

Вплив температури поверхні екваторіальної частини Тихого океану на активність тропічних циклонів

Юсеф Ель Хадрі¹

PhD, ст. викладач кафедри океанології та морського природокористування
¹ Одеського національного університету імені І.І. Мечникова, Одеса, Україна,
e-mail: magribinets@ukr.net, [id http://orcid.org/0000-0003-3690-0927](http://orcid.org/0000-0003-3690-0927);

Микола Берлінський¹

д. геогр. н., професор кафедри океанології та морського природокористування,
e-mail: nberlinsky@ukr.net, [id http://orcid.org/0000-0002-4576-4958](http://orcid.org/0000-0002-4576-4958);

Марія Сліже¹

к. геогр. н., викладач кафедри океанології та морського природокористування,
e-mail: m.o.slizhe@gmail.com, [id http://orcid.org/0000-0002-6398-4188](http://orcid.org/0000-0002-6398-4188);

Катерина Головченко¹

студентка кафедри океанології та морського природокористування,
e-mail: egolovchenko318@gmail.com, [id http://orcid.org/0009-0006-1705-6344](http://orcid.org/0009-0006-1705-6344)

Сьогодні вивчення клімату є одним із найважливіших завдань сучасної науки. Особливу увагу займають питання кліматичних коливань на різних часових масштабах. Ель-Ніньо – Південне коливання (ЕНПК) є ведучим сигналом міжрічної мінливості клімату, який впливає на погоду та клімат на земній кулі. Виявлено, що прояви різних його фаз відзначаються в аномаліях погоди та клімату (аж до екстремальних) не лише над тропічною зоною Тихого океану, а й у позатропічних широтах за допомогою далекодійних зв'язків у системі океан - атмосфера. Численні дослідження показали, що ЕНПК модулює активність тропічних циклонів у північно-західній частині Тихого океану. Метою роботи є визначення взаємозв'язку між аномаліями температури води на поверхні в екваторіальній частині Тихого океану та повторюваності тропічних циклонів різної інтенсивності у північно-західній частині Тихого океану у поточних кліматичних умовах. В роботі використані дані про кількість випадків та інтенсивність тропічних циклонів за період 1991-2020 рр. та ряди індексів ONI та SOI. Аналіз повторюваності ТЦ різної інтенсивності у північно-західній частині Тихого океану у період 1991-2020 рр. показав, що спостерігається зменшення кількості тропічних депресій та тайфунів. В той же час відмічається незначне зростання випадків виникнення тропічних штормів. Результати аналізу впливу мінливості ТПО екваторіальної частини Тихого океану на повторюваність ТЦ, виконані на базі аналізу кореляційних зв'язків між кількістю ТЦ різної інтенсивності та індексами ONI та SOI, показали, що існує статистично значущий зв'язок тільки з повторюваністю тайфунів. Зі встановленням додатних АТПО у центрі екваторіальної частини Тихого океану, асоційованих з епізодом Ель-Ніньо, пов'язане зростання кількості тайфунів у північно-західній частині Тихого океану.

Ключові слова: взаємодія океану та атмосфери, тропічні циклони, Ель-Ніньо, Південне коливання, кліматичні коливання.

Як цитувати: Ель Хадрі Юсеф. Вплив температури поверхні екваторіальної частини тихоого океану на активність тропічних циклонів / Юсеф Ель Хадрі, Микола Берлінський, Марія Сліже, Катерина Головченко // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2024. – Вип. 60. – С. 284-291. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2024-60-20>

In cites: El Hadri Youssef, Berlinsky Mykola, Slizhe Mariia, Holovchenko Kateryna (2024). Influence of the sea surface temperature of equatorial Pacific Ocean on the tropical cyclones activity. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (60), 284-291. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2024-60-20> [in Ukrainian]

Постановка проблеми. Сьогодні вивчення клімату є одним із найважливіших завдань сучасної науки. Особливу увагу займають питання, пов'язані не лише з його зміною, а й питання мінливості та кліматичних коливань на різних часових масштабах, а також впливу цих коливань на погодні умови, небезпечні та стихійні гідрометеорологічні явища. Значну роль у формуванні коливань клімату займають процеси взаємодії у системі океан - атмосфера, які мають складний характер і в результаті прямих і зворотних зв'язків можуть викликати зміни погодних умов, як у окремих регіонах земної кулі, так й на масштабі континентів.

Ель-Ніньо – Південне коливання (ЕНПК) –

це періодичні коливання температури поверхні океану (явище Ель-Ніньо) і атмосферного тиску (Південне коливання) в екваторіальній частині Тихого океану. Південне коливання описує біомодальну зміну барометричного тиску на рівні моря між станціями спостереження в Дарвіні (Австралія) та на Таїті. У звичайних умовах нижчий тиск в Дарвіні та вищий тиск на Таїті сприяє циркуляції повітря зі сходу на захід, що призводить до переміщення теплих поверхневих вод екваторіальної частини Тихого океану на захід. При цьому на північному сході Австралії та в західній частині Тихого океану спостерігається дощова погода. Внаслідок впливу складної динаміки вод в екваторіальній частині океану відбувається

зміна просторового розподілу температури поверхні океану (ТПО). Через теплообмін між океаном та атмосферою виникає зміна горизонтального розподілу температури повітря у приземному шарі, що стає причиною зменшення горизонтальних градієнтів атмосферного тиску та багато в чому збігається з умовами Ель-Ніньо, за якого деякі райони західної частини Тихого океану, такі як Австралія, зазнають сильної посухи [1,2], тоді як біля східних берегів океану сильні опади можуть призвести до повеней на західному узбережжі екваторіальної Південної Америки.

