

© *Томчаковський Г.Г., Капочкіна М.Б.*

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИЧИН МУСОННОГО ВІТРУ НАД ІНДООКЕАНСЬКОЮ АНОМАЛІЄЮ СИЛИ ТЯЖІННЯ

Тропічна зона Світового океану характеризується практичною відсутністю просторово часових змін інсоляції і, відповідно, відсутністю сезонів, відсутністю баричних градієнтів, а значить, геострофічних вітрів, що створює сприятливі для судноплавства погодно-кліматичні умови. Виключенням є акваторія північної частини Індійського океану з мусонним кліматом, де щороку формується літній сезон з потужними вітрами і хвилями та зливами. Забезпечення безпеки мореплавства в регіонах з мусонним типом клімату вимагає визначення причин мусонних вітрів для подальшої розробки чисельних прогнозів несприятливих погодних умов. Проаналізовано причини щорічного припинення пасатної циркуляції у Індоеокеанському регіоні. На чисельному рівні перевірена гіпотеза впливу на мусонний клімат Індоеокеанського регіону позитивної аномалії прискорення вільного падіння, що виникає у червні-серпні за умов збільшення кутової швидкості обертання Землі навколо своєї осі.

Ключові слова: безпека судноплавства, навігаційна гідрометеорологія, мусонний клімат, гравіметрія, ротаційний ефект, фізико-статистичне моделювання.

Вступ. Тропічна зона Світового океану характеризується практичною відсутністю просторово часових змін інсоляції, тобто, відсутністю сезонів, відсутністю баричних градієнтів і, відповідно, геострофічних вітрів, що створює сприятливі для судноплавства погодно-кліматичні умови. Виключенням є акваторія північної частини Індійського океану з мусонним кліматом, де щороку формується літній сезон з потужними вітрами, хвилями, зливами.

У тропічній зоні Світового океану існує небезпека тропічних циклонів. Виключенням є, знову ж таки, акваторія північної частини Індійського океану, де з червня до вересня, незважаючи на екстремально високу температуру морської поверхні, тропічні циклони не генеруються. Причиною цієї «приємної» для судноплавства аномалії вважаються мусонні вітри, що формують вертикальний зсув швидкості вітру, який не сприяє утворенню вихрових депресій, як початкової фази тропічного циклону [1].

Забезпечення безпеки мореплавства в регіонах з мусонним типом клімату вимагає визначення причин мусонних вітрів, тобто, розуміння фізичної суті цього явища для подальшої розробки чисельних прогнозів несприятливих погодних умов.

Стан вивченості проблеми. Протягом тривалого часу існують термічна [2-5], динамічна гіпотези [6] мусонної циркуляції, але жодна з зазначених гіпотез самостійно не може обґрунтувати природу мусонних вітрів. В монографії [7] узагальнено сучасні уявлення про тропічний мусон Індійського регіону.

Окремо розвивається нова гіпотеза формування мусонів під впливом просторово-часової мінливості гравітаційного поля Землі. Стартовим науковим дослідженням у цьому напрямі слід вважати публікацію [8], в якій вперше теоретично обґрунтовано можливість формування вертикальних рухів повітря в атмосфері під впливом зміни прискорення вільного падіння (Δg). Назва публікації “Про реакцію атмосфери на локальні зміни густини мантії Землі” повною мірою збігається із темою нашого дослідження. Цитована наукова робота [8] підвела необхідний науковий фундамент під відкриття раніше невідомого природного явища (відкриття у СРСР диплом № 273), однин із авторів Бороздич Є.В., який написав роботу під назвою “Вплив короткоживучих підкоркових локальних збурень на літо -, гідро- та атмосферу” [9]. Як розвиток цього наукового напрямку нами було розроблено монографію [10] (ухвалена

Бороздичем С. В., особисто). Далі були опубліковані результати наукових досліджень про вплив варіацій гравітаційного поля Землі на атмосферні процеси [11-18]. У цьому науковому напрямі було також розроблено та запатентовано технічні рішення, одне з яких “Спосіб виявлення змін гравітаційного поля Землі” [19]. В роботі [20] досліджено глобальну мусонну циркуляцію. Доведено, що синхронно з мусонами Північна півкуля в лютому стискається, а в серпні розтягується [21], що генерує обмін мас між півкулями $1 \pm 0,2 \cdot 10^{16}$ кг.

Безпосередньо впливу гравітаційного чинника формування мусонних вітрів присвячені публікації [22-24]. В публікації [24] нами розглянуто екстремальну негативну аномалію форми геоїду Індійського океану, як одну з причин формування мусонного типу атмосферної циркуляції у Індоокеанському регіоні. В роботах [10,23,24] виконано узагальнення результатів досліджень багатьох авторів про вплив змін гравітаційного поля у просторі та часі на атмосферну циркуляцію.

У роботі [25] для отримання оцінки часової мінливості форми геоїду та сили тяжіння, яка тотожна зміні Δg , у Аравійському морі, були використані дані AVISO+ - супутникової альтиметрії [26] та GRACE - супутникової гравіметрії [27]. Для перевірки твердження стосовно впливу просторово-часових змін гравітації на динаміку рухомих оболонок Землі (на просторово-часові зміни рівня моря) в кліматичній зоні мусонів Індійського океану були використані дані зазначених сайтів (AVISO+ і GRACE). За результатами осереднених за місяць вимірювань рівня моря та Δg побудовані відповідні часові ряди довжиною 15 років. Критерієм порівняльного аналізу даних супутникової альтиметрії та гравіметрії обрано кореляційний та взаємний спектральний аналіз.

Були виконані відповідні розрахунки (оцінка коефіцієнту кореляції склала $R=0,73$), встановлено наявність періодичної складової у мінливості форми геоїду та Δg . За даними розрахунку (AVISO+ і GRACE у Аравійському морі) амплітудних спектрів виділяється періодична складова - період 1 рік. В результаті виконаних досліджень вперше зафіксовано високий рівень когерентності (0,96) річних гармонік змін гравітаційного поля і змін форми геоїду в районі найбільшої аномалії Δg , де щорічно виникають найпотужніші мусони. Встановлено також наявність прямо пропорційної залежності між змінами сили тяжіння та рівня океану в районі Аравійського моря. Визначено, що гравітаційне поле і форма геоїду змінюються у часі виключно з річними циклами. І останнє, встановлено, що так звані, «сезонні» зміни зазначених полів когерентні, але мають незначний зсув за фазою. Таким чином, на кількісному рівні вперше було підтверджено, що у районі Індоокеанської гравітаційної аномалії з мусонним типом клімату рідка (рухома) оболонка Землі коливається синхронізовано зі змінами Δg .

В продовження досліджень, опублікованих у роботі [25], нами проведено порівняння даних AVISO+ і Gracе біля західного берега Індії (провінція Гоа) і визначено, що зміни рівня моря відбуваються з запізненням у відношенні до змін гравітаційного поля. З застосуванням кореляційного аналізу була перевірена гіпотеза стосовно того, що у зазначеному регіоні зміни гравітаційного поля (дані GRACE) є причиною, а зміни форми геоїду (дані AVISO+) наслідком у ланці змін погодних умов, що щорічно відбуваються у червні-серпні.

У таблиці 1 наведені результати визначення чисельної оцінки регіонального масштабу запізнення реакції океану на зміни гравітаційного поля.

Таблиця 1. - Результати визначення чисельної оцінки регіонального масштабу запізнення реакції океану на зміни гравітаційного поля.

Зсув даних	Коефіцієнт кореляції GRACE - AVISO	Граденти з Gracе є причиною, а граденти з AVISO – наслідком
0 місяць	-0,3	-0,29
1 місяць	-0.67	-0,04
2 місяць	-0.82	-0.31
3 місяць	-0.67	-0.46
4 місяць	-0.27	-0.49
5 місяць	-	-0.47
6 місяць	-	-0.40

В результаті виконаних розрахунків було визначено, що реакція океану на зміни гравітаційного поля відбувається з запізненням на 1-2 місяці, а реакція нахилу морської поверхні на зміну просторових тенденцій гравітаційного поля відбувається з запізненням на 3-4 місяці.

На рисунку 1 наведена карта-схема гравітаційного поля Землі [28].

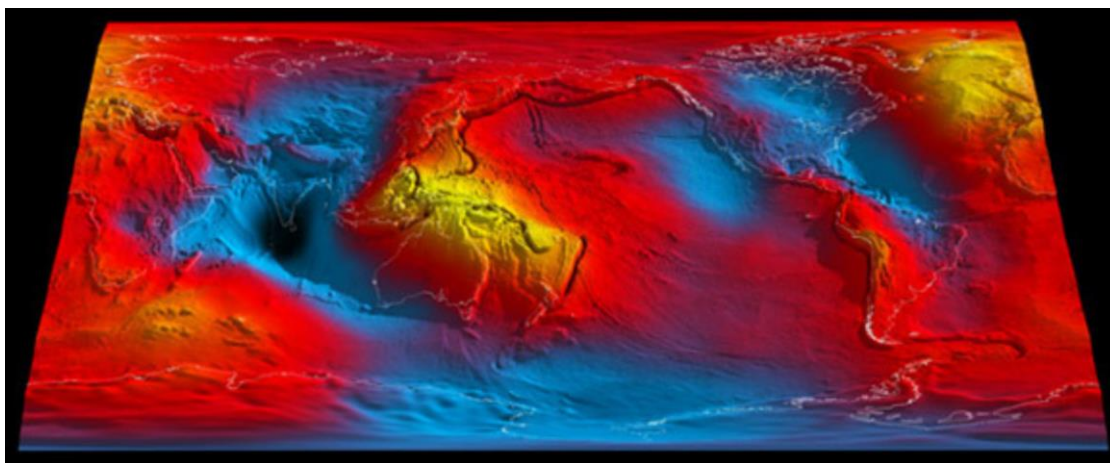


Рисунок 1 – Карта-схема гравітаційного поля Землі [28].

