.

Відповідно до поставленої мети, були знайдені кореляційні зв'язки між приведеними до квазістаціонарного вигляду цифровим рядом аномалій поширення льоду на 15 квітня за період з 1979 по 2023 рік (отриманий в ході попередніх напрацювань авторів) і середньомісячними рядами атмосферного тиску на рівні моря та швидкості вітру на висоті 10 м. Розрахунки проводилися поступово, від 10-градусних квадратів до 0,5-градусних і в окремих точках в Північній Атлантиці, деяких частинах материків навколо неї, Гренландії, Канадській Арктиці та в невеликому районі екваторіальної зони Тихого океану. За результатами обчислень описано особливості просторово-часового розподілу коефіцієнтів кореляції, виявлені райони / точки з їх екстремальними значеннями.

Здобуті дані створюють передумови для можливості подальшого передбачення розповсюдження криги в Дейвісовій протоці та морі Лабрадор з метою пролонгації там навігаційного періоду та підвищення безпеки судноплавства в сучасних реаліях.

Ключові слова: льодовий покрив; протока Дейвіса; море Лабрадор; Північно-Західний прохід; розповсюдження криги; атмосферний тиск на рівні моря; швидкість вітру

1. ВСТУП

У спеціальній доповіді Конференції ООН по торгівлі та розвитку (UNCTAD) 2024 р. зазначалося, що ризики судноплавних маршрутів

в Червоному, Чорному морях і Суецькому каналі та аномальне падіння рівня води в Панамському каналі призвело до скорочення майже вдвічі пропускної спроможності цих основних

міжнародних морських шляхів [1]. Компанії-перевізники вимушені змінювати традиційні маршрути, що призводить до зростання протяжності і тривалості рейсів, витрати палива, шкідливих викидів у атмосферу і в кінцевому рахунку – вартості вантажоперевезень. Так, наприклад, обсяги морської торгівлі в 2024 році збільшилися на 2,2%, в той же час, як показник «тонно-міль» став практично утричі вищим – 5,9%. Це свідчить про суттєве подовження відстані. Взагалі, з 2018 по 2024 роки середня дальність переходу виросла в середньому з 4381 до 5245 миль [2].

Разом з тим, арктичний регіон нагрівається майже у чотири рази швидше, ніж Земна куля в середньому [3]. За даними NASA та National Snow and Ice Data Center (NSIDC), зимовий морський льодовий покрив Арктики в 2025 році досяг свого найнижчого рівня за 47 років супутникових спостережень. Максимальна площа криги була на 1,32 мільйона квадратних кілометрів нижчою за середній рівень, розрахований з 1981 по 2010 рік [4, 5]. Такі зміни призводять до появи цілої низки проблем, пов'язаних як з кліматом Земної кулі загалом, так і з навколишнім середовищем Арктики зокрема, але, одночасно з тим, відкривають сприятливі перспективи розширення морського трафіку в Північно-Західному проході Канадської Арктики. Беззаперечна перевага цього маршруту – значне скорочення відстані між портами, що призводить до оптимізації усіх показників переходу, тому за останні тридцять років кількість рейсів в Канадській Арктиці зросла в чотири рази [6].

Зважаючи на це, можна стверджувати, що наявність альтернативи проходженню суден через Панамський та Суецький канали у наш час має велику актуальність [7]. Відповідно, вивченню аспектів, що стосуються впливу кліматичних змін на льодовий покрив Північно-Західного проходу, приділяється достатньо уваги, бо морська крига є основною перешкодою розвитку судноплавства в цьому регіоні. Не дивлячись на велику кількість наукових праць цього напрямку, існує ще багато питань, що потребують вирішення. Так, ефективне майбутнє планування розвитку судноплавства в Канадській Арктиці повинне спиратися на достовірні довгострокові кліматичні прогнози. Однак, відсутність необхідної кількості систематичних спостережень, які важко було отримати в сурових і складних умовах; велика мінливість взаємопов'язаних природних процесів, що важко піддається обліку; низька просторова роздільна

здатність глобальних кліматичних моделей, які часто просто «не бачать» деякі протоки; виніс внаслідок посиленого танення в Північно-Західний прохід важкої багаторічної криги з Північного океану, яка, до того ж, часто створює затори у вузьких місцях, що надзвичайно важко передбачити – все це, вкупі з деякими іншими факторами, призвело до того, що останні передові кліматичні моделі СМІР6 демонструють суттєву невизначеність в прогнозуванні льодової обстановки на довгий термін, а повна теорія арктичного посилення досі не розроблена [8, 9, 10, 11].

Представлена робота є складовою частиною комплексного дослідження максимального поширення крижаного покриву в протоці Дейвіса та морі Лабрадор – звідси починається морський шлях через Північно-Західний прохід з Атлантичного океану в Тихий. На даному етапі була поставлена задача – за допомогою кореляційного аналізу виявити статистичний зв'язок між максимальним розповсюдженням льоду в окреслених акваторіях і двома величинами: атмосферним тиском на рівні моря (MSLP) і швидкістю вітру на висоті 10 м (WS) в різних частинах Північної Атлантики, Північного Льодовитого океану та прилеглих до них територій. Вона вирішувалась з метою визначити географічні райони та точки з максимальними коефіцієнтами кореляції між площею крижаного поля на 15 квітня та зазначеними показниками. В науковій літературі цей аспект розкрито недостатньо докладно. Як правило, дослідження зазначеного напрямку сфокусовано не на пошуку простих кореляцій «площа криги – атмосферний тиск / швидкість вітру», а на визначенні зв'язку площі криги з індексами великомасштабних коливань, наприклад Північно-Атлантичного / Арктичного, з посиленням циклонічної діяльності чи з орієнтацією потужних повітряних течій, або на виносі морської криги через протоку Дейвіса [12, 13, 14, 15].

2. ОПИС МАТЕРІАЛІВ І МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

На першій стадії дослідження було отримано цифровий ряд аномалій поширення льоду в протоці Дейвіса та морі Лабрадор на 15 квітня за період з 1979 по 2023 рік. Щоб зробити його квазістаціонарним, розглядалися не самі аномалії, а їх зміни протягом року (річний приріст). Більш детально це, а також вибір дати (15 квітня), висвітлено в [16]. В межах даної роботи знаходилися кореляційні залежності між

цім рядом і середньомісячними рядами (також приведеними до квазістаціонарного вигляду) атмосферного тиску на рівні моря (MSLP) та швидкості вітру на висоті 10 м (WS), отриманими за допомогою реаналізу Європейського центру середньострокових прогнозів погоди (ECMWF European Reanalysis V5 (ERA5) [0.25°]) [17], що обчислювалися послідовно для 10-, 5-, 2,5-, 1- та 0,5-градусних квадратів і в окремих точках. Покроковий перехід від великих просторових масивів осереднення до дрібніших і в кінцевому рахунку до точок дозволить розділити глобальні, синоптичні та локальні чинники впливу на льодовий покрив та визначити внесок кожного з них.