ЕНПК є ведучим сигналом міжрічної мінливості клімату, який впливає на погоду та клімат на земній кулі. Виявлено, що прояви різних фаз ЕНПК відзначаються в аномаліях погоди та клімату (аж до екстремальних) не лише над тропічною зоною Тихого океану, а й у позатропічних широтах за допомогою далекодієвих зв'язків у системі океан - атмосфера [3-9].

Численні дослідження показали, що ЕНПК модулює активність тропічних циклонів [10-11]. Зокрема, ЕНПК впливає на річні коливання активності тропічних циклонів (ТЦ) не тільки у басейні Тихого океану, а й в Атлантиці через атмосферні динамічні фактори, такі як вертикальний зсув вітру та стійкість атмосфери [12].

Сьогодні, також, велику увагу приділено питанню впливу зміни клімату на ЕНПК. Встановлено, що поки що немає чітких доказів впливу зміни клімату на аномалії ТПО в тропічній частині Тихого океану, які пов'язані з ЕНПК, та Південне коливання [13]. Однак у недавньому дослідженні [14], порівняння мінливості ТПО, пов'язаної з ЕНПК, отриманої на основі кліматичного моделювання для періодів 1901-1960 рр. і 1961-2020 рр. показало, що більше трьох чвертей кліматичних моделей дають збільшення амплітуди мінливості ТПО, пов'язаної з ЕНПК, після 1960 р., що призводить до більш частішої появи епізодів Ель-Ніньо і Ла-Нінья, які характеризуються сильною інтенсивністю.

Формулювання мети статті. Метою роботи є визначення взаємозв'язку між аномаліями температури води на поверхні в екваторіальній частині Тихого океану та повторюваності тропічних циклонів різної інтенсивності у північно-західній частині Тихого океану у поточних кліматичних умовах.

Для досягнення мети роботи було виконано наступні задачі:

1. Отримати ряди щорічної кількості випадків ТЦ різної інтенсивності у північно-західній частині Тихого океану та проаналізувати міжрічні зміни їх повторюваності у період 1991-2020 рр.

2. Проаналізувати зв'язок між повторюваністю ТЦ та зміною ТПО у центральній частині

Тихого океану на основі розрахунків коефіцієнтів кореляції Пірсона між рядами кількості ТЦ різної інтенсивності та рядами океанічного індексу Ніньо та індексу південного коливання.

3. Виконати перевірку коефіцієнтів кореляції на статистичну значущість.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Моніторинг явища Ель-Ніньо – Південного коливання виконується на основі індексу південного коливання та океанічного індексу Ніньо.

Індекс південного коливання (Southern Oscillation Index, SOI) – це стандартизований індекс, заснований на різниці атмосферного тиску на рівні моря, яка спостерігається між станціями Таїті та Дарвін (Австралія). SOI є одним із показників великомасштабних коливань тиску повітря, що відбуваються між західною та східною тропічною частиною Тихого океану (тобто фаз Південного коливання) під час епізодів Ель-Ніньо та Ла-Нінья. Загалом згладжені часові ряди SOI дуже добре відповідають змінам ТПО в східній тропічній частині Тихого океану. Негативною фазою Південного коливання прийняті умови, коли атмосферний тиск на станції Таїті нижче кліматичної норми, а на станції Дарвін вище норми. Тривалі періоди від'ємних (додатних) значень SOI збігаються з аномально теплими (холодними) водами на поверхні океану в східній тропічній частині Тихого океану, типовими для епізодів Ель-Ніньо (Ла-Нінья).

Для моніторингу ЕНПК, екваторіальна частина Тихого океану була поділена на 4 географічні регіони, в яких визначаються умови ЕНПК, насамперед аномалії температури поверхні океану (АТПО) (рис. 1). Аномалії ТПО в регіоні Ніньо 3,4 (що включає частини регіонів Ніньо 3 і Ніньо 4, від 170° до 120° з.д.), рівні або які перевищують +0,5 °С, вказують на теплу фазу ЕНПК (епізод Ель-Ніньо). Якщо АТПО нижчі або рівні -0,5 °С, умови асоціюють з прохолодною фазою Південного коливання (епізод Ла-Нінья). Аномалії ТПО в регіоні Ніньо 3,4 осереднюють за три місяці, які закінчуються поточним місяцем, отримане значення називається океанічним *індексом Ніньо (Oceanic Niño Index, ONI)*. Якщо величина ONI демонструє умови теплої чи прохолодної фази протягом щонайменше п'яти послідовних значень, то офіційно оголошується про встановлення явища Ель-Ніньо чи Ла-Нінья.

Регіоном, що найчастіше використовується для моніторингу Ель-Ніньо є регіон Ніньо 3,4, а найбільш використовуваним критерієм встановлення явища є додатна АТПО, яка перевищує або дорівнює +0,5 °С. Оскільки цей регіон охоплює західну половину екваторіальної частини Тихого океану, яка характеризується наявністю області знижених значень ТПО, він забезпечує хорошу