В Індійському океані у районі о. Шрі Ланка зафіксовано від'ємну аномалію Δg , а на півночі Австралії - позитивну аномалію гравітаційного поля Землі. Розглянемо, як зазначені регіональні зміни гравітаційного поля Землі задіяні у відповідних регіональних кліматичних моделях. У роботі [29] розглядається система формування кліматичних умов у тропічній зоні від західної Африки до західної Австралії. Зазначена регіональна кліматична система отримала назву Індоеокеанський диполь (ІОД) і була спрямована на вирішення питання моделювання змін клімату у Індоеокеанському регіоні. Автором зазначеної регіональної системи кліматоутворення є Бюро метеорології влади Австралії [30], яке досліджує взаємодію між океаном і атмосферою. ІОД розраховується шляхом порівняння різниці температури морської поверхні (ТМО) в районі (50° – 70° сх. д. та 10° пд. ш. – 10° пн. ш.) і у районі (90° – 110° сх. д. та 10° пд. ш. – 0° пн. ш.), довжини критичного шару та індексу Niño 3.4. Вважається, що ІОД визначається фазовою швидкістю планетарних хвиль у екваторіально-тропічній зоні Індійського океану і виділяються позитивна та негативна фази ІОД, як просторово-часові зміни стану екваторіального термокліну в Індійському океані (рис. 2).

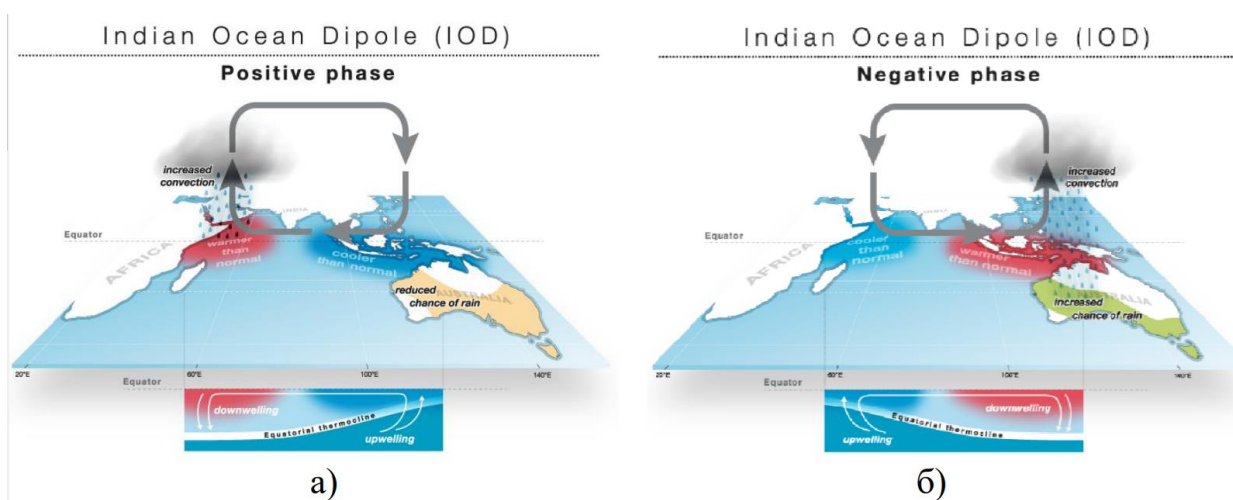


Рисунок 2 – Позитивна (а) та негативна (б) фази Індоеокеанського диполя та стан екваторіального термокліну в Індійському океані під час цієї фази (червоним відзначені області Індійського океану, в яких температура аномально вища за середню, синім – аномально нижча) [30].

Авторами роботи [24] наведені дані розрахунку просторово-часових змін Сомалійського апвелінгу в Аравійському морі. Встановлено, що кожного року у другій частині вересня негативна аномалія ТПО має максимальну площу, що не враховується моделлю ІОД. Тобто щорічно, влітку завжди формується потужна позитивна фаза ІОД.

Відповідно до схеми (рис. 2) за умов опускання термоклину в районі Західної Африки у приводному шарі виникатиме східний рух повітря, а за умов підйому термоклину виникає західний рух повітря, який у районі Аравійського моря у червні-серпні співпадає з напрямком мусонного вітру.

На нашу думку, ІОД є аналогом ENSO, бо також пов'язує просторово-часові флуктуації температури поверхневих вод тропічної зони з кліматичними змінами. У монографії [1] показано, що ENSO, яке контрастно проявлено аномалією температури поверхні екваторіальної зони Тихого океану, насправді проявлено у цій зоні і у Атлантичному океані. Акцентовано також увагу на тому, що ENSO може бути викликане ротаційними ефектами, бо виключно вони формують екваторіальний апвелінг та регулюють його активність. Під ротаційними ефектами маються на увазі зміни швидкості обертання Землі з часом, які щорічно генерують серпневі позитивні екстремуми довжини екваторіальних аномалій низької температури води у Тихому та Атлантичному океанах.

Спочатку вважалося, що характерний часовий масштаб ІОД тісно пов'язаний з подіями ENSO, але сучасні дослідження [29,31] констатують, що тільки 35-50% подій ІОД відбуваються одночасно з ENSO (таблиця 2).

Таблиця 2 - Роки сильних позитивних/від'ємних подій ІОД, які співпадають/не співпадають з подіями ENSO.

Фаза ІОД	Роки
Від'ємна фаза	1884 1889 1893 1899 1901 1906 1910 1917 1920 1954 1958 1964 1975 1984 1989 1975 1992 1996
Позитивна фаза	1887 1902 1923 1926 1935 1944 1946 1953 1961 1963 1972 1982 1994 1997

Примітки: синім виділені роки Ла-Ніньо; червоним – Ель-Ніньо (за модельними даними [31]) за період 1884 – 1997 рр.

В роботі [32], присвяченій Індоекеанському диполу, в 1997-1998 рр. були зафіксовані незвичайні аномалії ТПО. У східній частині Індійського океану в липні 1997 р. виникли від'ємні аномалії, які досягли максимуму (-2 °С) в листопаді 1997 р. В західній частині Індійського океану в червні 1997 р. з'явилися позитивні аномалії ТПО з максимумом (+2 °С) в лютому 1998 р. За звичай зміни поля ТПО в Індійському океані, в роки Ель-Ніньо, мають інший характер та значно менші величини аномалій температури (біля 0,5 °С). Вказані аномалії ТПО в 1997 р. сформували позитивну фазу ІОД, під час якої літній мусон був придушений.

Нами очікується, що дослідження причини виникнення аномалії ІОД у 1997 році може дати відповідь на низку питань, що стосуються причин формування мусонного клімату у Аравійському морі над Індоекеанською аномалією сили тяжіння.

Невирішені проблеми. У Індійському океані зимовий північно-східний мусон в Аравійському морі співпадає з пасатами і повинен посилювати їх, а літній південно-західний мусон – не співпадає за напрямком з пасатами, тому повинен послаблювати їх. Фактично ж, все навпаки. В Аравійському морі в період літнього мусону біля берегів Сомалі повинні формуються згінні течії, коли температура поверхні океану може знижуватися на 10°С. Внаслідок градієнтів температури повітря над морською поверхнею, формуються пд.-зх. вітри, що додатково підсилює літній мусон. Незважаючи на те, що цей процес відноситься до процесів з позитивним зворотним зв'язком, літній мусон раптово переривається наприкінці серпня – вересні, саме коли прояви апвелінгу в температурі поверхні океану максимальні.

Вважається, що особливо потужна і стійка мусонна циркуляція виникає там, де проявлені горизонтальні градієнти атмосферного тиску. Фактично ж у тропічній зоні північного сектору Індійського океану, де мусонний вітер найпотужніший, баричні градієнти не проявлені а ті, що фіксуються, не спроможні генерувати стійкий у часі вітер зі швидкістю до 14 м/с з відповідним хвилеутворюванням - хвилі висотою до 7 метрів.

Слід також констатувати, що у тропічній зоні умови геострофічності не повинні виконуватися, але стійкий у часі мусонний вітер дме вздовж ізобар, незважаючи на те, що у тропіках дивергентна та конвергентна складові на порядок більші, ніж в помірних широтах.

Постановка задачі. В роботі [33] було науково обґрунтовано виникнення від'ємної аномалії гравітаційного поля Індоекеанського регіону, обумовлене глибинними процесами під Африканською тектонічною плитою. Важливо розуміти, що причина виникнення від'ємної аномалії гравітаційного поля Індоекеанського регіону (процеси у мантії Землі) не може автоматично переноситися на умови генерації мусонного типу атмосферної циркуляції, яка у Індоекеанському регіоні у червні-серпні щорічно руйнує пасатну циркуляцію атмосфери. Тобто, вплив геодинамічних процесів, що відбуваються у мантії Землі, на виникнення мусонної циркуляції у Індоекеанському регіоні не є доведеним. Тому метою дослідження є отримання якісних та кількісних підтверджень впливу швидкоплинної глобальної зміни гравітаційного поля Землі на мусонну циркуляцію у північній частині Індійського океану.