Для вихідних рядів значущими на рівні 0.01 приймалися коефіцієнти кореляції (КК) 0.48 і вище [16]. Розрахунки КК проводилися за період, який включав 15 місяців – січень, лютий та березень поточного року перед п'ятнадцятим квітня, та 12 місяців попереднього року (далі у тексті перші три з них наводитимуться, як січень – березень попереднього року, скорочено – п. р.). Площа, охоплена розрахунками, була досить суттєва – вся Північна Атлантика, деякі частини материків навколо неї, Гренландія та Північний Льодовитий океан на захід від Гринвіцького меридіану, невеликий район екваторіальної зони Тихого океану – всього разом 104 десятиградусних квадрата (рис. 1). Сучасна наука все більше від вивчення ізольованих явищ переходить до розглядання клімату, як складної багатофакторної системи, з великою кількістю взаємозв'язків. Тому на арктичну кригу можуть впливати чинники, розташовані далеко від протоки Дейвіса і моря Лабрадор [18, 19, 20, 21, 22]. Включення материків до розрахункових моделей необхідне для повного охоплення масштабної структури полів приземного тиску та швидкості вітру, а також для врахування температурних контрастів між суходолом і океаном і винесення циклонів на акваторію. Це дозволить не порушувати цілісність кліматичної системи на береговій лінії, та виявити зони високих значень коефіцієнтів кореляції безпосередньо над континентами.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Розрахунки коефіцієнтів кореляції ряду річного приросту аномалій з тиском на рівні моря на 10-градусних квадратах показали, що статистично значущих КК за період, що розглядався, виявилось досить багато – 32

(табл. 1). З них 23 дорівнювали або перевищували $|0,5|$, спостерігалися в грудні, були переважно від'ємні та сконцентровані в субполярних і полярних широтах від Гринвіцького меридіану до 100° W. Лише один з них був додатним, у квадраті, що знаходився на південний захід від острова Ньюфаундленд. Максимальне значення складало $-0,563$ (тут і далі дається з точністю до тисячних, бо при округленні до сотих результатів може бути декілька) для квадрата з координатами $70 - 80^{\circ}$ N, $10 - 20^{\circ}$ W (табл. 2). У липні значущих коефіцієнтів було 5, у лютому – 2, усі додатні, до $|0,5|$, між екватором і 20° N.

На п'ятиградусних квадратах ситуація майже не змінилася. Суттєва концентрація значущих коефіцієнтів, як і раніше, в трьох областях – у полярних / субполярних широтах (від'ємні), на південний захід від острова Ньюфаундленд (додатні) і від екватора до 20° N (додатні), усього 120 (рис. 1). За період додалося два місяці з потрібним рівнем кореляції, – травень і листопад, 2 і 1 випадки відповідно, в обох значення від'ємне. Загалом, кількісно переважають (в основному за рахунок грудня) коефіцієнти, що дорівнюють, або більші $|0,5|$, – 75 проти 45, що менші за $|0,5|$ (табл. 1). Максимальне значення – в грудні, $-0,582$, для квадрата з координатами $70 - 75^{\circ}$ N, $15 - 20^{\circ}$ W (табл. 2).

На 2,5-градусній сітці змінюється тільки кількість статистично значущих коефіцієнтів кореляції, тепер їх 469, з них 330 в інтервалі від $|0,5|$ до $|0,6|$, а інші менші за $|0,5|$. У грудні їх найбільше, у субполярних / полярних широтах (від'ємні) і на південний захід від острова Ньюфаундленд (додатні). Другий за кількістю – липень, всі показники знаходяться в тропічній зоні Північної Атлантики, в східній та західній частинах, додатні, переважно в діапазоні до $|0,5|$. На третьому місці лютий, з додатними коефіцієнтами в східній частині тропіків, заповнення проміжків до та після $|0,5|$ приблизно однакові. Вклад травня і листопада в загальну картину незначний (табл. 1). Максимальне значення – $-0,596$ у грудні ($67,5 - 70^{\circ}$ N, $17,5 - 20^{\circ}$ W та $67,5 - 70^{\circ}$ N, $20 - 22,5^{\circ}$ W) (табл. 2).

На 1-градусних квадратах для приземного тиску ситуація, окрім значного збільшення кількості коефіцієнтів до 2882, не змінилася (рис. 2) і лівова їх частка (2170) спостерігалася у грудні. Вперше з'явилися 8 показників від $|0,6|$ і вище (всі у грудні), але, порівняно з аналогічними оцінками для швидкості приземного вітру, не такі великі. Максимальний з них – $-0,603$ ($69 - 70^{\circ}$ N, $19 - 20^{\circ}$ W) (табл. 2).

Через величезний об'єм розрахунків, подальші обчислення проводилися не по всій площі досліджуваного району, а там, де спостерігалися високі коефіцієнти кореляції на рівні 1 градусу. На 0,5-градусних квадратах і в точках, як і очікувалось, тільки збільшилась кількість коефіцієнтів. Тих, що дорівнюють, або вищі $|0,6|$, стало 30 та 34 відповідно (як і раніше, в грудні), але в обох випадках максимальне значення було $-0,604$, тобто, практично не зазнало змін (табл. 2).

Кількість значущих коефіцієнтів кореляції ряду річного приросту аномалій зі швидкістю вітру на висоті 10 м на 10-градусних квадратах зафіксовано значно менше, ніж з атмосферним тиском – усього 6, половина з них менше $|0,5|$. Найбільша кількість – в червні (три, усі додатні), по одному виявилось у січні попереднього року, жовтні та грудні, в ньому ж – максимальне значення $-0,542$ ($50 - 60^{\circ}\text{N}$, $30 - 40^{\circ}\text{W}$) (табл. 3, 4). Показники по досліджуваному району розподілені за період майже рівномірно від низьких широт до високих, але, за винятком січня попереднього року, переважно на сході.

На 5-градусних квадратах зміни більш вагомі. За рахунок появи шести нових місяців зі значущою кореляцією за період, вона зросла в 5 разів, до 31, найчастіше в червні (8) та грудні (9) (табл. 3). Орієнтація квадратів по району не так добре виражена, як для MSLP і зараз почала більше заповнюватися його західна частина (рис. 3). Знак коефіцієнту залежить від розташування квадрату (в цілому переважають додатні), а максимальне значення становить $0,596$ ($55 - 60^{\circ}\text{N}$, $35 - 40^{\circ}\text{W}$) (табл. 4).

З рівня $2,5$ градусів коефіцієнти для приземного вітру починають якісно перевершувати відповідні значення для тиску на рівні моря. З'явилася кореляція, що в чотирьох випадках дорівнює чи перевищує $|0,6|$, хоча сумарна кількість, порівняно з MSLP, невелика, всього 118. До того ж, значущі коефіцієнти тепер спостерігаються для 13 місяців з 15, окрім квітня та липня. Першими за чисельністю коефіцієнтів є грудень (30), червень (20), січень попереднього року та жовтень (по 15) (табл. 3). Географічно за весь період вже можна виділити кілька районів з великою концентрацією значущих коефіцієнтів кореляції – Мексиканська затока, архіпелаг Кабо-Верде та на південний захід від нього, на південь і південний захід від Азорських островів, на південний захід від о. Ісландія, море Бофорта. Більша частина показників від $|0,5|$ до $|0,6|$, максимальний $-0,611$ в лютому попереднього року ($77,5 - 80^{\circ}\text{N}$, $77,5 - 80^{\circ}\text{W}$) (табл. 4).

Максимальні коефіцієнти кореляції для приземного тиску на всіх рівнях обчислень були позиціоновані в районі острова Ісландія в грудні (табл. 2, рис. 2). Шляхом загальноприйнятого округлення результатів обчислень до сотих, отримаємо: $-0,56$, $-0,58$, $-0,60$, $-0,60$, $-0,60$, $-0,60$ (від 10-градусних квадратів до точок відповідно). Стійкий негативний зв'язок свідчить, що падіння тиску, тобто поглиблення Ісландського мінімуму, посилює холодні північні та північно-східні вітри тилової частини циклону в морі Баффіна, протоці Дейвіса та виніс криги в море Лабрадор, чим активізує збільшення льодового покриву. Високе початкове значення на рівні 10° демонструє визначальний вплив глобальної атмосферної циркуляції на льодовитість. Повільне зростання коефіцієнтів зі зменшенням кроку осереднення від 10° до $2,5^{\circ}$ можна пояснити усуненням ефекту просторового згладжування. Подальша стабілізація показників при розрахунках від $2,5^{\circ}$ до точок доводить інваріантність (незалежність, стійкість) виявленого зв'язку між атмосферним і крижаним полями.