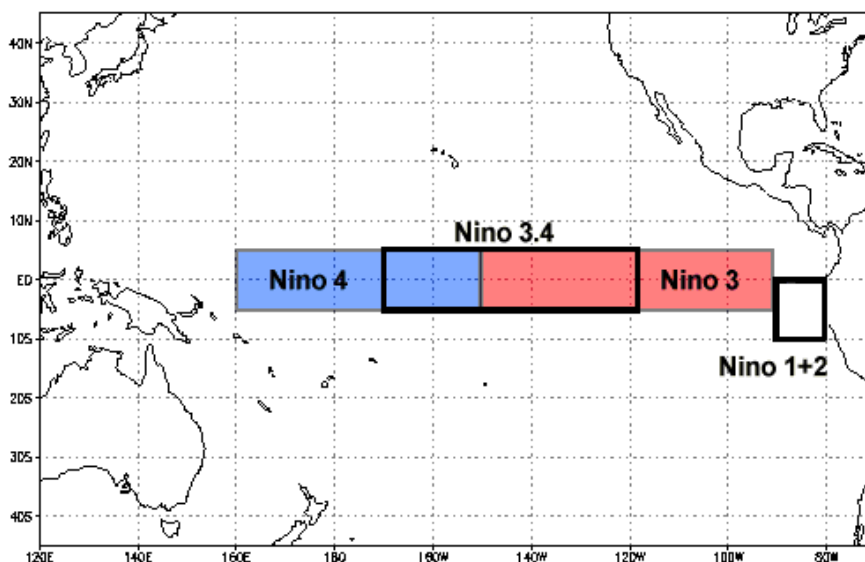


Рис. 1. Схема розташування регіонів Ніньо [15] / Fig. 1. Scheme of the Niño regions location [15]

оцінку змін ТПО, які призводять до зміни характеру глибокої тропічної конвекції та атмосферної циркуляції. Для підтримки стійкої глибокої конвекції в даному регіоні з кінця березня до середини червня, достатньо формування АТПО $+0,5$ °С в районі Ніньо 3,4 в цей період. В останню частину року знадобляться вищі АТПО, до $+1,5$ °С, що формуються в період з листопада по січень.

Інтенсивність події ЕНПК ідентифікується відповідно до пікових значень ONI [16]:

- подія Ель-Ніньо слабкої інтенсивності ($0,5 < ONI < 1,3$ °С);
- подія Ель-Ніньо середньої інтенсивності ($1,3 \leq ONI < 2,0$ °С);
- подія Ель-Ніньо сильної інтенсивності ($2,0 \leq ONI < 2,5$ °С);
- надсильна подія Ель-Ніньо ($ONI \geq 2,5$ °С).

Для SOI характерні значення, що демонструють наявність стійкого явища Ель-Ніньо чи Ла-Нінья, становлять $SOI < -0,7$ та $SOI > 0,7$, відповідно [17].

Активність ТЦ у північно-західній частині Тихого океану корелює із індексом SOI. Так, у дослідженні [18], проведеному для періоду 1978-1982 рр. показано, що в умовах, коли значення SOI досягає мінімуму та встановлюється аномальна циркуляція Волкера, кількість тайфунів у всій північно-західній частині Тихого океану починає знижуватися. Часовий масштаб, на якому Південне коливання впливає на мінливість активності ТЦ становить близько року, тобто приблизно 1/3 періоду Південного коливання, а умови в атмосфері є ще не достатніми для значного зменшення числа тропічних штормів і лише найінтенсивніші системи тайфуни підлягають впливу Південного коливання.

Необхідно відзначити, що донедавна прямий вплив зміни температури океану при ЕНПК на ТЦ не бралось до уваги через очевидну невідповідність як у часі, так і в місцезнаходженні: піки ЕНПК припадають на зиму, а потепління поверхневих вод відбувається в основному вздовж екватора у регіоні де відсутня активність ТЦ.

В роботі [19] на прикладі подій Ель-Ніньо 1972-73, 1982-83 та 1997-98 рр. показано, що тропічний циклогенез у роки початку події Ель-Ніньо розвивається помітно раніше, ніж у роки припинення події. У роки початку Ель-Ніньо кількість днів зі тропічними штормами та тайфунами майже вдвічі більша, ніж у роки закінчення Ель-Ніньо. У дослідженні показано, що фази Південного коливання впливають також на траєкторії ТЦ. У роки початку Ель-Ніньо траєкторії в основному проходять у північному, північно-східному напрямку вздовж течії Куросіо. У роки закінчення Ель-Ніньо більшість траєкторій ТЦ спрямовані на захід-північний захід, внаслідок чого ТЦ виходили на узбережжя Південної Кореї, Китаю та В'єтнаму. Області зародження ТЦ в роки початку Ель-Ніньо охоплюють досить велику площу поверхні (до 170 сх.д.), що обумовлено аномально великою кількістю тепла, накопиченим у верхньому шарі океану до початку фази Ель-Ніньо. У роки припинення Ель-Ніньо тепло верхнього шару океану на заході значно менше як через зменшення перенесення тепла пасатною течією, так і через інтенсивну дію, яку, у свою чергу, надають ТЦ на поверхневий шар океану [20] в попередні роки [21]. Інтенсивність циклогенезу суттєво знижується та має більш виражений сезонний характер. Проаналізовані кореляції SOI та Ель-Ніньо показують, що найбільш тісний зв'язок ($r = -0,66$) існує між роками

початку Ель-Ніньо та усередненими значеннями SOI для липня, серпня та вересня.

Велике значення має вивчення траєкторій ТЦ у зв'язку з руйнівними впливами, які вони надають при виході на густонаселене узбережжя Південно-Східної Азії та островів Малайського архіпелагу. Дослідження впливу Південного коливання на траєкторії ТЦ [22] показало, що більше ТЦ виходить на берег у Південно-Східній Азії в роки Ла-Нінья та нейтральні роки в порівнянні з роками Ель-Ніньо. При цьому зона виходу на берег у роки Ла-Нінья широко поширена у всіх субрегіонах. У роки Ель-Ніньо зона ви-

ходу ТЦ зміщується далі на північ і поширюється на захід на материкову частину Азії відповідно до розподілу домінуючого потоку атмосферної циркуляції.