Загальновідомо, що у травні 1997 р. під час проходження комети Хейла - Боппа через площину екліптики Сонячної системи, раптово відбулося швидкоплинне руйнування балансу сил планетарного масштабу.

Так роботі [34], де розглядаються переміщення мас у тілі Землі, було вказано на аномалію зазначених рухів в напрямку $\pm Y$ в 1997 р. У іншій роботі [35] визначено раптові швидкоплинні зміни параметру сплюсненості форми Землі J_2 (рис.3).

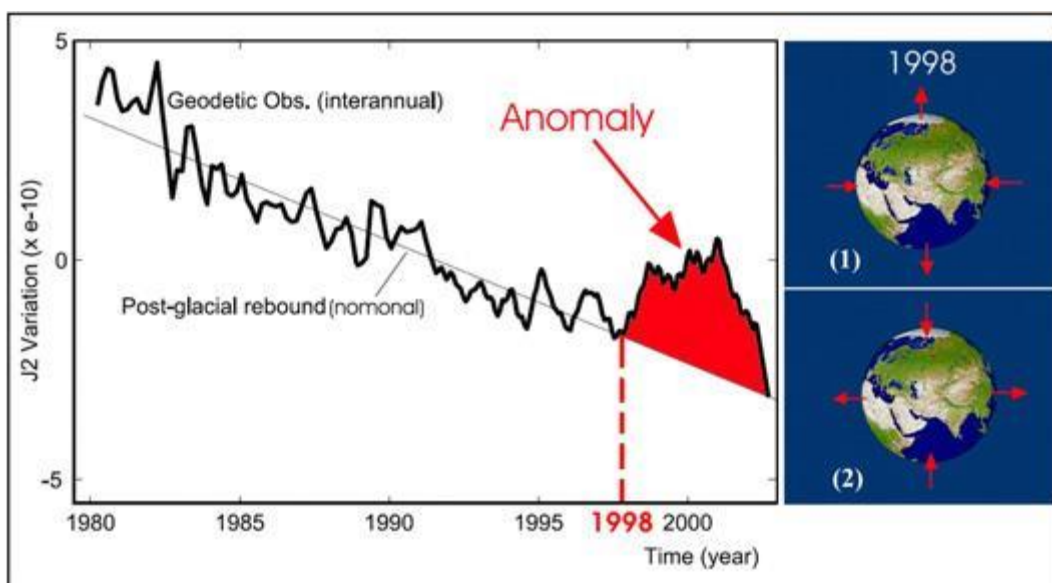


Рисунок 3 - Зміни значень коефіцієнта J_2 за даними [36].

В результаті виконаних досліджень [37], було зроблено висновок про те, що «стрибок» коефіцієнту J_2 у 1997 р. може бути пояснений глобальними змінами гравітаційного поля Землі. Коефіцієнт J_2 відображає динаміку співвідношення екваторіального та полюсного радіусів Землі. До 1997 р. величина коефіцієнта J_2 залишалась практично постійною, але у 1997 році неочікувано відбулось збільшення коефіцієнта J_2 .

Зміни гравітаційного поля проявляються у змінах форми геоїду [25]. На рис. 4 показані швидкоплинні зміни форми геоїду Землі у 1997 р. [38], які у Індоекеанському регіоні проявилися з максимальною амплітудою.

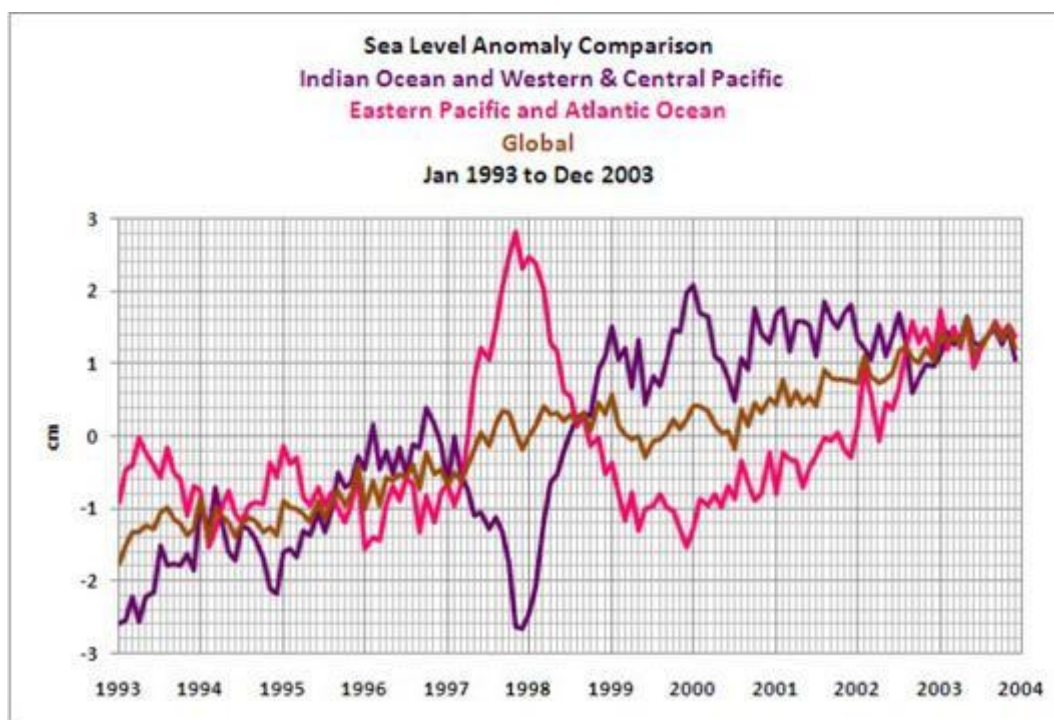
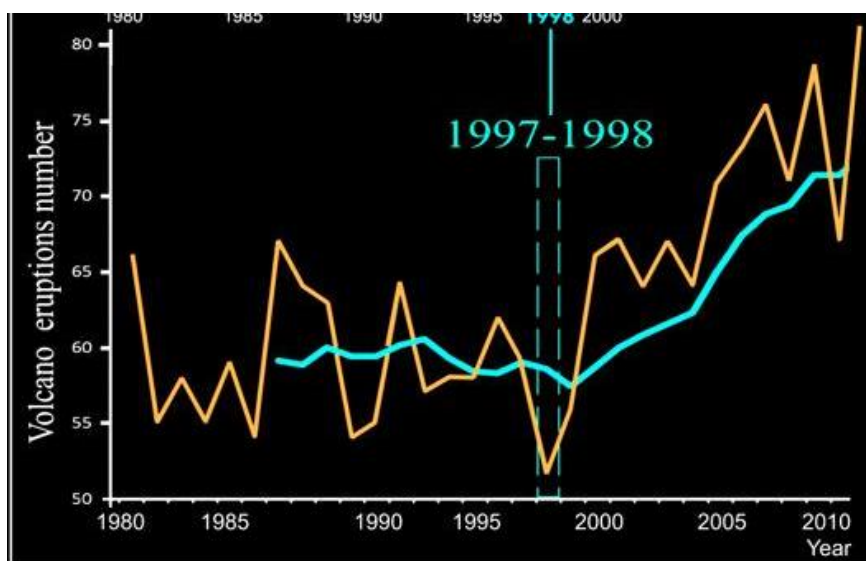


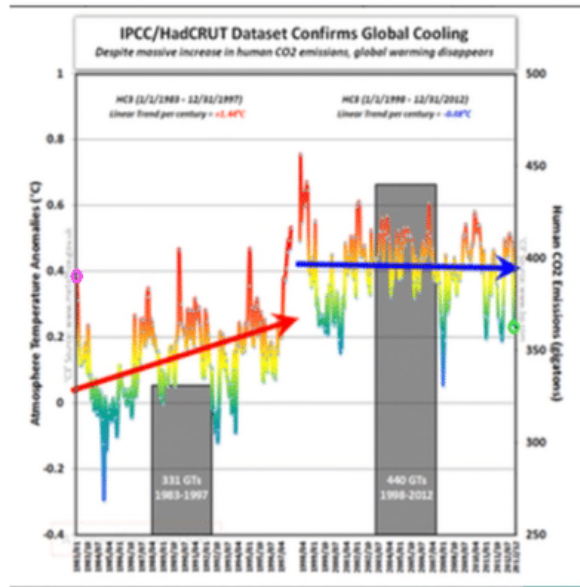
Рисунок 4 – Графіки зміни рівня Світового океану (Індійського океану та західного сектору Тихого океану (бузковий), Атлантичного океану та східного сектору Тихого океану (рожевий) Світового океану (коричневий) [38].

За інформацією [38], у 1997 році зафіксовані непрогнозовані зміни форми геоїда Землі. Рівень східної частини Тихого океану та Атлантичного океану в цілому, різко піднявся за рахунок зниження рівня Індійського океану и західної частини Тихого океану. Зазначене спостереження свідчить про те, що у травні 1997 року раптово відбувся зсув мас Землі від Індії у напрямку Центральної Америки.

Слід зазначити, що саме у цей час на глобальному рівні призупинився активний вулканізм (зменшилась напруга в твердому тілі Землі) і, за рахунок різкого збільшення надходження гідротермальної енергії через розрихлені зони розломів, відбулося швидке зростання середньої глобальної температури Землі (рис. 5).



а



б

Рисунок 5 – Графіки змін у часі: а) чисельності вулканічних вивержень (жовтий) і тренду (голубий); б) середньоглобальної температури тропосфери [39].