Проте значення КК з точністю до тисячних – $-0,563$, $-0,582$, $-0,596$, $-0,603$, $-0,604$, $-0,604$ (від 10-градусних квадратів до точок відповідно), забезпечують вищий рівень деталізації. У першому випадку природний масштаб зв'язку (граничний просторовий розмір сітки, на якому найповніше розкривається статистична залежність між параметрами) був крок $2,5^{\circ}$. Це була точка зламу тренду, до неї коефіцієнт кореляції посилювався, а після – стабілізувався. У другому випадку такою точкою виступає вже 1° і широтна смуга зони максимальних значень звужується від 5° ($67,5^{\circ}-72,5^{\circ}\text{N}$) до 2° ($69^{\circ}-71^{\circ}\text{N}$). Це доводить, що саме на масштабі 1° просторова здатність реаналізу досягає межі згладжування і виходить на реальну фізичну межу процесу.

Зміни для WS на 1-градусних квадратах вагоміші, ніж для MSLP, значущих коефіцієнтів побільшало майже в 7 разів, тепер їх 784 за період (є у кожному з 15 місяців), 474 з них від $|0,5|$ до $|0,6|$, 37 дорівнюють або вище $|0,6|$, максимальне значення $-0,671$ ($70 - 71^{\circ}\text{N}$, $79 - 80^{\circ}\text{W}$) у березні попереднього року (табл. 4). Найвагоміший внесок також у грудня – 211 випадків, у червні – 116, а на третьому місці січень попереднього року і березень попереднього року – по 94 (табл. 3). З рис. 4 можна побачити, що переважна частина коефіцієнтів знаходиться в полосі $15 - 48^{\circ}\text{W}$. Крім того, до перелічених раніше районів їх концентрації додалося кілька нових, але всі екстремуми знаходяться у високих широтах.

Таблиця 1 – Кількість значущих коефіцієнтів кореляції ряду річного приросту аномалій на 15 квітня з середньомісячними MSLP по інтервалах $0,48 \leq |r| < 0,5$ / $0,5 \leq |r| < 0,6$ / $|r| \geq 0,6$ у досліджуваному районі за період обчислень

Table 1 – Number of significant correlation coefficients between the series of annual anomaly increments on April 15 and monthly mean MSLP by intervals $0,48 \leq |r| < 0,5$ / $0,5 \leq |r| < 0,6$ / $|r| \geq 0,6$ in the study area for the calculation period

№	Місяць	Розмір квадратів			
		10×10°	5×5°	2,5×2,5°	1×1°
1	Січень п. р.				
2	Лютий п. р.				
3	Березень п. р.				
4	Квітень				
5	Травень		2 / 0 / 0	4 / 2 / 0	29 / 8 / 0
6	Червень				
7	Липень	5 / 0 / 0	14 / 5 / 0	59 / 19 / 0	355 / 122 / 0
8	Серпень				
9	Вересень				
10	Жовтень				
11	Листопад		1 / 0 / 0	2 / 0 / 0	19 / 0 / 0
12	Грудень	2 / 23 / 0	26 / 66 / 0	59 / 296 / 0	328 / 1834 / 8
13	Січень				
14	Лютий	2 / 0 / 0	2 / 4 / 0	15 / 13 / 0	101 / 78 / 0
15	Березень				
16	За період	9 / 23 / 0	45 / 75 / 0	139 / 330 / 0	832 / 2042 / 8

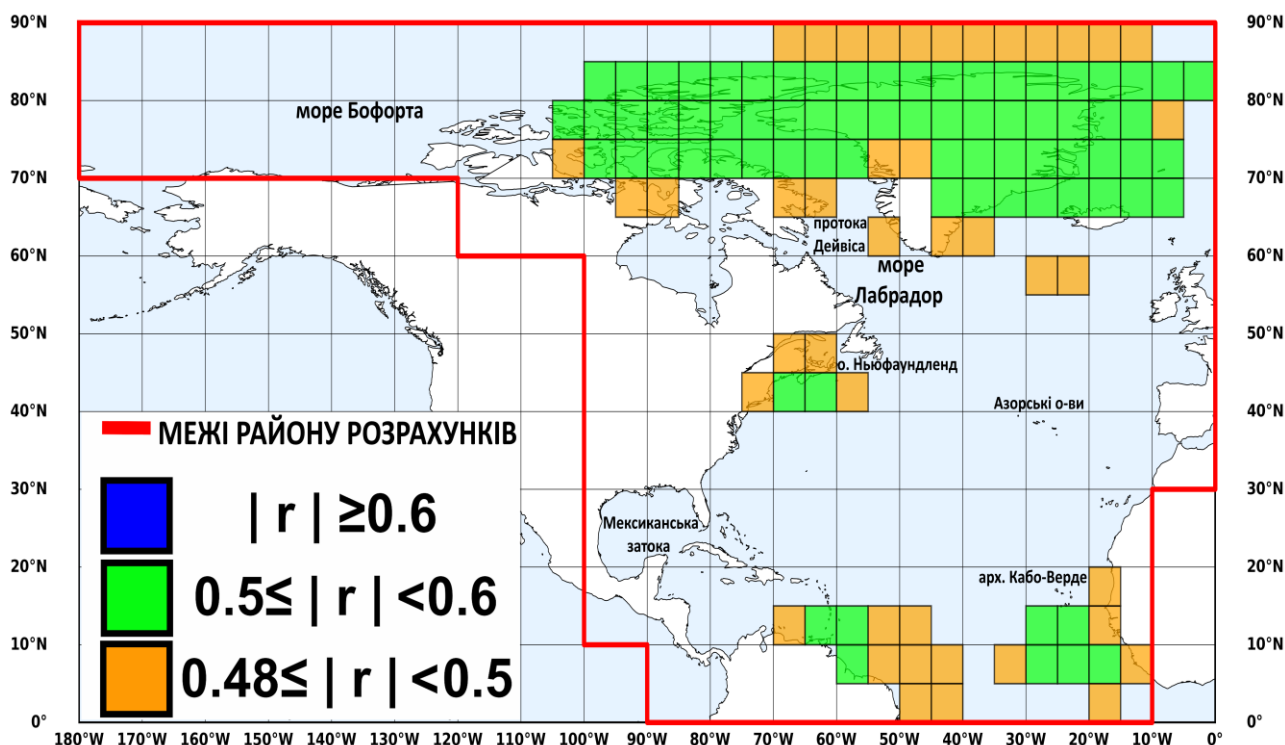


Рис. 1 – Розподіл значущих коефіцієнтів кореляції між максимальним поширенням криги в протоці Дейвіса та морі Лабрадор і MSLP на 5-градусних квадратах за 15 місяців

Fig. 1 – Distribution of significant correlation coefficients between the maximum ice extent in the Davis Strait and the Labrador Sea and MSLP on 5-degree squares over 15 months

Таблиця 2 – Максимальні показники значущих коефіцієнтів кореляції ряду річного приросту аномалій на 15 квітня з середньомісячними MSLP у досліджуваному районі за період обчислень

Table 2 – Maximum values of significant correlation coefficients between the series of annual anomaly increments on April 15 and monthly mean MSLP in the study area for the calculation period

№	Місяць	Квадрати, точки					
		10×10°	5×5°	2,5×2,5°	1×1°	0,5×0,5°	Точки
1	Січень п. р.						
2	Лютий п. р.						
3	Березень п. р.						
4	Квітень						
5	Травень		-0,497	-0,505	-0,506	-0,507	-0,506
6	Червень						
7	Липень	0,488	0,505	0,519	0,524	0,524	0,524
8	Серпень						
9	Вересень						
10	Жовтень						
11	Листопад		-0,481	-0,485	-0,488	-0,489	-0,493
12	Грудень	-0,563	-0,582	-0,596	-0,603	-0,604	-0,604
13	Січень						
14	Лютий	0,492	0,512	0,517	0,523	0,524	0,524
15	Березень						