Матеріали та методи дослідження. Інформація про кількість випадків та інтенсивність ТЦ в період 1991-2020 рр. у північно-західній частині Тихого океану була отримана з щорічного звіту про тропічні цикли, розміщеного на сайті Метеорологічного та океанологічного командування ВМС США [23]. За цими даними була розрахована статистика про повторюваність ТЦ у районі дослідження (рис. 2).

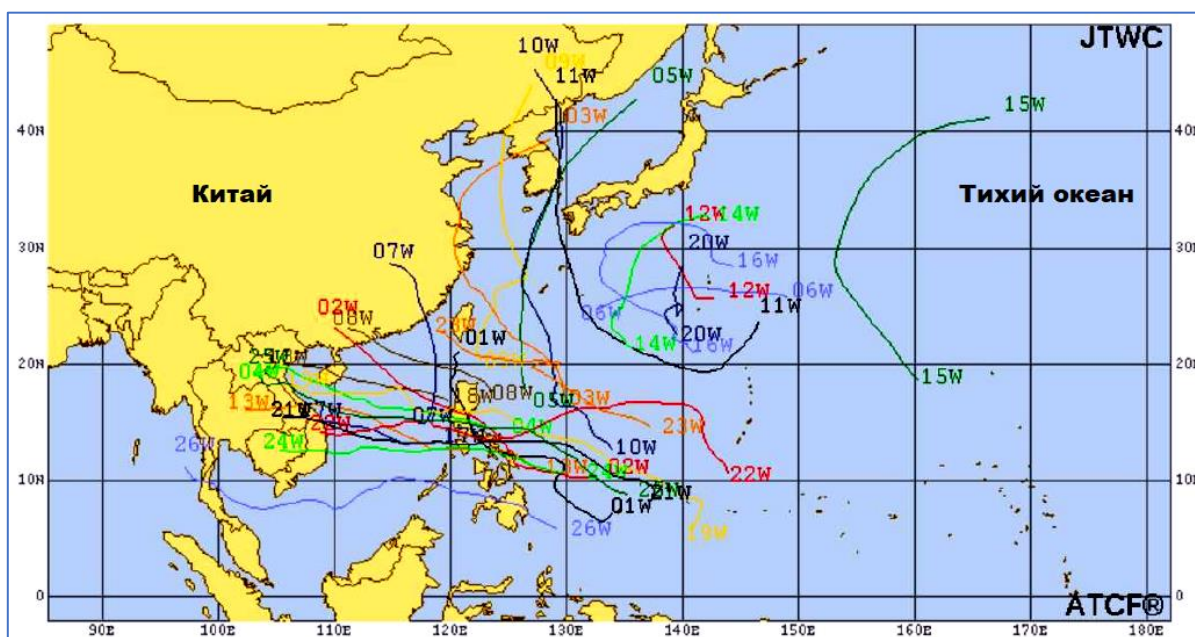


Рис. 2. Регіон дослідження, для якого було виконано аналіз статистики ТЦ.
Кольоровими лініями показані траєкторії ТЦ у 2020 р. [23] /
Fig. 2. The study region for which the analysis of tropical cyclones statistics was performed.
The tropical cyclones trajectories in 2020 are shown by colored lines [23]

В аналізі були використані наступні критерії інтенсивності ТЦ [24]:

Тропічна депресія (TD): тропічний циклони із максимальною тривалою швидкістю вітру 33 вузла (15,4 м/с) або менше.

Тропічний шторм (TS): тропічний циклони із максимальною швидкістю вітру від 34 до 63 вузлів (17,5-32,4 м/с).

Ураган (TU): тропічний циклони із максимальною тривалою швидкістю вітру 64 вузла (32,9 м/с) або вище. У західній частині північної частини Тихого океану урагани називають тайфунами; подібні шторми в Індійському океані та південній частині Тихого океану називаються циклонами.

Великий ураган: тропічний циклони з максимальною тривалою швидкістю вітру 96 вузлів (49,4 м/с) або вище, що відповідає категорії 3, 4 або 5 за шкалою ураганів Саффіра-Сімсона.

Для аналізу розподілу температури води на поверхні екваторіальної частини Тихого океану були використані ряди ONI, які були отримані з сайту Національних центрів екологічної інформації США [15]. В роботі аналізувалися ряди індексу ONI для регіону Ніньо 3,4 (рис. 1) та індексу SOI за період 1991-2020 рр. Аналіз взаємозв'язку між кількістю ТЦ та індексами ONI та SOI було виконано на базі розрахованих коефіцієнтів кореляції Пірсона.

Результати дослідження. Повторюваність ТЦ у північно-західній частині Тихого океану у 1991-2020 рр. Аналіз міжрічного ходу кількості ТЦ у районі дослідження у період 1991-2020 рр. (рис. 3) показав, що середня кількість утворень всіх класів інтенсивності складала 30,8 випадків, мінімальна – 19 випадків, максимальна – 44 випадки.

Найменше відмічалися тропічні депресії. Їх

середня кількість за досліджуваний період складала 5,2 випадків. При чому у 2008 р. не було зафіксовано жодного випадку *TD*, у 2005 і 2019 рр. по 1 випадку на рік. Максимальна кількість *TD* складала 11 випадків на рік, які відмічалися у 1992 і 1996 рр., також зафіксовані часті їх появи в 1998 і 1999 рр. (10 випадків на рік).

Тропічні шторми спостерігалися частіше, їх середня за рік кількість досягала 9,9 випадків. Найменше *TS* були зафіксовані у 2003, 2005 і 2010 рр., коли їх кількість складала 6 випадків на рік. Найчастіше *TS* відмічалися у 2018 р. (16 випадків на рік), також зафіксовано їх збільшене число в 1994 р. і 2008 р. (15 випадків на рік).