Аналіз наведених даних свідчить про те, що у 1997 році, вірогідно, під впливом гравітаційного поля комети Хейлпа Боппа, раптово відбулися швидкоплинні зміни глобального гравітаційного поля нашої планети, які у Індійському океані призвели до зменшення сили тяжіння, що проявилось збільшенням глибини депресії в топографії океану в районі о. Шрі ланка (див рис. 1).

Важливо відмітити, що у роботі [35] було вказано, що у 1997 р. аномальний зсув мас у тілі Землі нібито призвів до виникнення явища Ель-Ніньо 1997/1998 років, що спричинило аномалію мусонного клімату в Індокоеанському регіоні у 1997 р. На рис. 6 зазначена аномалія 1997 року проявлена раптовим призупиненням виникнення у цей період як аномальних злив (червоні трикутники над лінією 2 СКВ), так і тенденції підвищення кількості опадів у дощовий період 1994 - 2000 років.

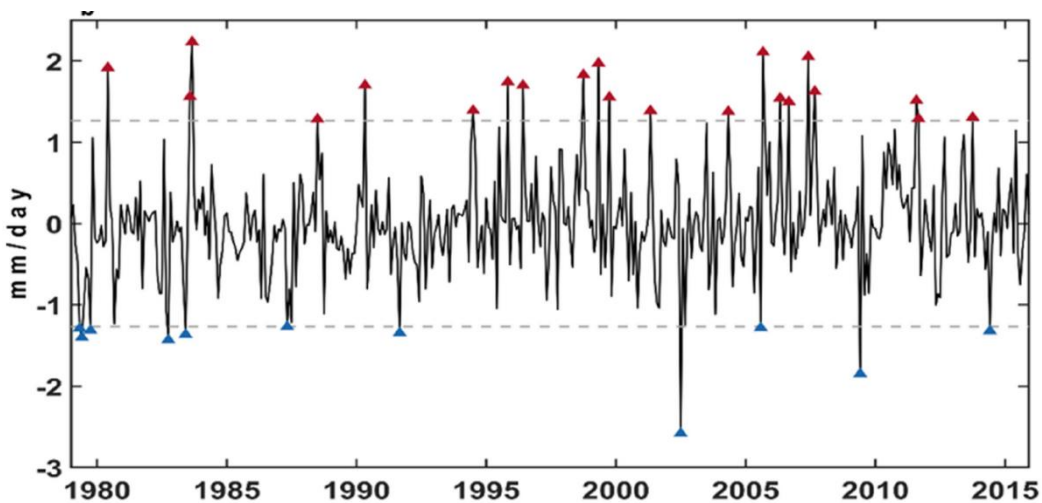


Рисунок 6 – Графік часових змін кількості атмосферних опадів в Індії у зоні прямокутника 10°N–30°N та 60°E–95°E (осереднені за місяць добові показники опадів, а пунктирні лінії - позначають 2 середньокліматичні відхилення (СКВ) [40].

Іншим важливим компонентом мусонної циркуляції є формування у червні- серпні, так званого, “мусонного хребта” на рівні 200 гПа, який зазвичай простягається від Близького Сходу на схід до пд.-сх. Азії приблизно на 27,5° пн.ш. (рис. 7).

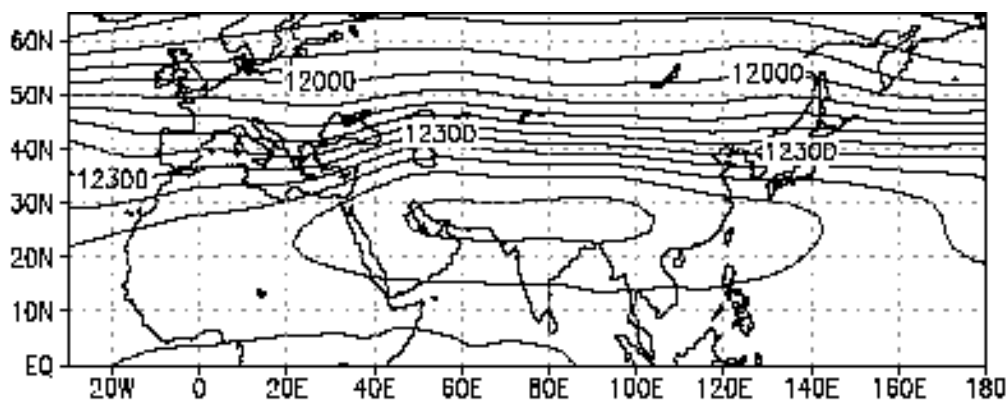


Рисунок 7 - Середнє кліматологічне поле геопотенціальних висот 200 гПа (м) (червень-серпень), розраховане за період 1979-1995 рр. [41].

Формування зазначеної аномалії поля геопотенціалу на висоті 200 гПа призводить до зміщення на північ західних вітрів середньої широти.

На початку червня 1997 року аномалія мусонної циркуляції характеризувалася практичною відсутністю “мусонного хребта” над регіоном Аравійського моря, що призвело до зсуву на південь західних вітрів середніх широт (рис. 8).

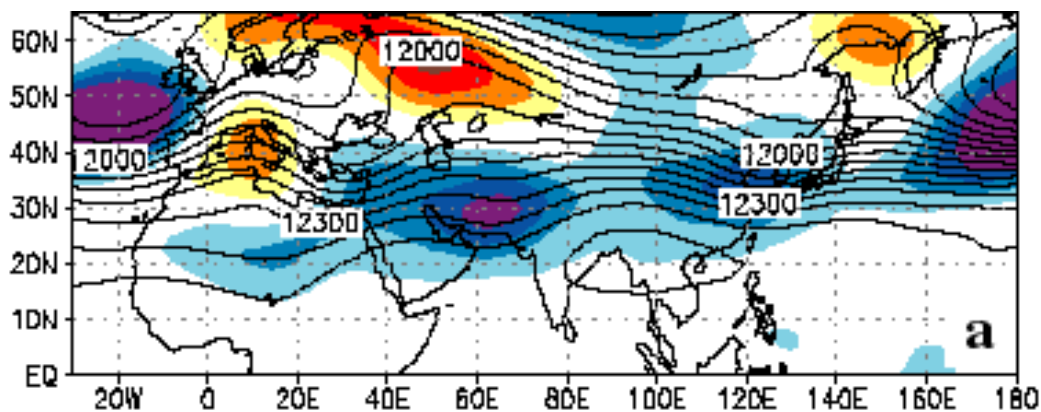


Рисунок 8. – Приклад (за червень-серпень 1997 року) середнього кліматологічного геопотенціалу на висоті 200 гПа (контури, одиниці вимірювання в м) та аномалії (заштриховані). Аномалії є відхиленнями від середньодобових базових періодів 1979-1995 рр. [41]

Це ймовірно, й заблокувало процеси, що генерують літній мусон. У середині липня аномалія почала зникати.

Як вже говорилося [34], в липні 1997 р. у східній частині Індійського океану почала формуватися від’ємна аномалія ТПО, а у західній частині - позитивні аномалії, що класифікуються як позитивна фаза ІОД, під час якої літній мусон пригнічується.

Для підтвердження на кількісному рівні відмінності умов формування мусонного клімату у 1997-1998 роках, нами виконано кількісний аналіз змін форми геоїду (рівня моря) у 1994-1998 роках у районі гравітаційної аномалії (район півострова Індостан). За даними ГІС AVISO+ були сформовані відповідні часові ряди висоти геоїду. Зазначені часові ряди були застосовані для розрахунку змін у часі просторового нахилу форми геоїду.

Відмінності умов формування мусонного клімату у 1997-1998 роках визначено методом факторного аналізу за t-критерієм Ст'юдента. Для забезпечення вимоги нормального типу розподілу випадкових величин для вхідних даних, з часових рядів ГІС AVISO+ було:

- вилучено довготривалі тенденції, що не пов'язані з сезонним мусонним циклом;
- застосована опція визначення даних за абсолютною величиною;

- застосована процедура накопиченого інтегрування з подальшим вилученням лінійного тренду. Результати розрахунку t-критерію Ст'юдента наведено у таблиці 3.

Таблиця 3 - t-критерій Ст'юдента сформованих часових рядів (дані ГІС AVISO+)

Характеристика вхідних даних	Розрахований t-критерій Ст'юдента	Оцінка часового ряду 1997-1998 рр. у порівнянні з 1994-1996 рр.
15 ° пн. ш. та 73 ° сз. ш. (прибережна зона Індії)	3.66	У 1997-1998 роках форма геоїду знизилася (вірогідність 99%)
6 ° пн. ш. та 58 ° сх. ш. (Аравійське море)	2,29	У 1997-1998 роках форма геоїду загалом підвищилася (вірогідність 95%)
нахил форми геоїду	2,51	У 1997-1998 роках нахил форми геоїду змінив знак (вірогідність 95%)

Таким чином, на кількісному рівні визначено, що на відміну від попередніх років, у 1997-1998 році в Аравійському морі в період літнього мусону, тобто в умовах дії західного вітру біля західного берега Індії, рівень моря не підвищувався, а знижувався.

Отримані результати. Дослідження причин мусонного вітру над Індокіанською аномалією сили тяжіння виконано з застосуванням факторного, кореляційного та спектрального аналізу. У попередніх публікаціях [25] нами на кількісному рівні було обґрунтовано тезу про те, що часові зміни гравітаційного поля Землі мають достатню амплітуду для того, щоб впливати на динаміку океану, що вперше доведено у роботі [8] для умов атмосфери. Особливості такого впливу нами досліджені додатково і наведені у таблицях 1 та 3.