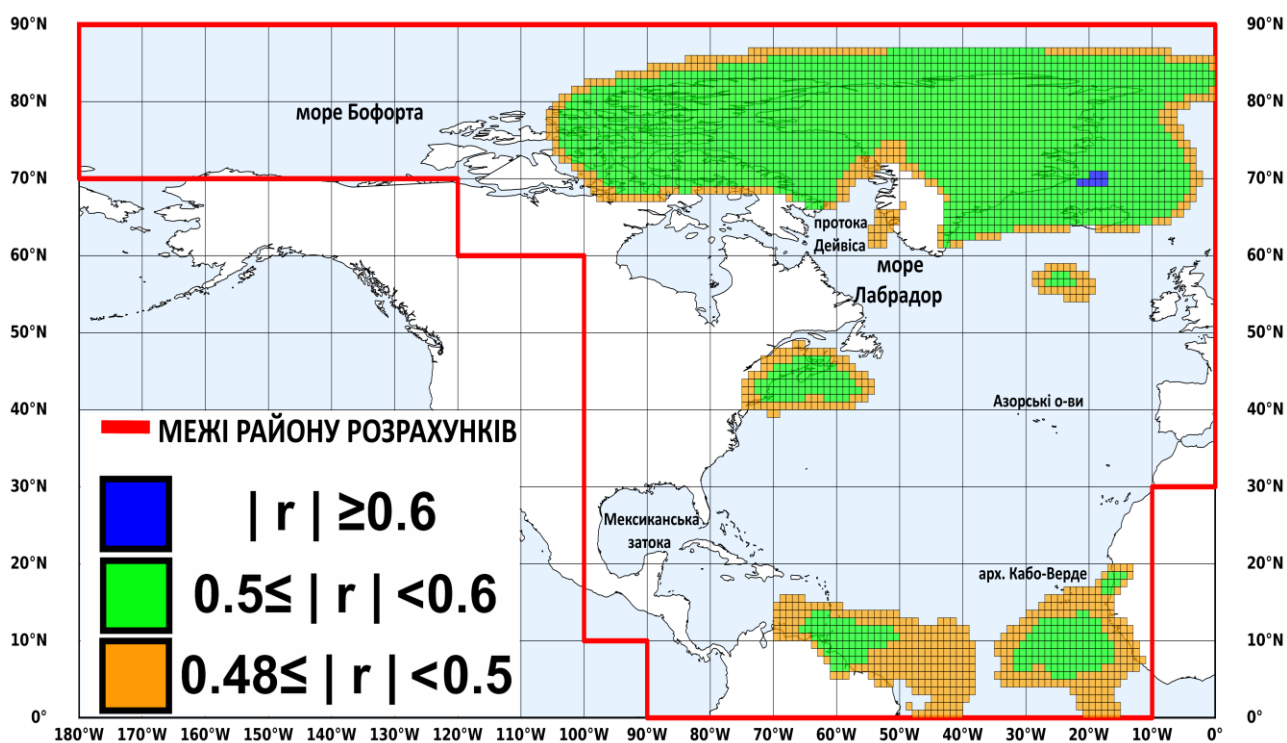


Рис. 2 – Розподіл значущих коефіцієнтів кореляції між максимальним поширенням криги в протоці Дейвіса та морі Лабрадор і MSLP на 1-градусних квадратах за 15 місяців

Fig. 2 – Distribution of significant correlation coefficients between the maximum ice extent in the Davis Strait and the Labrador Sea and MSLP on 1-degree squares over 15 months

На відміну від MSLP, для швидкості вітру зменшення розміру квадратів до 0,5 градуса виявилось ефективнішим. Тепер у 8 місяцях (до

цього в 5) з'явилися коефіцієнти від $|0,6|$ і вище, загалом – 162 (перед цим – 37). Майже всі, крім чотирьох, знаходяться вище 48° N. Рекордсмен за

їх наявністю – грудень (66), від нього трохи відстає березень попереднього року (61), вклади інших місяців не такі суттєві. Найвищий показник фактично такий самий – $-0,668$ ($70,5 - 71^\circ\text{N}$, $79,5 - 80^\circ\text{W}$) у березні попереднього року. При визначенні значущих коефіцієнтів в точках суттєвих зрушень не відбулося, першість знов за березнем попереднього року – $-0,672$ ($70.5^\circ\text{N} - 79.5^\circ\text{W}$) (табл. 4).

В підсумку, проведена робота дозволила виявити наступні особливості розподілу значущих коефіцієнтів кореляції між квазістаціонарними рядами цифрового ряду аномалій поширення льоду на 15 квітня за період з 1979 по 2023 рік і середньомісячними рядами атмосферного тиску на рівні моря та швидкості вітру на висоті 10 м у районі, що вивчався. Статистичні зв'язки з MSLP за досліджуваний період спостерігалися у травні (крім 10-градусних квадратів), листопаді (крім 10-градусних квадратів), грудні (переважна частка випадків) і лютому. В цілому за досліджуваний період значущих коефіцієнтів було надзвичайно багато (за рахунок грудня). Вже на 10-градусних квадратах їх значення досягали $-0,50 - -0,56$ (23 випадки), але при подальшому зменшенні сітки до $1 - 0,5$ градусів вони лише дорівнювали або трохи перевищували $-0,60$ (30 випадків на $0,5$ -градусних квадратах). Можна сказати, що коефіцієнтам властива чітка просторово-часова локалізація: вирізняються 6 областей, де вони згруповані в певні місяці року, поза ними немає жодного. Сама велика область знаходиться в субполярних і полярних широтах Північної півкулі між $0 - 105^\circ\text{W}$ (грудень). В ній, у Гренландському морі, біля входу у Датську протоку, можна виокремити невеличку ділянку з оцінками від $|0,6|$ і вище (рис.2). Дві середні за розмірами області знаходяться в західній і східній частинах тропічної зони Північної Атлантики та прилеглих узбережжях (червень) з більшістю показників до $|0,5|$. В цьому ж регіоні, але лише в східній частині Північної Атлантики, в лютому є ще одна аналогічна область, де спостерігається незначне переважання коефіцієнтів у діапазоні до $|0,5|$. Їм дещо поступається район на південний захід від острова Ньюфаундленд (грудень), де більшість оцінок від $|0,5|$ і вище. Є ще дві порівняно невеликі локації, перша в травні – на південний захід від острова Ісландія, друга в листопаді – частково на західному узбережжі Гренландії і частково в протоці Дейвіса (тут значення лише до $|0,5|$).

Значуща кореляція з WS, порівняно з MSLP, спочатку виглядала менш переконливо, але

поступово, зі зменшенням розмірів сітки, дала вагоміші результати. Так, починаючи з 1-градусних квадратів, статистична залежність була виявлена для кожного з 15 місяців періоду. На $0,5$ -градусному рівні і в точках показники $|0,6|$ і вище спостерігалися у восьми місяцях періоду, найчастіше в грудні та березні попереднього року, а їх загальна кількість приблизно в 5 разів більша, ніж для MSLP. Переважну частку зафіксовано у високих широтах також, але є по два випадки у Мексиканській затоці і біля Азорських островів. Максимальне значення коефіцієнтів зросло з $|0,54|$ (10-градусні квадрати) до $|0,67|$ ($1 - 0,5$ -градусні квадрати, точки) (табл. 4). На відміну від MSLP, чітка просторова локалізація не простежується. Є біля 10 відносно великих областей зі значущими коефіцієнтами та багато маленьких по всьому досліджуваному району (рис. 4).

Поле вітру, порівняно з тиском, більш мінливе, динамічне і чутливе до зміни розміру сітки. Спочатку також розглянемо максимальні по модулю значення показників, округлені до сотих: $0,54, 0,6, 0,61/-0,61, -0,67, -0,67, -0,67$ (від 10-градусних квадратів до точок відповідно) (табл.4). Кореляція по великих площах (10°) штучно згладжувала локальні горизонтальні баричні градієнти, максимумами швидкості і нейтралізувала різноспрямовані повітряні потоки. На $5^\circ - 2,5^\circ$ спостерігається нівелювання цього процесу. Залежність посилюється за рахунок переходу від мультибаричної структури при осередненні до монобаричної, завдяки чому вдалося диференціювати різноорієнтовані повітряні течії і коефіцієнти зросли в деяких випадках до $0,60$ і вище. Аналогічна інтенсифікація показників відбувається при переході з масштабу $2,5^\circ$ до 1° з подальшою стабілізацією при зменшенні кроку дискретизації. Це свідчить, що починаючи з 1° повітряні потоки стають просторово однорідними, строго локалізований мезомасштабний сигнал цього діапазону є домінантним і не руйнується під впливом мікромасштабних процесів.