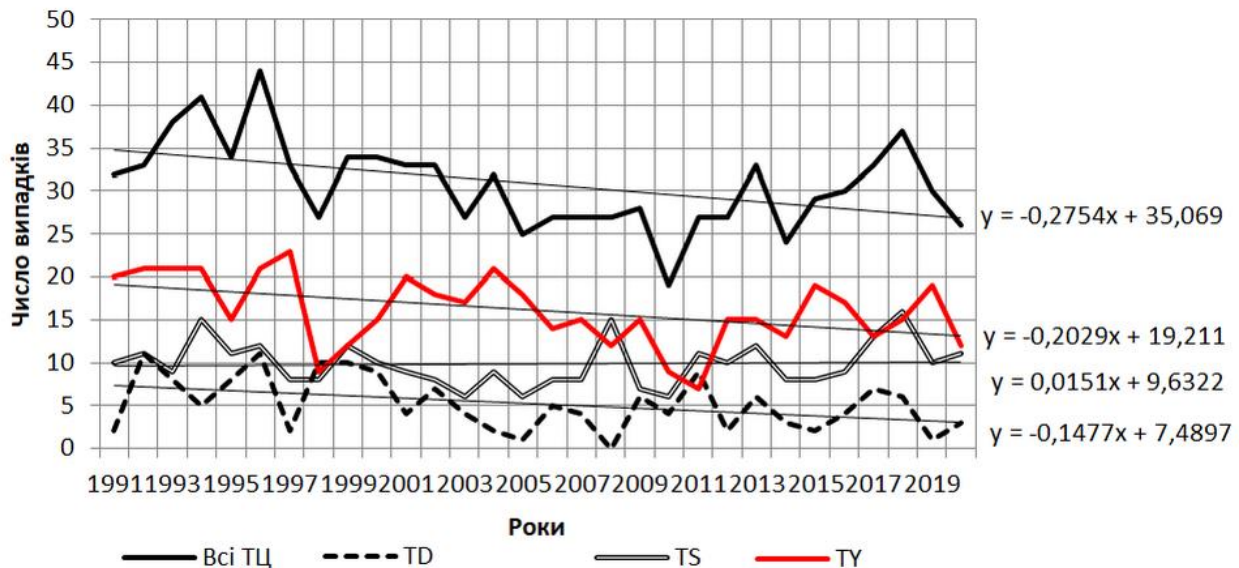


Рис. 3. Повторюваність тропічних циклонів у 1991-2021 рр.
(праворуч винесені рівняння лінійної регресії для відповідних рядів) /
Fig. 3. Repeatability of tropical cyclones in 1991-2021
(linear regression equations for the corresponding series are shown on the right)

Що стосується тайфунів то їх середня кількість дорівнювала 16,1 випадків на рік. Мінімальна зафіксована кількість складала 7 випадків у 2011 р., також можна відзначити 1998 та 2010 роки, які характеризувалися невеликою повторюваністю *TU* – 9 випадків на рік. Максимальне число *TU* складала 23 випадків у 1997 р., також зафіксовані часті їх появи в 1992, 1993, 1994, 1996 і 2004 роках (по 21 випадку на рік).

Таким чином, можна зробити висновок, що загалом ТЦ мали більшу повторюваність у період 1992-1999 рр. Як видно з рівнянь лінійної регресії, розрахованих для рядів ТЦ різної інтенсивності, тільки у випадку тропічних штормів відзначається незначне зростання 0,015 випадків за рік (0,45 випадків за 30 років). Для тропічних депресій та тайфунів спостерігається зменшення повторюваності -0,14 та -0,20 випадків на рік, відповідно, що дорівнює -4,43 та -6,09 випадків за 30 років, відповідно.

Взаємозв'язок повторюваності ТЦ з індексами ONI та SOI. Для оцінки впливу ЕНПК на повторюваність ТЦ були розраховані коефіцієнти кореляції між числом випадків різної інтенсивності та індексами ONI та SOI (табл. 1).

Значення табличного критерію Стьюдента на рівні значущості $\alpha=0,05$ дорівнює 2,05, це

означає, що в нашому випадку статистично значущим є зв'язок тільки між кількістю тайфунів та індексами ONI та SOI.

Між випадками тайфунів та індексом ONI існує пряма залежність, тобто при зростанні величини індексу відмічається зростання числа тайфунів. Величина коефіцієнту кореляції дорівнює 0,67, що свідчить про наявність помірного лінійного зв'язку.

Аналіз величини коефіцієнту кореляції між числом випадків ТЦ та індексом SOI показав, що високий кореляційний зв'язок існує тільки з тайфунами. Коефіцієнт кореляції дорівнює -0,74. Причому зв'язок між кількістю тайфунів та індексом SOI має зворотний характер. Це означає, що при додатних значеннях SOI при яких спостерігається явище Ла-Нінья відбувається зниження числа тайфунів в південно-західній частині Тихого океану, та навпаки при від'ємних значеннях SOI в фазу Ель-Ніньо спостерігалось зростання числа випадків тайфунів.