Нами було акцентовано увагу на тому, що зміни Δg можуть відбуватися з різних причин, у тому числі і за умов зміни відцентрової сили. Така постановка задачі науково обґрунтована роботами Сидоренкова Н.С. [42-44] у тому числі у монографії “Атмосферні процеси та обертання Землі” [45].

У роботі [25] було вказано на існуючу циклічність змін кутової швидкості обертання Землі, яка впливає на Δg . Загальновідомо, що максимальна амплітуда змін Δg відбувається у тропічній зоні Земної кулі. У роботі [25] нами також було акцентовано увагу на тому, що позитивні екстремуми Δg фіксуються виключно під час літнього (червень-вересень) і зимового (січень-березень) мусону. Таке співпадіння заслуговує перевірки на чисельному рівні.

На рисунку 9, у якості прикладу, показано графік змін у часі кутової швидкості обертання Землі навколо своєї осі.

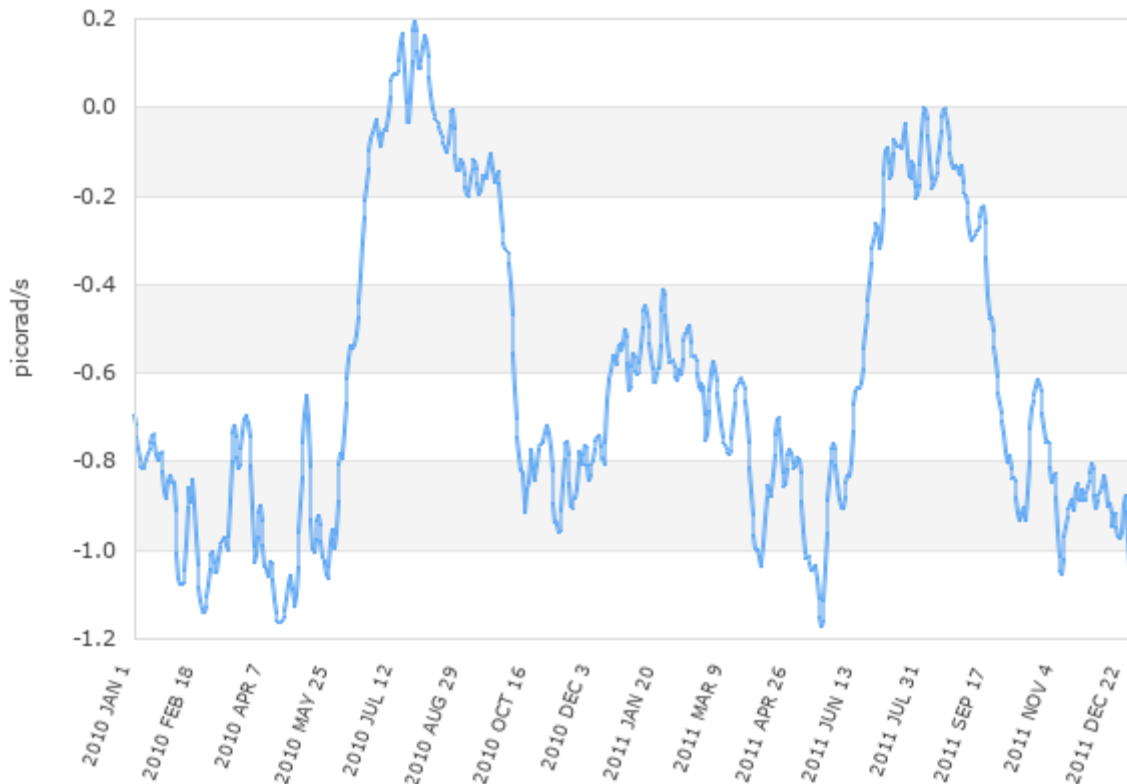


Рисунок 9 - Графік зміни у часі аномалії кутової швидкості обертання Землі (2010-2011 pp.) [46].

Як вже було згадано, максимальний вплив на зміни Δg відбуваються у приекваторіальній зоні, де відцентрова сила має найбільше значення. Зменшення сили тяжіння у червні-серпні повинно призводити у тропічній зоні до підйому повітряних мас. Нам важливо з'ясувати особливості впливу ротаційних процесів на атмосферну циркуляцію над Індокоеанською аномалією прискорення вільного падіння Δg .

Відповідно до схеми, що показана на рис. 2 така ситуація відповідає негативній фазі ІОД, коли в умовах збільшення швидкості обертання Землі, водні маси накопичуються біля східного берега Африканського континенту. На відміну від Тихого та Атлантичного океанів, де надлишки водних мас витікають такими течіями як Куросіо та Гольфстрім, у Індійському океані специфічні географічні умови призводять до накопичення маси біля східного берега Африки. На кількісному рівні зазначене питання нами проілюстровано в матеріалах таблиці 3.

Метою нашого дослідження є застосування методів фізико-статистичного моделювання для перевірки тези стосовно того, що ротаційні процеси змін Δg формують зміни Δg , що фіксуються супутниковою гравіметриєю. Були використані дані супутникової гравіметрії [39] для регіону півострова Індостан та дані про зміни кутової швидкості обертання Землі навколо своєї осі. Зразок таких даних з відфільтрованою дводобовою циклічністю наведено на рис. 7.

За результатами осереднених за місяць вимірювань Δg GRACE та швидкості обертання Землі побудовано відповідні часові ряди (рис. 10.).

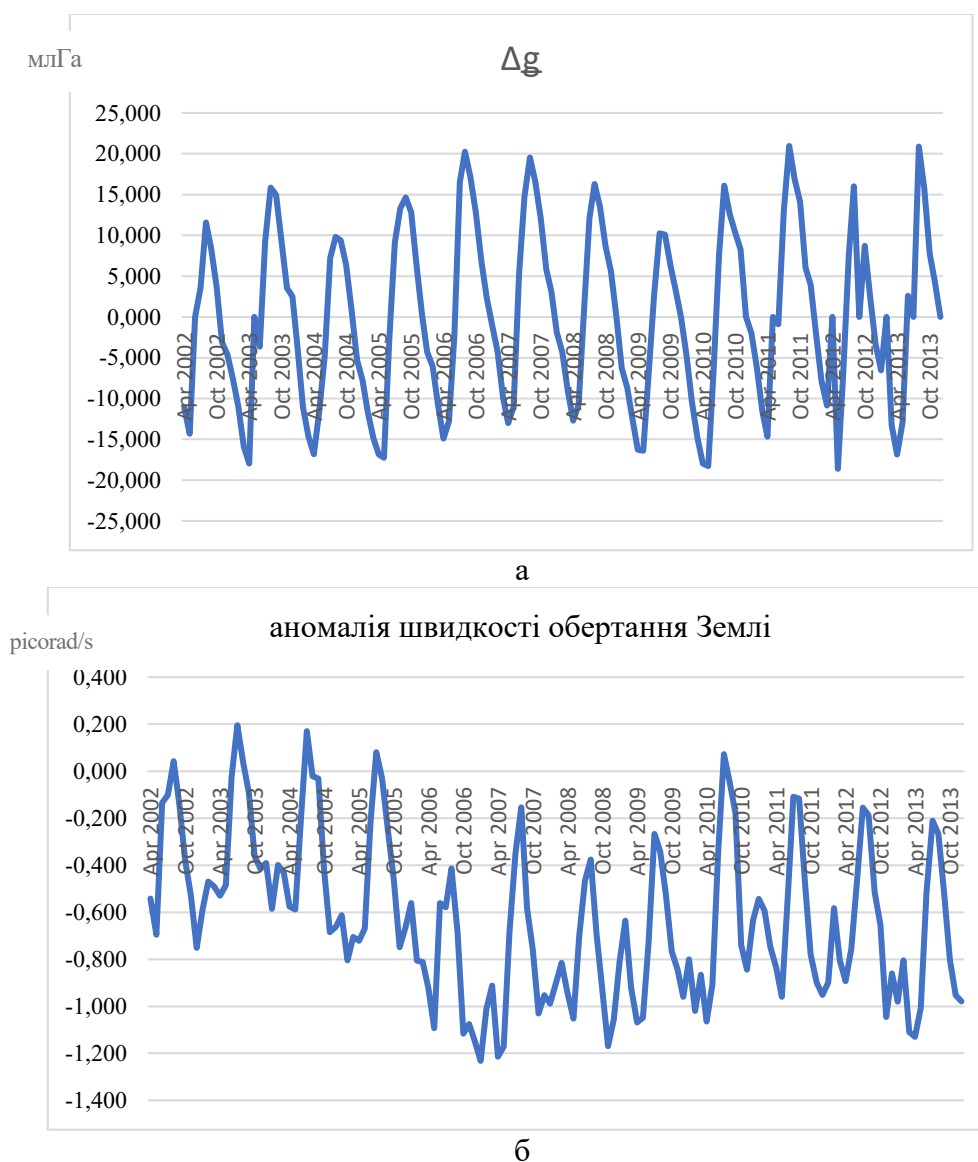
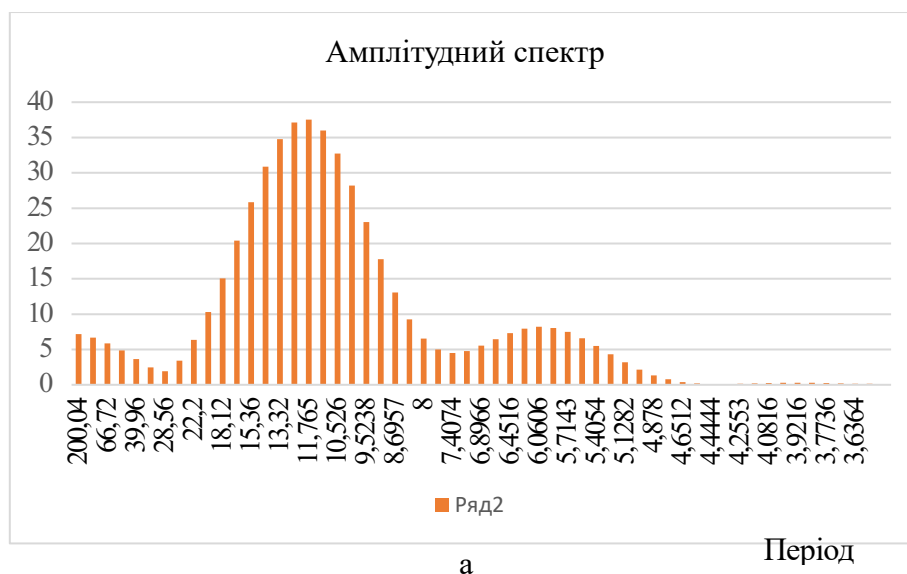