Використання КК з точністю до тисячних – $0,542, 0,596, 0,611/-0,609, -0,671, -0,668, -0,672$ (від 10-градусних квадратів до точок відповідно) (табл. 4), як і у випадку з приземним тиском, дозволяє суттєво уточнити попередні висновки. Формально, визначений раніше природний масштаб зв'язку не зазнав змін, але таке твердження буде коректним лише без урахування просторової локалізації зон максимальної кореляції. Серед них можна виділити два ключові

Таблиця 3 – Кількість значущих коефіцієнтів кореляції ряду річного приросту аномалій на 15 квітня з середньомісячними WS по інтервалах $0,48 \leq |r| < 0,5$ / $0,5 \leq |r| < 0,6$ / $|r| \geq 0,6$ у досліджуваному районі за період обчислень

Table 3 – Number of significant correlation coefficients between the series of annual anomaly increments on April 15 and monthly mean WS by intervals $0,48 \leq |r| < 0,5$ / $0,5 \leq |r| < 0,6$ / $|r| \geq 0,6$ in the study area for the calculation period

№	Місяць	Розмір квадратів			
		10×10°	5×5°	2,5×2,5°	1×1°
1	Січень п. р.	1 / 0 / 0	1 / 3 / 0	6 / 8 / 1	30 / 61 / 3
2	Лютий п. р.		0 / 1 / 0	1 / 2 / 1	14 / 17 / 2
3	Березень п. р.		1 / 2 / 0	3 / 9 / 1	27 / 52 / 15
4	Квітень				8 / 9 / 0
5	Травень		1 / 0 / 0	1 / 0 / 0	6 / 1 / 0
6	Червень	2 / 1 / 0	3 / 5 / 0	8 / 12 / 0	51 / 65 / 0
7	Липень				1 / 1 / 0
8	Серпень			1 / 0 / 0	9 / 1 / 0
9	Вересень			1 / 1 / 0	7 / 6 / 0
10	Жовтень	0 / 1 / 0	1 / 1 / 0	4 / 11 / 0	22 / 67 / 0
11	Листопад		1 / 0 / 0	1 / 0 / 0	4 / 2 / 0
12	Грудень	0 / 1 / 0	5 / 4 / 0	4 / 25 / 1	61 / 134 / 16
13	Січень		0 / 1 / 0	3 / 3 / 0	9 / 16 / 0
14	Лютий			1 / 1 / 0	8 / 15 / 0
15	Березень		0 / 1 / 0	3 / 5 / 0	16 / 27 / 1
16	За період	3 / 3 / 0	13 / 18 / 0	37 / 77 / 4	273 / 474 / 37

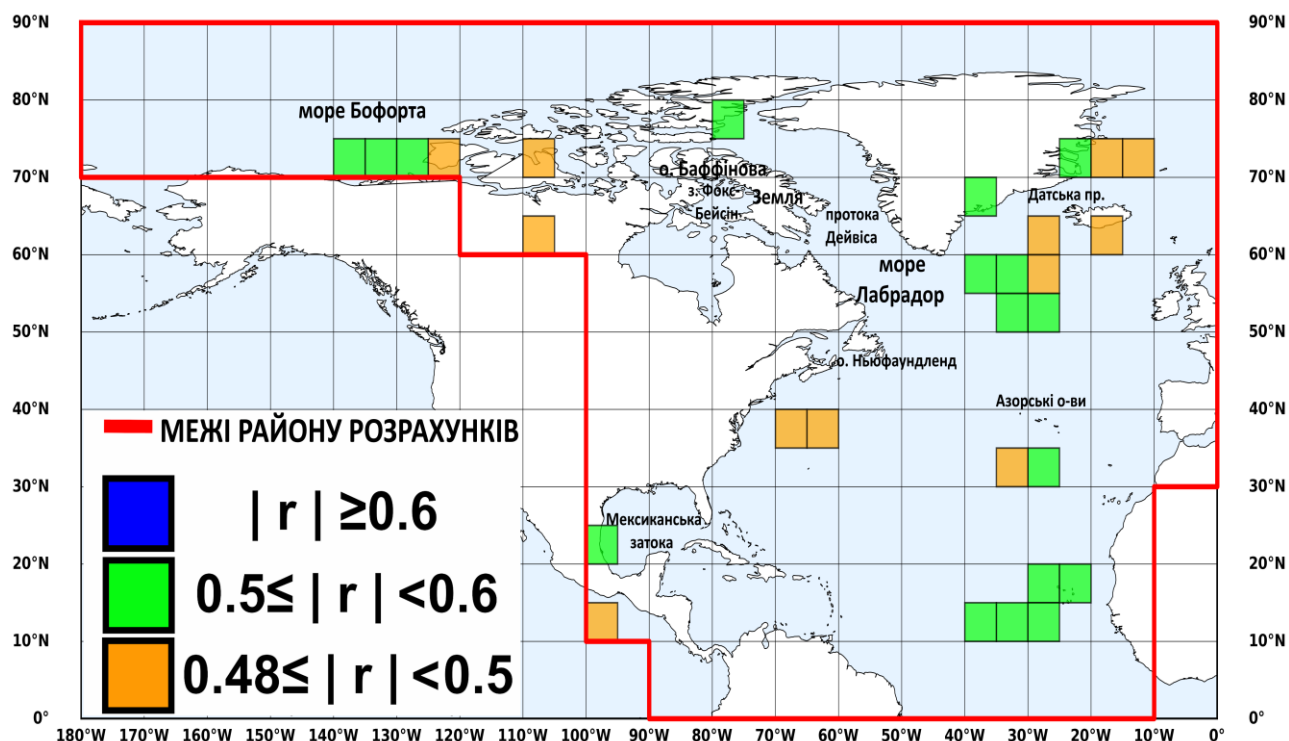


Рис. 3 – Розподіл значущих коефіцієнтів кореляції між максимальним поширенням криги в протоці Дейвіса та морі Лабрадор і WS на 5-градусних квадратах за 15 місяців

Fig. 3 – Distribution of significant correlation coefficients between the maximum ice extent in the Davis Strait and the Labrador Sea and WS on 5-degree squares over 15 months

Таблиця 4 – Максимальні показники значущих коефіцієнтів кореляції ряду річного приросту аномалій на 15 квітня з середньомісячними WS у досліджуваному районі за період обчислень

Table 4 – Maximum values of significant correlation coefficients between the series of annual anomaly increments on April 15 and monthly mean WS in the study area for the calculation period

№	Місяць	Квадрати, точки					
		10×10°	5×5°	2,5×2,5°	1×1°	0,5×0,5°	Точки
1	Січень п. р.	-0,496	-0,548	-0,604	-0,609	-0,610	-0,609
2	Лютий п. р.		0,500	0,611	0,643	0,651	0,659
3	Березень п. р.		0,509	-0,609	-0,671	-0,668	-0,672
4	Квітень				0,529	0,530	0,544
5	Травень		0,488	0,480	0,511	-0,529	-0,543
6	Червень	0,532	0,522	0,545	0,555	0,562	0,566
7	Липень				0,509	0,519	-0,516
8	Серпень			0,481	0,515	0,557	0,549
9	Вересень			-0,504	-0,530	-0,550	-0,547
10	Жовтень	-0,510	-0,583	-0,588	-0,597	-0,603	-0,605
11	Листопад		-0,484	-0,480	0,507	-0,529	0,578
12	Грудень	0,542	0,596	0,604	0,641	0,646	0,646
13	Січень		-0,545	-0,556	-0,586	-0,609	-0,620
14	Лютий			-0,521	-0,590	-0,609	-0,615
15	Березень		0,589	0,598	0,624	0,630	0,631