Висновки. Аналіз повторюваності ТЦ різної інтенсивності у північно-західній частині Тихого океану у період 1991-2020 рр. показав, що спостерігається зменшення кількості тропічних депресій та тайфунів. В той же час відмічається незначне зростання випадків виникнення тропі-

Таблиця 1 / Table 1

Коефіцієнти кореляції (r_{xy}) між індексами ONI та SOI і кількістю випадків ТЦ різної інтенсивності в північно-західній частині Тихого океану у 1991-2020 рр., а також значення критерію Стьюдента (t) / Correlation coefficients (r_{xy}) between the ONI and SOI and the number of TC cases of various intensities in the Western North Pacific in 1991-2020, as well as the value of the Student's test (t)

ONI				
	Загальна кількість ТЦ	Тропічна депресія (TD)	Тропічний шторм (TS)	Тайфун (TY)
r_{xy}	0,16	-0,35	-0,23	0,67
t	0,82	1,80	1,18	3,51
SOI				
r_{xy}	-0,22	0,23	0,23	-0,74
t	1,16	1,19	1,22	3,82

чних штормів.

Результати аналізу впливу мінливості ТПО екваторіальної частини Тихого океану на повторюваність ТЦ, виконані на базі аналізу кореляційних зв'язків між кількістю ТЦ різної інтенсивності та індексами ONI та SOI, показали, що існує статистично значущий зв'язок тільки з повторюваністю тайфунів. Зі встановленням додатних АТПО у центрі екваторіальної частини Тихо-

го океану, асоційованих з епізодом Ель-Ніньо, пов'язане зростання кількості тайфунів у північно-західній частині Тихого океану.

Також необхідно відзначити, що потребує подальшого вивчення питання, який вплив надає інтенсифікація прояви ЕНПК, викликана зміною клімату, на повторюваність, інтенсивність та траєкторії ТЦ у північно-західній частині Тихого океану.

Список використаної літератури

1. Chiew F.H.S., Piechota T.C., Dracup J.A., McMahon T.A. El Nino/Southern Oscillation and Australian rainfall, streamflow and drought: Links and potential for forecasting // *Journal of Hydrology*. – 1998. – Vol. 204 (1-4). – P. 138-149. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(97\)00121-2](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(97)00121-2)
2. Huang A.T., Gillett Z.E., Taschetto A.S. Australian Rainfall Increases During Multi-Year La Niña // *Geophysical Research Letters*. – 2024. – Vol. 51(9). – e2023GL106939. <https://doi.org/10.1029/2023GL106939>
3. Wang Z., Chang C., Wang B. Impacts of El Niño and La Niña on the U.S. Climate during Northern Summer // *J. Climate*. – 2007. – Vol. 20. – P. 2165-2177. <https://doi.org/10.1175/JCLI4118.1>
4. Hafez Y. Study on the Relationship between the Oceanic Nino Index and Surface Air Temperature and Precipitation Rate over the Kingdom of Saudi Arabia // *Journal of Geoscience and Environment Protection*. – 2016. – Vol. 4. – P. 146-162. <https://doi.org/10.4236/gep.2016.45015>
5. Rouault M., Dieppois B., Tim N., Hünicke B., Zorita E. Southern Africa Climate Over the Recent Decades: Description, Variability and Trends / In: *Sustainability of Southern African Ecosystems under Global Change (Ecological Studies, vol. 248)* / G. P. von Maltitz et al. (eds.). Cham: Springer, 2024. – P. 149-168. https://doi.org/10.1007/978-3-031-10948-5_6
6. Brönnimann S. Impact of El Niño–Southern Oscillation on European climate // *Reviews of Geophysics*. – 2007. – Vol. 45(3). – RG3003, <https://doi:10.1029/2006RG000199>
7. Rohli R.V., Snedden G.A., Martin E.R., DeLong K.L. Impacts of ocean-atmosphere teleconnection patterns on the south-central United States // *Front. Earth Sci.* – 2022. – Vol. 10. – 934654. <https://doi:10.3389/feart.2022.934654>
8. Arpe K., Bengtsson L., Golitsyn G.S., Mokhov I.I., Semenov V.A., Sporyshev P.V. Connection between Caspian Sea level variability and ENSO // *Geophys. Res. Lett.* – 2000. – Vol. 27. – P. 2693-2696. <https://doi.org/10.1029/1999GL002374>
9. Shang-Ping Xie. Tropical Atlantic variability. In: *Coupled Atmosphere-Ocean Dynamics*. Elsevier, 2024. P. 251-276. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95490-7.00010-2>
10. Ford B.W. El Nino and La Nina effects on tropical cyclones: The mechanisms: Master's work / Monterey, South Carolina: Naval postgraduate school Monterey, 2000. – 201 p. <https://core.ac.uk/download/pdf/36701239.pdf>
11. Hastenrath S. Tropical meteorology and climate: Tropical Climates / In: *Encyclopedia of Atmospheric Sciences (Second Edition)* (Eds): Gerald R. North, John Pyle, Fuqing Zhang. Academic Press, 2015. – P. 170-176. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382225-3.00416-3>
12. Jin F.-F., Boucharel J., Lin I.I. Eastern Pacific tropical cyclones intensified by El Niño delivery of subsurface ocean heat // *Nature*. – 2014. – Vol. 516. – P. 82-85. <https://doi.org/10.1038/nature13958>
13. Power S.B., Kociuba G. The impact of global warming on the Southern Oscillation Index // *Clim. Dyn.* – 2011. – Vol. 37. – P. 1745-1754. <https://doi.org/10.1007/s00382-010-0951-7>
14. Cai W., Ng B., Geng T. et al. Anthropogenic impacts on twentieth-century ENSO variability changes // *Nat. Rev. Earth Environ.* – 2023. – Vol. 4. – P. 407-418. <https://doi.org/10.1038/s43017-023-00427-8>
15. NCEI/NOAA. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/enso/sst>
16. Ren H.-L., Lu B., Wan J. H. et al. Identification Standard for ENSO Events and Its Application to Climate Monitoring and Prediction in China // *J. Meteor. Res.* – 2018. – Vol. 32(6). – P. 923-936. <https://doi.org/10.1007/s13351-018-8078-6>