Рисунок 10 - Графік часових змін: а) Δg - в районі півострова Індостан; б) аномалія швидкості обертання Землі.

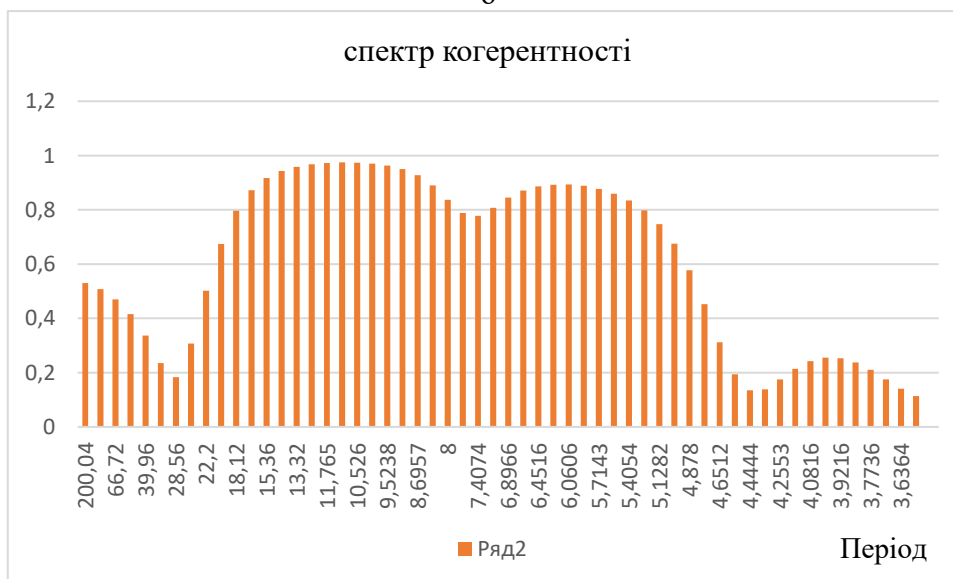
Критерієм порівняння регіональних даних супутникової гравіметрії та швидкості обертання Землі обрано спектральний аналіз. Були обчислені часові ряди змін Δg та швидкості обертання, в результаті чого підтверджено наявність періодичної складової у мінливості Δg та швидкості обертання Землі з річним циклом. З метою визначення впливу річної мінливості швидкості обертання на зміни гравітаційного поля в обраному регіоні, були виконані розрахунки оцінок кроспектру, фазового спектру та спектру когерентності (рис. 11).



а



б



в

Рисунок 11 - Графіки розрахунку оцінок: а) амплітудного спектру, б) спектру фазових зсувів та в) спектру когерентності в районі півострова Індостан.

В результаті виконаних досліджень вперше зафіксовано високий рівень когерентності річних гармонік змін швидкості обертання Землі і гравітаційного поля в районі найбільшої аномалії Δg , де щорічно виникають найпотужніші мусони. Для річного періоду отримано кількісні характеристики: кроспектру - 37,55; спектру фазових зсувів - 42,52°; спектру когерентності - 0,97. На кількісному рівні отримано підтвердження співпадіння змін Δg в районі Індоекеанської аномалії з динамікою швидкості обертання. по-перше, встановлено наявність прямо пропорційної залежності між змінами швидкості обертання та сили тяжіння в районі індоекеанської аномалії Δg . По-друге, визначено, що швидкість обертання Землі та гравітаційне поле Δg змінюються у часі з річними циклами. По-третє, встановлено, що ротаційні аномалії, як причина зміни Δg , відбуваються раніше самих аномалій Δg , тобто мають незначний зсув за фазою. Таким чином, результатами фізико-статистичного моделювання вперше було підтверджено, що у районі Індоекеанської гравітаційної аномалії з мусонним типом клімату зміни Δg можуть формуватися за рахунок ротаційних ефектів.

Висновки. Забезпечення безпеки мореплавства в регіонах з мусонним типом клімату вимагає визначення причин мусонних вітрів для подальшої розробки чисельних прогнозів несприятливих погодних умов. Проаналізовано причини щорічного припинення пасатної циркуляції у Індоекеанському регіоні. На чисельному рівні перевірена гіпотеза впливу на мусонний клімат Індоекеанського регіону позитивної аномалії прискорення вільного падіння, що виникає у червні-серпні за умов збільшення кутової швидкості обертання Землі навколо своєї осі. За результатами розрахунку спектру когерентності часових рядів сили тяжіння в районі півострова Індостан та швидкості обертання Землі встановлено, що процеси відбуваються з однаковою частотою, а за результатами розрахунку спектру фазових зсувів визначено, що причиною зміни сили тяжіння у червні-серпні є зміни кутової швидкості Землі. Показник інерційності, затримання у часі щорічного екстремума сили тяжіння відносно екстремуму швидкості обертання Землі складає 1-2 місяці.

Отримані результати є підставою для висунення гіпотези, стосовно того, що вітер у червні - серпні генерується переважно змінами прискорення вільного падіння ротаційної природи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гладких І.І., Капочкіна М.Б., Кучеренко Н.В., Капочкін Б.Б. Нова парадигма формування акумулятивного рельєфу мілководних ділянок океанів і морів. Том 3. Раніше невідомі аспекти формування клімату, погоди, в тому числі природні небезпеки: монографія – Одеса : НУ "ОМА", 2021. 199 с.
2. Дегтярев А.И. Муссоны в системе глобальной циркуляции атмосферы: диагностика и моделирование: автореф. дис. док. фіз-мат. наук. 2004. URL: <https://www.disscat.com/content/mussony-v-sisteme-globalnoi-tsirkulyatsii-atmosfery-diaagnostika-i-modelirovanie> (дата звернення 10.01.2025).
3. Воейков А.И. и современные проблемы климатологии. Збірник статей ред. Будыко М.И. Л.: Гидрометеорологическое изд-во. 1956. 282 с.
4. Дроздов О.А., Сорочан О.Г. Краткий обзор работ, выполненных в России и СССР по характеристике муссонов. *Труды ГТО*. Вып. 111. 1961. С. 49-63.
5. Сорочан О.Г. Муссоны Азии. В кн. *Современные проблемы климатологии*. - Л.: Гидрометеоздат. 1966. 450 с.
6. Осмаловская Е.В., Дмитриев А.А., Гутман Л.Н., Монин А.С. Риль Г. Современные проблемы климатологии. Л.: Гидрометеорологическое изд-во. 1966. 450 с.
7. Тропические муссоны. ред. Петросьянца М.А., Белова П.Н. ПГЭП, Т. 9. Л.: Гидрометеоздат. 1988. 338 с.
8. Руткевич, П.Б. О реакции атмосферы на локальные изменения плотности мантии Земли. *Гидродинамика*. Збірник наукових праць. Вип. 11. 1998. С. 241–248.
9. Бороздич, Э. В. Воздействие короткоживущих подкорковых локальных возмущений на лито-, гидро-и атмосферу. Гагаринские научные чтения по космонавтике и авиации. монографія: Наука. 1990. С. 130–140.