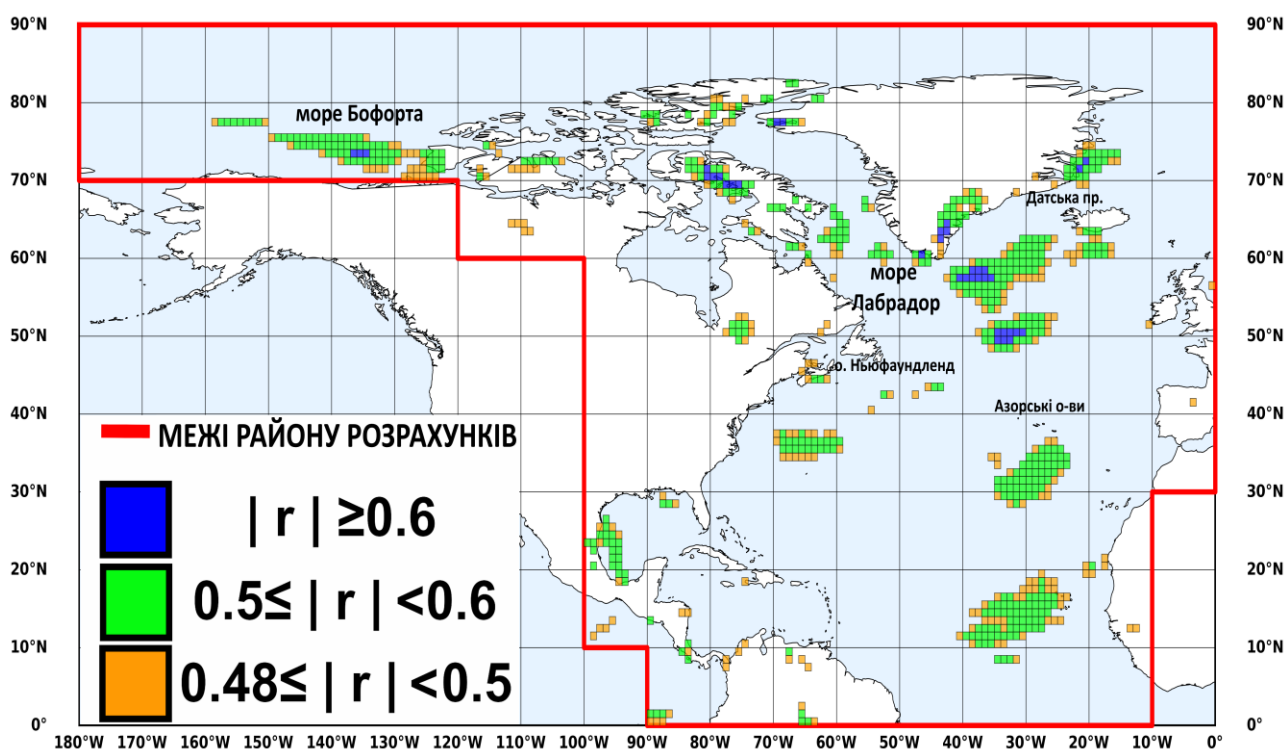


Рис. 4 – Розподіл значущих коефіцієнтів кореляції між максимальним поширенням криги в протоці Дейвіса та морі Лабрадор і WS на 1-градусних квадратах за 15 місяців

Fig. 4 – Distribution of significant correlation coefficients between the maximum ice extent in the Davis Strait and the Labrador Sea and WS on 1-degree squares over 15 months

осередки з найвищими показниками. Перший, з коефіцієнтами 0,611, 0,643, 0,651, 0,659 у лютому попереднього року (від 2,5-градусних квадратів

до точок відповідно) знаходиться на північно-західному узбережжі о. Гренландія поряд з протокою Сміта біля широти 78°N (рис. 4,

табл. 4). У розпал зимового періоду тут, завдяки величезній висоті крижаного щита острова і гравітації, переважають шквальні катабатичні вітри, часто ураганної сили. Зриваючись зі схилів, вони, з одного боку, руйнують льодовий покрив і відносять уламки на схід в течію Баффіна, яка транспортує їх на південь, а з іншого боку потужна адвекція холоду посилює процеси утворення морської криги. Описаний механізм виступає фізичним підтвердженням прямого зв'язку досліджуваних параметрів і позитивного знаку коефіцієнтів. Слабо виражене монотонне зростання ряду з максимумом на рівні точок демонструє асимптотичне наближення до екстремальних значень на ультрависокій деталізації. На цьому рівні база даних реаналізу ERA5 спроможна найкраще врахувати вплив складного скелястого, порізаного фіордами рельєфу на повітряні потоки.

Другий осередок, з коефіцієнтами -0,609, -0,671, -0,668, -0,672 (від 2,5-градусних квадратів до точок відповідно) розташований на острові Баффінова Земля, поряд з північною частиною затоки Фокс-Бейсін, в районі 70° N (рис. 4, табл. 4). Місцева орографія більш згладжена, ніж на узбережжі Гренландії, але це також піднятий гористий суходіл, хвилясте плато, яке різко обривається при переході до берегової лінії. Повітряні потоки на ньому можуть відчутно змінювати напрямок і швидкість, до того ж, у березні активізуються та поглиблюються весняні циклони над Канадським Арктичним архіпелагом, що виступає додатковим чинником інтенсифікації варіативності характеристик вітру. Виражена просторово-часова мінливість горизонтального переносу над порізаною підстильною поверхнею Баффінової Землі призводить до математичного згладжування пікових швидкостей на стиках розрахункових комірок і незначного просідання коефіцієнта кореляції на рівні 0,5°. Зазначений ефект не фіксувався в першому осередку через домінування потужних стокових вітрів з вищим ступенем стабілізації повітряних потоків. Розрахунок безпосередньо в точках знімає ці суто геометричні обмеження штучної сітки і показник зростає до свого максимуму (-0,672).

Слід зазначити, що березневі циклони, рухаючись переважно на південний схід, над морем Баффіна та протокою Дейвіса, частково блокують льодовий «конвеєр» в бік моря Лабрадор. Великі дрейфуючі крижані поля внаслідок штормової активності можуть сповільнюватись зустрічними вітрами, навалюватися на західні скелясті береги,

створюючи зони інтенсивного торошення при щільному стисненні, відноситися на схід до теплої Західно-Гренладської течії, спрямованої на північ. Комплексна дія цих факторів стримує поширення криги в межах досліджуваної акваторії, що зумовлює від'ємні знаки коефіцієнтів кореляції.

4. ВИСНОВКИ

В результаті виконаної роботи у досліджуваному районі знайдено кілька областей / точок, що знаходяться у різних широтних зонах, від тропіків до високих широт, де показники атмосферного тиску на рівні моря і швидкості вітру на рівні 10 м суттєво впливають на розповсюдження льодового покриву на 15 квітня в Дейвісовій протоці та морі Лабрадор. Для значущих коефіцієнтів кореляції між квазістаціонарними рядами цифрового ряду аномалій і атмосферним тиском властивий чіткий просторово-часовий розподіл з максимальними оцінками в Гренландському морі, біля входу у Датську протоку в грудні. У випадку з приземним вітром екстремальні величини від [0,6] і вище спостерігаються, з поодинокими випадками, у високих широтах від моря Бофорта до 20°W у січні – березні попереднього року, жовтні (на південь від Азорських островів), грудні, січні (в Мексиканській затоці), лютому та березні.

Оптимальним просторовим кроком дискретизації для визначення залежності максимального розповсюдження криги у протоці Дейвіса та морі Лабрадор від тиску на рівні моря є осереднення по 1° квадратам.

У разі пошуку статистичного зв'язку з швидкістю вітру на висоті 10 м цей масштаб виступає лише загальним базовим порогом, а для усунення геометричних спотворень розрахункової сітки реаналізу та коректного врахування орографічних чинників необхідні обчислення на рівні точок. Максимальна статистична залежність між зазначеними параметрами для лютого попереднього року і березня попереднього року вказує на відчутну часову інерційність атмосфери-океанічної системи даного району.