17. Australian government. Bureau of Meteorology. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.bom.gov.au/climate/glossary/soi.shtml>
18. Chan J.C.L. Tropical cyclone activity in the northwest Pacific in relation to the El-Niño Southern Oscillation phenomenon // *Mon. Wea. Rev.* – 1985. – Vol. 113. – P. 599-606. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1985\)113<0599:TCAITN>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1985)113<0599:TCAITN>2.0.CO;2)
19. Pudov V.D., Petrichenko S.A. The El Niño and Tropical Cyclogenesis in the North-West Pacific // *Investig. Mar.* – 2002. – Vol. 30, no. 1 – P. 90-91. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-71782002030100009>
20. Ель Хадрі Ю., Берлінський М.А., Сліже М.О., Дерик О.В. Формування аномалій температури поверхні Мексиканської затоки під впливом урагану Саллі 11-17 вересня 2020 року // *Вісник ОНУ. Сер.: Географічні та геологічні науки.* – 2023. – Т. 28, вип. 1(42). – С. 26-38. [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2023.1\(42\).282234](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2023.1(42).282234)
21. Wang Q., Li J., Jin F.F. et al. Tropical cyclones act to intensify El Niño // *Nat. Commun.* – 2019. – Vol. 10, – P. 3793. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-11720-w>
22. Tran T.L., Ritchie E.A., Perkins-Kirkpatrick S.E. A 50-year tropical cyclone exposure climatology in Southeast Asia // *Journal of Geophysical Research: Atmospheres.* – 2022. – Vol. 127. – e2021JD036301. <https://doi.org/10.1029/2021JD036301>
23. Francis A.S., Strahl B.R. Joint typhoon Warning center annual tropical cyclone report 2020. JTWC Tech. Rep., 2022. 146 p. <https://www.metoc.navy.mil/jtwc/products/atcr/2020atcr.pdf>
24. Tropical Cyclone Climatology. National Hurricane Center. NOAA/NCEP. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.nhc.noaa.gov/climo/?text>

Внесок авторів: Ю. Ель Хадрі – розрахунки та їх аналіз, М. Берлінський – формулювання мети роботи та висновків, М. Сліже – аналіз попередніх досліджень, К. Головченко – підготовка малюнків.

Конфлікт інтересів: автори повідомляють про відсутність конфлікту інтересів.

Influence of the sea surface temperature of equatorial Pacific Ocean on the tropical cyclones activity

*Youssef El Hadri*¹

PhD, Senior Lecturer of Oceanology and Marine Management Department,
¹ Odesa I.I. Mechnikov National University, Odessa, Ukraine;

*Mykola Berlinskyi*¹

DSc (Geography), Professor of Oceanology and Marine Management Department;

*Mariia Slizhe*¹

PhD (Geography), Lecturer of Oceanology and Marine Management Department;

*Kateryna Holovchenko*¹

Student of Oceanology and Marine Management Department

ABSTRACT

Introduction. Today, the study of climate is one of the most important tasks of modern science. Particular attention is paid to issues of climate variability on different time scales. The El Niño – Southern Oscillation (ENSO) is the leading signal of interannual climate variability that influences the weather and climate of the globe. It has been revealed that during the onset of its different phases, weather and climate anomalies (up to extreme ones) are observed not only over the tropical zone of the Pacific Ocean, but also in extratropical latitudes, which are transmitted through teleconnections in the ocean-atmosphere system. Numerous studies have shown that ENSO modulates tropical cyclone activity in the northwest Pacific Ocean.

The purpose of the study is to determine the relationship between sea surface temperature (SST) changes in the equatorial Pacific Ocean and the frequency of tropical cyclones of varying intensity in the northwestern Pacific Ocean under current climatic conditions.

Materials and methods of research. The work uses data of the number of cases and intensity of tropical cyclones (TCs) for the period 1991-2020, and series of indices ONI and SOI. Using these data, statistics on the frequency of TCs in the study area were calculated and Pearson correlation coefficients were calculated.

The scientific novelty lies in obtaining quantitative characteristics of the relationship between SST and the number of TCs of varying intensity in modern climatic conditions.

The practical significance of the work lies in the fact that TCs are associated with the occurrence of severe weather conditions, which, when a TC reaches the densely populated coast of Southeast Asia, can pretend to be significant losses. Therefore, information that can be used in forecasting TCs and their trajectories is very high importance.

Research results. Analysis of the frequency of TCs of different intensity in the northwestern Pacific Ocean during the 1991-2020 showed that there was a decrease in the number of tropical depressions and typhoons. However, there has been a slight increase in the occurrence of tropical storms. The results of the analysis of the influence of SST variability in the equatorial Pacific Ocean on the frequency of TCs, showed that there is a statistically significant relationship only with the frequency of typhoons. The establishment of positive SST in the center of the equatorial Pacific Ocean, associated with the El Niño episode, is associated with an increase in typhoons in the northwestern Pacific Ocean.

Keywords: ocean-atmosphere interaction, tropical cyclones, El Niño, Southern Oscillation, climate variability.