10. Гладких І. І. Капочкін Б.Б., Кучеренко Н. В., Лісоводський В. В. Формування погодних умов в морських та прибережних районах. Одеса: Астропринт, 2007. 142 с.
11. Капочкін Б.Б., Доля В.Д. Атмосферні процеси як відображення гравітаційного поля та його мінливості. зб. матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції - І-й Всеукраїнський з'їзд екологів. 2006. Вінниця: ВНТУ. 2006. С. 50.
12. Конкін В.В., Капочкін Б.Б., Доля В.Д. Вплив геодинамічних процесів на атмосферну циркуляцію. *Географія і сучасність*. Науковий часопис національного педагогічного університету імені М.П. Драгоманова. серія 4. Вип. 19. Київ. 2008.С. 37-44.
13. Dolia V. D. The gravitational theory of baric formations. *Geophysical Research Abstracts*. Vol. 10, EGU2008-A-11100. 2008.
14. Dolia V. D. Basic mechanism of interaction of a gravitational field of the Earth and atmospheric circulation. *International conference Global and regional climate changes, conference abstracts*, 2010. Київ. С. 16-19.
15. Доля В.Д. Капочкін Б.Б. Вплив геофізичних полів на атмосферні процеси - вплив геофізичних полів на атмосферні процеси. Конференція: III-го Всеукраїнського з'їзду екологів з міжнародною участю. Вересень 2012. DOI:10.13140/RG.2.1.4484.5921.
16. Доля В.Д. Механізм взаємодії гравітаційного поля та атмосферної циркуляції планети: Зб. наук. пр. IX Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. Випуск IX. Київ. 2013. 330 с.;
17. Доля В.Д. Гравитационное поле – фундаментальный климатообразующий фактор циркуляции атмосферы планеты. Всероссийская научная интернет-конференция с международным участием – “Современное понимание Солнечной системы и открытые вопросы”. Казань. 2014. С. 36-37.
18. Доля В. Д. Гравітаційне поле - основа циркуляції атмосфери планети. 15 українська конференції з космічних досліджень НАН України: тези доповіді. Одеса, 24-28 серпня 2015. с. 16.
19. Спосіб виявлення змін гравітаційного поля Землі: Пат. № 63796 Україна. Опубліковано 25.10.2011. Бюл. N 20.
20. A New Global Mode of Earth Deformation: Seasonal Cycle Detected. URL: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1065328> (дата звернення 20.01.2025).
21. Доля В.Д. Мусони, як частина глобальної циркуляції атмосфери Землі, геофізична природа явища. зб. наук. праць XII Міжнародної наукової міждисциплінарної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених “Шевченківська весна – 2014, Частина 3: географія”: тези доповіді. Випуск XII. Київ, 18-22 бер. 2014. С.93.
22. Доля В. Д., Кучеренко Н. В., Капочкин Б. Б. Влияние временной изменчивости гравитационного поля на атмосферу и океан. *Scientific Journal “ScienceRise”*. Том 2 № 1 (7) 2015, С. 30-34 URL: <https://journals.uran.ua/sciencerise/article/view/37631> DOI: <https://doi.org/10.15587/2313-8416.2015.37631> (дата звернення 20.01.2025)
23. Колесник А. В., Доля В. Д., Кучеренко Н. В. Использование ГИС для изучения причин формирования муссонов Индийского океана. *Часопис картографії*. 2015. Вип. 12. С. 82-89. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ktvsh_2015_12_11] (дата звернення 20.01.2025)
24. Капочкін Б. Б., Кучеренко Н.В., Лісоводський В. В., Конкін В. В. Фізичні механізми вирівнювання баричних градієнтів в атмосфері. К., 2003. 12 с. Деп. в ГНТБ України 04.08.03, № 105.
25. Кучеренко Н.В., Томчаковський Г. Г., Капочкіна М.Б., Калініченко Є.В. Умови формування мусонного вітру над Індокіанською аномалією сили тяжіння. *Водний транспорт. Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій*. – К.: ДУІТ, 2025. Випуск 1 (42). С. 115-130 URL: <https://doi.org/10.33298/2226-8553.2025.1.42>
26. How precise is Earth's gravity URL:<http://www.calpoly.edu/~gthorncr/ME302/documents/AccuracyofGravity.pdf> (дата звернення 20.01.2025).
27. Гладких І.І., Симоненков С.В., Михайлов В.І., Кучеренко Н.В., Капочкіна М.Б., Барган О.Г., Чеча О.П. Перспективи розвитку оперативної океанографії в Україні.
28. Войтенко С.П., Учитель І.Л., Ярошенко В.Н., Капочкин Б.Б. Геодинамика. Основы кинематической геодезии, Одесса: Астропринт, 2007. — 259 с.

29. Торбинский А. В. Индоокеанский диполь: механизм формирования и влияние на региональные климатические аномалии, 2022 автореферат, URL: <https://www.dissercat.com/content/indookeanskii-dipol-mekhanizm-formirovaniya-i-vliyanie-na-regionalnye-klimaticheskie-anomali> (дата звернения 02.01.2025).
30. Bureau of Meteorology of Australian Government. URL: <http://www.bom.gov.au/climate/about/australian-climate-influences/images/iod-neutral.png> (дата обращения: 20.01.2025).
31. Iizuka, S. The Indian Ocean SST dipole simulated in a coupled general circulation model. *Geophysical Research Letters*. Vol. 27, issue 20. 2000. P. 3369-3372. DOI 10.1029/2000GL01148.
32. Webster, P. J. Coupled ocean-atmosphere dynamics in the Indian Ocean during 1997-1998. *Nature*. Vol. 401. 1999. P. 356-360. DOI 10.1038/43848.
33. Nasa gravity map of earth URL:<https://mapofsouthwesternontario.pages.dev/posts/nasa-gravity-map-of-earth> (дата звернения 20.10.2024).
34. Blewitt G., Lavallée D., Clarke P., Nurutdinov K. A new global mode of Earth deformation: seasonal cycle detected. *Science*. 2001 Dec 14; 294(5550):2342-5. doi: 10.1126/science.1065328.
35. Когда начался “Глобальный энергетический скачок?” URL: <https://studfile.net/preview/7011506/page:19/> (дата звернения 20.01.2025).
36. Cox, C., and B. F. Chao, Detection of a large-scale mass redistribution in the terrestrial system since 1998, *Science*, 2002, pp. 831–833. .
37. A first analysis of the mean motion of CHAMP. URL: <https://adgeo.copernicus.org/articles/1/95/2003/> (дата звернения 20.01.2025).
38. Climate Observations (Notes From Bob Tisdale on Climate Change and Global Warming. URL: <http://bobtisdale.blogspot.com/2009/08/enso-is-major-component-of-sea-level.html> (дата звернения 20.01.2025).
39. Долгосрочный прогноз динамики вулканической активности Земли. URL: <https://studfile.net/preview/7011506/page:26/> (дата звернения 20.01.2025).
40. Капочкина А.Б., Капочкин Б.Б. Влияние газовой составляющей флюидного режима литосферы в районах акваторий на атмосферные процессы. Электронное научное издание Альманах Пространство и Время. Т. 4. Вып. 1 2013 22 с. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-gazovoy-sostavlyayushey-flyuidnogo-rezhima-litosfery-v-rayonah-akvatoriy-na-atmosfernye-protsessy> (дата звернения 20.01.2025).
41. National Weather Service Сpc: Climate Assessment for 1994-1998 *U.S. Department Of Commerce National Weather Service National Meteorological Center Climate Analysis Center* https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/assessments/assess_98/ (дата звернения 10.10.2024).
42. Сидоренков Н.С. Лунно-солнечные приливы и атмосферные процессы. URL: <http://lnfm1.sai.msu.ru/grav/russian/life/chteniya/sagit2009/sidorenkov.pdf> (дата звернения 01.02.2025).
43. Сидоренков Н.С. Межгодовые колебания системы атмосфера–океан–Земля. *Физика*. № 25/98 .
44. Сидоренков Н.С., Сумерова К.А. Геодинамические причины декадных изменений климата. *Труды Гидрометцентра*. 2012. Вып. 348, с. 195–214.
45. Сидоренков Н.С. Атмосферные процессы и вращение Земли. *Гидрометеоиздат*. 2002. 366 с.
46. Earth orientation center. URL: <https://hpiers.obspm.fr/eop-pc/index.php?index=C04&lang> (дата звернения 01.02.2025).

REFERENCES

1. Gladkikh I.I., Kapochkina M.B., Kucherenko N.V. Kapochkin B.B. A new paradigm of the formation of accumulative relief of shallow areas of oceans and seas. Volume 3. Previously unknown aspects of climate and weather formation, including natural hazards: monograph Odesa: National University "OMA", 2021. 199 p.
2. Degtyarev A.I. Monsoons in the global atmospheric circulation system: diagnostics and modeling: abstract of doctoral dissertation physics and mathematics of science 2004. URL: <https://www.dissercat.com/content/mussony-v-sisteme-globalnoi-tsirkulyatsii-atmosfery-diagnostika-i-modelirovanie> (date of application 10.09.2024).
3. Voeikov A.I. and modern problems of climatology. Collection of articles edited by Budyko M.I. Hydrometeorological Publishing House. 1956. 282 p.