Отримані у ході досліджень результати створюють важливе підґрунтя для оптимізації льодової навігації в сучасних умовах на початку перспективного альтернативного маршруту з Атлантичного океану в Тихий та підвищення безпеки судноплавства. Виявлені статистичні залежності дають підстави припускати у подальшому можливість прогнозування

максимальної площі крижаного поля в Дейвісовій протоці та морі Лабрадор.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Navigating Troubled Waters: The Impact to Global Trade of Disruption of Shipping Routes in the Red Sea, Black Sea and Panama Canal*: Special Report / UNCTAD. (2024). Geneva: United Nations. 22 p. URL: <https://unctad.org/navigating-troubled-waters> (дата звернення: 30.03.2026)
2. UNCTAD. (2025). *Review of Maritime Transport 2025: Staying the Course in Turbulent Waters*. (UNCTAD/RMT/2025). Geneva: United Nations. 168 p. URL: https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2025_en.pdf (дата звернення: 30.03.2026)
3. Rantanen M. et al. (2022). The Arctic has warmed nearly four times faster than the globe since 1979. *Commun. Earth Environ.*, 3, 168. <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00498-3>
4. Riordon J. (2025). *NASA*. NSIDC Scientists Say Arctic Winter Sea Ice at Record Low. URL: <https://www.nasa.gov/earth/arctic-winter-sea-ice-at-record-low/> (дата звернення: 30.03.2026)
5. Arctic sea ice hits record low maximum extent for the year. (2025). National Snow and Ice Data Center. URL: <https://nsidc.org/news-analyses/news-stories/arctic-sea-ice-hits-record-low-maximum-extent-year> (дата звернення: 20.03.2026)
6. Dawson J. D., Cook A. J., Holloway J. E., Copland L. (2022). Analysis of Changing Levels of Ice Strengthening (Ice Class) among Vessels Operating in the Canadian Arctic over the Past 30 Years. *Arctic*, Vol. 75, No. 4, P. 398–414. <https://doi.org/10.14430/arctic75553>
7. Chen J., Kang S., You Q., Zhang Y., Du W. (2022). Projected changes in sea ice and the navigability of the Arctic Passages under global warming of 2°C and 3°C. *Anthropocene*, Vol. 40, 100349. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2022.100349>
8. Taylor P. C., Boeke R. C., Boisvert L. N. et al. (2022). Process Drivers, Inter-Model Spread, and the Path Forward: A Review of Amplified Arctic Warming. *Frontiers in Earth Science*, Vol. 9, Art. 758361. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.758361>
9. Mudryk L. R., Dawson J., Howell S. E. L., Derksen C., Zagon T., Johnston M. (2021). Impact of 1, 2 and 4 °C of global warming on ship navigation in the Canadian Arctic. *Nature Climate Change*, Vol. 11, P. 673–679. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01087-6>
10. Cook A. J., Dawson J., Howell S. E. L. et al. (2024). Sea ice choke points reduce the length of the shipping season in the Northwest Passage. *Commun. Earth Environ.*, 5, 362. <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01477-6>
11. Liang Y.-F., Zhang Y., Guo H.-L., Chen C.-S., Shao W.-Z., Zhou Y., Wang D.-S. (2025). Projection of sea ice conditions in the Canadian Arctic Archipelago based on CMIP6 assessments. *Advances in Climate Change Research*, Vol. 16, Iss. 3, P. 473–489. <https://doi.org/10.1016/j.accres.2025.02.008>
12. Kvamstø N. G., Skeie P., Stephenson D. B. (2004). Impact of Labrador Sea-ice extent on the North Atlantic Oscillation. *International Journal of Climatology*, Vol. 24, no. 5, P. 603–612. <https://doi.org/10.1002/joc.1015>
13. Deser C., Walsh J. E., Timlin M. S. (2000). Arctic Sea Ice Variability in the Context of Recent Atmospheric Circulation Trends. *Journal of Climate*, Vol. 13, no. 3, P. 617–633. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2000\)013<0617:ASIVIT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2000)013<0617:ASIVIT>2.0.CO;2)
14. Peterson I. K., Symonds G. (1988). *Ice floe trajectories off Labrador and eastern Newfoundland: 1985–1987*. (Canadian Technical Report of Hydrography and Ocean Sciences, No. 104). Dartmouth, Nova Scotia: Physical and Chemical Sciences Branch, Bedford Institute of Oceanography. 115 p. URL: <https://waves-vagues.dfo-mpo.gc.ca/Library/106106.pdf> (дата звернення: 10.04.2026)
15. Liang Y. et al. (2021). Role of Extratropical Wintertime Cyclones in Regulating the Variations of Baffin Bay Sea Ice Export. *JGR Atmospheres*, Vol. 126, no. 5. <https://doi.org/10.1029/2020JD033616>
16. Малуґа Є. Є., Гаврилюк Р. В. (2023). Міжрічна мінливість льодового покриву в протоці Дейвіса та морі Лабрадор за період з 1979 по 2023 рр. *Український гідрометеорологічний журнал*, №32, С. 80–94. <https://doi.org/10.31481/uhmj.32.2023.06>
17. Climate Reanalyzer. URL: https://climatoreanalyzer.org/reanalysis/monthly_tseries/ (дата звернення: 10.03.2026)
18. Ding S., Chen X., Zhang X., Zhang X., Xu P. (2024). A Review on the Arctic –Midlatitudes Connection: Interactive Impacts, Physical Mechanisms, and Nonstationary Atmosphere. *Atmosphere*, Vol. 15, iss. 9, Art. 1115. <https://doi.org/10.3390/atmos15091115>
19. Iles C. E., Samset B. H., Lund M. T. (2025). How polar–midlatitude atmospheric teleconnections depend on regional sea ice fraction and global warming level. *Earth System Dynamics*, Vol. 16, P. 2253–2272. <https://doi.org/10.5194/esd-16-2253-2025>
20. Henderson G. R., Barrett B. S., Wachowicz L. J. et al. (2021). Local and Remote Atmospheric Circulation Drivers of Arctic Change: A Review. *Frontiers in Earth Science*, Vol. 9, Art. 709896. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.709896>
21. Duan A., Li X., Hu W. et al. (2025). Climate teleconnections among the Earth's three poles. *Science Bulletin*, Vol. 70, iss. 22, P. 3908–3918. <https://doi.org/10.1016/j.scib.2025.09.045>
22. Matsumura S., Kosaka Y. (2019). Arctic–Eurasian climate linkage induced by tropical ocean variability. *Nature Communications*, Vol. 10, Art. 3441. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-11359-7>

REFERENCES

1. UNCTAD (2024). *Navigating Troubled Waters: The Impact to Global Trade of Disruption of Shipping Routes in the Red Sea, Black Sea and Panama Canal*: Special Report. Geneva: United Nations. Available at: <https://unctad.org/navigating-troubled-waters> (Accessed: 30.03.2026).
2. UNCTAD (2025). *Review of Maritime Transport 2025: Staying the Course in Turbulent Waters*. UNCTAD/RMT/2025. Geneva: United Nations. Available at: https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2025_en.pdf (Accessed: 30.03.2026).
3. Rantanen, M. et al. (2022). The Arctic has warmed nearly four times faster than the globe since 1979. *Commun. Earth Environ.*, 3, 168. <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00498-3>
4. Riordon, J. (2025). *NASA*. NSIDC Scientists Say Arctic Winter Sea Ice at Record Low. Available at: <https://www.nasa.gov/earth/arctic-winter-sea-ice-at-record-low/> (Accessed: 30.03.2026).
5. National Snow and Ice Data Center (2025). Arctic sea ice hits record low maximum extent for the year. Available at: <https://nsidc.org/news-analyses/news-stories/arctic-sea-ice-hits-record-low-maximum-extent-year> (Accessed: 20.03.2026).
6. Dawson, J.D., Cook, A.J., Holloway, J.E. & Copland, L. (2022). Analysis of Changing Levels of Ice Strengthening (Ice Class) among Vessels Operating in the Canadian Arctic over the Past 30 Years. *Arctic*, 75(4), pp. 398–414. <https://doi.org/10.14430/arctic75553>