References

- Chiew, F.H.S., Piechota, T.C., Dracup, J.A., McMahon, T.A. (1998). El Nino/Southern Oscillation and Australian rainfall, streamflow and drought: Links and potential for forecasting. *Journal of Hydrology*, 204(1-4), 138-149. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(97\)00121-2](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(97)00121-2)
- Huang, A.T., Gillett, Z.E. & Taschetto, A.S. (2024). Australian Rainfall Increases During Multi-Year La Niña. *Geophysical Research Letters*, 51(9), e2023GL106939. <https://doi.org/10.1029/2023GL106939>
- Wang Z., Chang C. & Wang B. (2007). Impacts of El Niño and La Niña on the U.S. Climate during Northern Summer. *J. Climate*, 20, 2165-2177. <https://doi.org/10.1175/JCLI4118.1>.
- Hafez, Y. (2016). Study on the Relationship between the Oceanic Nino Index and Surface Air Temperature and Precipitation Rate over the Kingdom of Saudi Arabia. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 4, 146-162. <https://doi.org/10.4236/gep.2016.45015>
- Rouault, M., Dieppois, B., Tim, N., Hünicke, B. & Zorita, E. (2024). Southern Africa Climate Over the Recent Decades: Description, Variability and Trends. In: *Sustainability of Southern African Ecosystems under Global Change (Ecological Studies, vol 248)*. Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-10948-5_6
- Brönnimann, S. (2007). Impact of El Niño–Southern Oscillation on European climate. *Reviews of Geophysics*, 45(3), RG3003. <https://doi.org/10.1029/2006RG000199>
- Rohli, R.V., Snedden, G.A., Martin, E.R. & DeLong, K.L. (2022). Impacts of ocean-atmosphere teleconnection patterns on the south-central United States. *Front. Earth Sci.*, 10, 934654. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.934654>
- Arpe K., Bengtsson L., Golitsyn G.S., Mokhov I.I. & Semenov V.A., Sporyshev P.V. (2000). Connection between Caspian Sea level variability and ENSO. *Geophys. Res. Lett.*, 27, 2693-2696. <https://doi.org/10.1029/1999GL002374>
- Shang-Ping Xie. (2024). Tropical Atlantic variability. In: *Coupled Atmosphere-Ocean Dynamics*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95490-7.00010-2>
- Ford, B.W. (2000). El Nino and La Nina effects on tropical cyclones: The mechanisms. Monterey, South Carolina : Naval postgraduate school Monterey <https://core.ac.uk/download/pdf/36701239.pdf>
- Hastenrath, S. (2015). Tropical meteorology and climate: Tropical Climates. In: *Encyclopedia of Atmospheric Sciences (Second Edition)*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382225-3.00416-3>
- Jin, F.-F., Boucharel, J. & Lin, I.I. (2014). Eastern Pacific tropical cyclones intensified by El Niño delivery of sub-surface ocean heat. *Nature*, 516, 82-85. <https://doi.org/10.1038/nature13958>
- Power, S.B. & Kociuba, G. (2011). The impact of global warming on the Southern Oscillation Index. *Clim. Dyn.*, 37, 1745-1754. <https://doi.org/10.1007/s00382-010-0951-7>
- Cai, W., Ng, B., Geng, T. et al. (2023). Anthropogenic impacts on twentieth-century ENSO variability changes. *Nat Rev Earth Environ*, 4, 407-418. <https://doi.org/10.1038/s43017-023-00427-8>
- NCEI/NOAA. (2024). Available at: <https://www.nci.noaa.gov/access/monitoring/enso/sst> (accessed 12.03.2024)
- Ren, H.-L., Lu, B., Wan, J.H., et al. (2018). Identification Standard for ENSO Events and Its Application to Climate Monitoring and Prediction in China. *J. Meteor. Res.*, 32(6), 923-936 <https://doi.org/10.1007/s13351-018-8078-6>
- Australian government. Bureau of Meteorology. (2024). Available at: <http://www.bom.gov.au/climate/glossary/soi.shtml> (accessed 17.05.2024)
- Chan, J.C.L. (1985). Tropical cyclone activity in the northwest Pacific in relation to the El-Nino Southern Oscillation phenomenon. *Mon. Wea. Rev.*, 113, 599-606. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1985\)113<0599:TCAITN>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1985)113<0599:TCAITN>2.0.CO;2)
- Pudov, V.D. & Petrichenko, S.A. (2002). The El Niño and Tropical Cyclogenesis in the North-West Pacific. *Investig. Mar.*, 30(1), 90-91. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-71782002030100009>
- El Hadri, Y., Berlinskyi, M.A., Slizhe, M.O., & Deryk, O.V. (2023). Formation of surface temperature anomalies in the Gulf of Mexico under the influence of Hurricane Sally on September 11-17, 2020. *ONU Bulletin. Ser.: Geographical and geological sciences*, 28, 1(42), 26-38. [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2023.1\(42\).282234](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2023.1(42).282234) [in Ukrainian]
- Wang, Q., Li, J., Jin, FF. et al. (2019). Tropical cyclones act to intensify El Niño. *Nat Commun*, 10, 3793. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-11720-w>
- Tran, T.L., Ritchie, E.A., & Perkins-Kirkpatrick, S.E. (2022). A 50-year tropical cyclone exposure climatology in Southeast Asia. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 127, e2021JD036301. <https://doi.org/10.1029/2021JD036301>
- Francis, A.S. & Strahl, B.R. (2022). Joint typhoon Warning center annual tropical cyclone report 2020. JTWC Tech. Rep. <https://www.metoc.navy.mil/jtwc/products/atcr/2020atcr.pdf>
- Tropical Cyclone Climatology. National Hurricane Center. NOAA/NCEP. Available at: <https://www.nhc.noaa.gov/climo/?text> (accessed 06.07.2024)

Authors Contribution: Y. El Hadri – calculations and their analysis,
M. Berlinskyi – formulation of the purpose of the work and conclusions,
M. Slizhe – analysis of previous studies, K. Holovchenko –drawings preparation
Conflict of Interest: The authors declare no conflict of interest

Received 1 March 2024

Accepted 3 April 2024