4. Drozdov O.A., Sorochan O.G. Brief overview of works carried out in Russia and the USSR on the characteristics of monsoons. Proceedings of the GTO. Issue 111. 1961. 49-63 p.
5. Sorochan O.G. Monsoons of Asia. In the book Modern Problems of Climatology. - L: Gidrometeoizdat. 1966. 450 p.
6. Osmalovskaya E.V., Dmitriev A.A., Gutman L.N., Monin A.S. Ril G. Modern problems of climatology. JI.: Hydrometeorological publishing house. 1966. 450 p.
7. Tropical monsoons. edited by Petrosyants M.A., Belov P.N. T. 9. L.: Gidrometeoizdat. 1988. 338 p.
8. Rutkevich, P.B. On the reaction of the atmosphere to local changes in the density of the Earth's mantle. *Hydrodynamics*. Collection of scientific works. Issue 11. 1998. P. 241–248.
9. Borozdich, E. V. Impact of short-lived subcortical local disturbances on the litho-, hydro- and atmosphere. Gagarin Scientific Readings on Cosmonautics and Aviation. Monograph: Science. 1990. P. 130–140.
10. Gladkikh I. I. Kapochkin B.B., Kucherenko N.V., Lisovodsky V.V. Formation of weather minds in sea and coastal areas. Odessa: Astroprint, 2007. 142 p.
11. Kapochkin B.B., Dolya V.D. Atmospheric processes such as the reflection of the gravitational field and its flow. zb. materials of the International Scientific and Practical Conference - 1st All-Ukrainian Congress of Ecologists. 2006. Vinnytsia: VNTU. 2006. P. 50.
12. Konkin V.V., Kapochkin B.B., Dolya V.D. Influx of geodynamic processes on atmospheric circulation. Geography and reality. Scientific record of the National Pedagogical University named after M.P. Dragomanova. episode 4. VIP. 19. Kiev. 2008. pp. 37-44.
13. Dolia V. D. The gravitational theory of baric formations. Geophysical Research Abstracts. Vol. 10, EGU2008-A-11100. 2008.
14. Dolia V. D. Basic mechanism of interaction of a gravitational field of the Earth and atmospheric circulation. International conference Global and regional climate changes, conference abstracts, 2010. Kyiv. C. 16-19.
15. Dolya V.D. Kapochkin B.B. The influence of geophysical fields on atmospheric processes - the influence of geophysical fields on atmospheric processes. Conference: III All-Ukrainian Congress of Ecologists with International Participation. September 2012. DOI:10.13140/RG.2.1.4484.5921.
16. Dolya V.D. Mechanism of interaction between the gravitational field and atmospheric circulation of the planet: Collection of scientific works of the IX All-Ukrainian scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists. Issue IX. Kyiv. 2013. 330 p.
17. Dolya V.D. Gravitational field – a fundamental climate-forming factor of the planet's atmospheric circulation. All-Russian scientific Internet conference with international participation – “Modern understanding of the Solar system and open questions”. Kazan. 2014. P. 36-37.
18. Dolya V. D. Gravitational field - the basis of the circulation of the planet's atmosphere. 15th Ukrainian Conference on Space Research of the NAS of Ukraine: abstracts. Odesa, August 24-28, 2015. p. 16.
19. Method for detecting changes in the Earth's gravitational field: Pat. No. 63796 Ukraine. Published 10/25/2011. Bulletin No. 20.
20. A New Global Mode of Earth Deformation: Seasonal Cycle Detected. URL: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1065328> (date of application 10.01.2025).
21. Dolya V.D. Monsoons, as part of the global circulation of the Earth's atmosphere, the geophysical nature of the phenomenon. Collection of scientific works of the XII International scientific interdisciplinary conference of students, postgraduates and young scientists “Shevchenko Spring – 2014, Part 3: geography”: abstracts of the report. Issue XII. Kyiv, 18-22 Mar. 2014. P.93.
22. Dolya V. D., Kucherenko N. V., Kapochkin B. B. Influence of temporal variability of the gravitational field on the atmosphere and ocean. Scientific Journal "ScienceRise". Volume 2 No. 1 (7) 2015, p. 30-34 URL: <https://journals.uran.ua/sciencerise/article/view/37631> DOI: <https://doi.org/10.15587/2313-8416.2015.37631> (date of application 10.01.2025)
23. Kolesnyk A. V., Dolya V. D., Kucherenko N. IN. The use of GIS to study the causes of the formation of monsoons in the Indian Ocean. Journal of cartography. 2015. Issue 12. pp. 82-89. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ktvsh_2015_12_11 (date of application 12.09.2024)

24. Kapochkin B. B., Kucherenko N. V., Lisovodsky V. V., Konkin V. V. Physical mechanisms of equalization of baric gradients in the atmosphere. K., 2003. 12 p. Dep. in the State Scientific and Technical University of Ukraine 04.08.03, No. 105.
25. Kucherenko N.V., Tomchakovsky G. G., Kapochkina M.B., Kalinichenko E.V. Conditions for the formation of monsoon wind over the Indian Ocean gravity anomaly. Water transport. Collection of scientific papers of the State University of Infrastructure and Technologies. – K.: DUIT, 2025. Issue 1 (42). P. 115-130 URL: <https://doi.org/10.33298/2226-8553.2025.1.42>
26. How precise is Earth's gravity URL:<http://www.calpoly.edu/~gthorncr/ME302/documents/AccuracyofGravity.pdf> (date of application 20.01.2025).
27. Gladkikh I.I., Simonenkov S.V., Mikhailov V.I., Kucherenko N.V., Kapochkina M.B., Bargan O.G., Checha O.P. Prospects for the development of operational oceanography in Ukraine.
28. Voitenko S.P., Uchitel I.L., Yaroshenko V.N., Kapochkin B.B. Geodynamics. Fundamentals of kinematic geodesy, Odessa: Astroprint, 2007. — 259 p.
29. Torbinsky A.V. The Indian Ocean Dipole: Formation Mechanism and Influence on Regional Climate Anomalies, 2022 abstract, URL: <https://www.dissercat.com/content/indookeanskii-dipol-mekhanizm-formirovaniya-i-vliyanie-na-regionalnye-klimatescheskie-anomali> (date of application 20.01.2025).
30. Bureau of Meteorology of Australian Government. URL: <http://www.bom.gov.au/climate/about/australian-climate-influences/images/ioid-neutral.png> (date of application 20.01.2025).
31. Iizuka, S. The Indian Ocean SST dipole simulated in a coupled general circulation model. *Geophysical Research Letters*. Vol. 27, issue 20. 2000. P. 3369-3372. DOI 10.1029/2000GL01148.
32. Webster, P. J. Coupled ocean-atmosphere dynamics in the Indian Ocean during 1997-1998. *Nature*. Vol. 401. 1999. P. 356-360. DOI 10.1038/43848.
33. Nasa gravity map of earth URL:<https://mapofsouthwesternontario.pages.dev/posts/nasa-gravity-map-of-earth> (date of application 20.01.2025).
34. G., Lavallée D., Clarke P., Nurutdinov K. A new global mode of Earth deformation: seasonal cycle detected. *Science*. 2001 Dec 14; 294(5550):2342-5. doi: 10.1126/science.1065328.
35. When did the “Global Energy Leap” begin? URL: <https://studfile.net/preview/7011506/page:19/> (date of application 20.01.2025).
36. Cox, C., and B. F. Chao, Detection of a large-scale mass redistribution in the terrestrial system since 1998, *Science*, 2002, pp. 831–833. .
37. A first analysis of the mean motion of CHAMP. URL: <https://adgeo.copernicus.org/articles/1/95/2003/> (date of application 20.01.2025).
38. Climate Observations (Notes From Bob Tisdale on Climate Change and Global Warming. URL: <http://bobtisdale.blogspot.com/2009/08/enso-is-major-component-of-sea-level.html> (date of application 20.01.2025).
39. Long-term forecast of the dynamics of volcanic activity of the Earth. URL: <https://studfile.net/preview/7011506/page:26/> (date of application 20.01.2025).
40. Kapochkina A.B., Kapochkin B.B. Influence of the gas component of the fluid regime of the lithosphere in water areas on atmospheric processes. Electronic scientific publication Almanac Space and Time. V. 4. Issue. 1 2013 22 p. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-gazovoy-sostavlyayushey-flyuidnogo-rezhim-litosfery-v-rayonah-akvatoriy-na-atmosfernye-protsessy> (date of application 20.01.2025).
41. NATIONAL WEATHER SERVICE CPC: Climate Assessment for 1994-1998 U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE National Weather Service National Meteorological Center Climate Analysis Center https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/assessments/assess_98/ (date of application 20.01.2025).
42. Sidorenkov N.S. Lunar-solar tides and atmospheric processes. URL: <http://lnfm1.sai.msu.ru/grav/russian/life/chteniya/sagit2009/sidorenkov.pdf> (date of application 01.02.2025).
43. Sidorenkov N.S. Interannual oscillations of the atmosphere-ocean-Earth system. *Physics*. No. 25/98 .
44. Sidorenkov N.S., Sumerova K.A. Geodynamic causes of decadal climate changes. Proceedings of the Hydrometeorological Center. 2012. Issue. 348, pp. 195–214.
45. Sidorenkov N.S. Atmospheric processes and the Earth's rotation. *Gidrometeoizdat*. 2002. 366 p.

46. Earth orientation center. URL: <https://hpiers.obspm.fr/eop-pc/index.php?index=C04&lang> (date of application 01.02.2025).

Tomchakovsky G. G., Kapochkina M.B.

RESULTS OF THE STUDY OF THE CAUSES OF THE MONSOON WIND OVER THE INDIAN OCEAN GRAVITY ANOMALY

The tropical zone of the World Ocean is characterized by the practical absence of spatiotemporal changes in insolation and, accordingly, the absence of seasons, the absence of baric gradients, and therefore, geostrophic winds, which creates favorable weather and climatic conditions for shipping. The exception is the water area of the northern part of the Indian Ocean with a monsoon climate, where a summer season with powerful winds and waves and showers is formed every year. Ensuring the safety of navigation in regions with a monsoon-type climate requires determining the causes of monsoon winds for the further development of numerical forecasts of adverse weather conditions. The reasons for the annual cessation of trade wind circulation in the Indian Ocean region are analyzed. At the numerical level, the hypothesis of the impact on the monsoon climate of the Indian Ocean region of a positive anomaly of free fall acceleration that occurs in June-August under conditions of an increase in the angular velocity of the Earth's rotation around its axis is tested.

Keywords: *shipping safety, navigational hydrometeorology, monsoon climate, gravimetry, rotational effect, physical and statistical modeling.*

Стаття прийнята 02.03.2025