7. Chen, J., Kang, S., You, Q., Zhang, Y. & Du, W. (2022). Projected changes in sea ice and the navigability of the Arctic Passages under global warming of 2°C and 3°C. *Anthropocene*, 40, 100349. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2022.100349>
8. Taylor, P.C., Boeke, R.C., Boisvert, L.N. et al. (2022). Process Drivers, Inter-Model Spread, and the Path Forward: A Review of Amplified Arctic Warming. *Frontiers in Earth Science*, 9, 758361. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.758361>
9. Mudryk, L.R., Dawson, J., Howell, S.E.L., Derksen, C., Zagon, T. & Johnston, M. (2021). Impact of 1, 2 and 4 °C of global warming on ship navigation in the Canadian Arctic. *Nature Climate Change*, 11, pp. 673-679. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01087-6>
10. Cook, A.J., Dawson, J., Howell, S.E.L. et al. (2024). Sea ice choke points reduce the length of the shipping season in the Northwest Passage. *Commun Earth Environ*, 5, 362. <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01477-6>
11. Liang, Y.-F., Zhang, Y., Guo, H.-L., Chen, C.-S., Shao, W.-Z., Zhou, Y. & Wang, D.-S. (2025). Projection of sea ice conditions in the Canadian Arctic Archipelago based on CMIP6 assessments. *Advances in Climate Change Research*, 16(3), pp. 473-489. <https://doi.org/10.1016/j.accre.2025.02.008>
12. Kvamstø, N.G., Skeie, P. & Stephenson, D.B. (2004). Impact of Labrador Sea-ice extent on the North Atlantic Oscillation. *International Journal of Climatology*, 24(5), pp. 603-612. <https://doi.org/10.1002/joc.1015>
13. Deser, C., Walsh, J.E. & Timlin, M.S. (2000). Arctic Sea Ice Variability in the Context of Recent Atmospheric Circulation Trends. *Journal of Climate*, 13(3), pp. 617-633. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2000\)013<0617:ASIVIT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2000)013<0617:ASIVIT>2.0.CO;2)
14. Peterson, I.K. & Symonds, G. (1988). *Ice floe trajectories off Labrador and eastern Newfoundland: 1985–1987*. Canadian Technical Report of Hydrography and Ocean Sciences, No. 104. Dartmouth, Nova Scotia: Physical and Chemical Sciences Branch, Bedford Institute of Oceanography. Available at: <https://waves-vagues.dfo-mpo.gc.ca/Library/106106.pdf> (Accessed: 10.04.2026).
15. Liang, Y. et al. (2021). Role of Extratropical Wintertime Cyclones in Regulating the Variations of Baffin Bay Sea Ice Export. *JGR Atmospheres*, 126(5). <https://doi.org/10.1029/2020JD033616>
16. Malyuga, E.Ye. & Gavriluk, R.V. (2023). [Interannual Variability of Ice Cover across Davis Strait and the Labrador Sea for the Period from 1979 to 2023]. *Ukrainskyi hidrometeorologichnyi zhurnal* [Ukrainian hydrometeorological journal], 32, pp. 80-94. <https://doi.org/10.31481/uhmj.32.2023.06> (in Ukr.)
17. Climate Reanalyzer. Available at: https://climatereanalyzer.org/reanalysis/monthly_tseries/ (Accessed: 10.03.2026).
18. Ding, S., Chen, X., Zhang, X., Zhang, X. & Xu, P. (2024). A Review on the Arctic –Midlatitudes Connection: Interactive Impacts, Physical Mechanisms, and Nonstationary Atmosphere. *Atmosphere*, 15(9), 1115. <https://doi.org/10.3390/atmos15091115>
19. Iles, C.E., Samset, B.H. & Lund, M.T. (2025). How polar–midlatitude atmospheric teleconnections depend on regional sea ice fraction and global warming level. *Earth System Dynamics*, 16, pp. 2253-2272. <https://doi.org/10.5194/esd-16-2253-2025>
20. Henderson, G.R., Barrett, B.S., Wachowicz, L.J. et al. (2021). Local and Remote Atmospheric Circulation Drivers of Arctic Change: A Review. *Frontiers in Earth Science*, 9, 709896. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.709896>
21. Duan, A., Li, X., Hu, W. et al. (2025). Climate teleconnections among the Earth's three poles. *Science Bulletin*, 70(22), pp. 3908-3918. <https://doi.org/10.1016/j.scib.2025.09.045>
22. Matsumura, S. & Kosaka, Y. (2019). Arctic–Eurasian climate linkage induced by tropical ocean variability. *Nature Communications*, 10, 3441. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-11359-7>

DEPENDENCE OF MAXIMUM ICE EXTENT IN THE DAVIS STRAIT AND THE LABRADOR SEA WITH ATMOSPHERIC PRESSURE AND SURFACE WIND SPEED IN THE NORTH ATLANTIC AND THE ARCTIC OCEANS

E. E. Maliuha¹, R. V. Gavriluk²

¹National University «Odesa Maritime Academy»,
8 Didrihsona St., 65000, Odesa, Ukraine,
eduard241965@gmail.com, <http://orcid.org/0009-0005-0039-9837>

²Odesa I. I. Mechnikov National University,
2 V. Zmiienka Str., 65082 Odesa, Ukraine,
RAIISAGAVR@gmail.com, <http://orcid.org/0009-0002-9129-3293>

The Arctic region has undergone unprecedented climate changes over recent decades, with air temperatures there rising much more significantly than in other parts of the globe. This phenomenon has been termed "Arctic amplification." Alongside other consequences, it has triggered a rapid reduction in ice cover, including within the Northwest Passage, which under modern conditions is set to play an increasingly important role in global shipping. Considering global trends in maritime logistics—evidenced by declining throughput in the Panama Canal (due to significant climate-driven shallowing) and the Red Sea (due to military actions)—the passage emerges as a promising new route that significantly reduces transport distances between North America, Europe, and East Asia. Therefore, issues regarding ice regime dynamics in the Davis Strait and the Labrador Sea, where the route to the Pacific Ocean begins, carry significant importance.

Ice melting stems primarily from meteorological conditions. These include such interrelated quantities as surface wind speed and sea-level atmospheric pressure. Horizontal pressure gradients

determine the parameters of airflows, which in turn can cause heat advection or enhance ice drift, contributing to its fragmentation and the formation of open water. Open water, in turn, absorbs more solar radiation, intensifying local heating and subsequent melting. This work uses statistical analysis as its methodological basis to determine the pronounced dependence between the maximum ice extent in the Davis Strait and the Labrador Sea and these two factors.

In accordance with the set objective, this study identifies correlations between a quasi-stationary time series of ice extent anomalies as of April 15 for the period 1979–2023 (obtained from the authors' previous research) and the monthly mean series of sea-level atmospheric pressure and wind speed at a 10 m height. The calculations were performed incrementally for 10° to 0.5° squares and for specific points in the North Atlantic and its surrounding continental areas, as well as for Greenland, the Canadian Arctic, and a small region of the equatorial Pacific Ocean. Based on the calculation results, the study describes the features of the spatio-temporal distribution of correlation coefficients and identifies regions and points where these coefficients reach extreme values.

The obtained data create a foundation for enabling further prediction of ice extent in the Davis Strait and the Labrador Sea, aiming to prolong the navigation season and enhance maritime safety within the context of modern realities.

Keywords: sea ice cover; Davis Strait; Labrador Sea; Northwest Passage; ice extent; sea-level atmospheric pressure; wind speed

Подання до редакції : 23. 01. 2026

Надходження остаточної версії : 24. 03. 2026

Публікація статті : 25. 05. 2026