

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Одеський державний екологічний університет

Факультет: гідрометеорологічний
інститут
Спеціальність: Науки про Землю
Кафедра: метеорології та кліматології

НАУКОВА РОБОТА

на тему:

«Урагани Північної Атлантики»

Виконала: студентка групи МНЗ-19М
Антонюк Я.І.

Науковий керівник: к.геогр.н., доц.
Нажмудінова О.М.

ОДЕСА – 2019

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Одеський державний екологічний університет

НАУКОВА РОБОТА

під шифром *„eye storm”*

ОДЕСА – 2019

АНОТАЦІЯ

до наукової роботи під девізом «eye storm»

Дослідження присвячене вивченню особливостей формування та переміщення тропічних циклонів з низьких широт Атлантичного океану у позатропічні широти, так званих, «східних ураганів», і їх впливу на погодні умови європейського регіону.

Актуальність тематики визначається тим, що тропічні циклони зумовлюють комплекс стихійних явищ погоди, що створюють загрозу для життя і функціонування об'єктів різних галузей. Це ураганні вітри, сильні шторми на акваторіях морів, сильні опади, і, як наслідок, сильні повені, штормові нагони, затоплення прибережних територій, зсуви.

Як правило, тропічні урагани Атлантики переміщуються по західній периферії Азорського максимуму у південно-західному ведучому потоці на схід, внаслідок чого не можуть значно просунутися на схід до Азорських островів. За останні 50 років через Азорські острови пройшло тільки 20 тропічних штормів, з яких лише 4 класифіковані як урагани першої категорії. У середньому, на острови урагани виходять кожні 12 років.

В окремих випадках, зі збільшенням повторюваності в останнє десятиліття, тропічні циклони зміщуються у помірні широти до узбережжя Європи за нетиповими складними траєкторіями (часом петлеподібними). На той час, коли вони досягають узбережжя континенту, їх, зазвичай, вже не класифікують як урагани, а визначають, здебільшого, як позатропічні шторми, які іноді можуть бути досить сильними і руйнівними.

У сучасних дослідженнях збільшення числа виходу тропічних циклонів до Європи пов'язують з глобальним потеплінням і, зокрема, підвищенням температури поверхні Атлантичного океану.

Метою роботи є дослідження особливостей еволюції тропічних циклонів Атлантики.

У якості методів дослідження використано синоптико-кліматичний аналіз, просторово-часове узагальнення даних.

Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку літературних джерел (19).

Ключові слова: тропічний циклон, ураган, температура поверхні води, хмарність, шторм.

АНОТАЦІЯ

до наукової роботи на тему **«УРАГАНИ ПІВНІЧНОЇ АТЛАНТИКИ»**

Дослідження присвячене вивченню особливостей формування та переміщення тропічних циклонів з низьких широт Атлантичного океану у позатропічні широти, так званих, «східних ураганів», і їх впливу на погодні умови європейського регіону.

Актуальність тематики визначається тим, що тропічні циклони зумовлюють комплекс стихійних явищ погоди, що створюють загрозу для життя і функціонування об'єктів різних галузей. Це ураганні вітри, сильні шторми на акваторіях морів, сильні опади, і, як наслідок, сильні повені, штормові нагони, затоплення прибережних територій, зсуви.

Як правило, тропічні урагани Атлантики переміщуються по західній периферії Азорського максимуму у південно-західному ведучому потоці на схід, внаслідок чого не можуть значно просунутися на схід до Азорських островів. За останні 50 років через Азорські острови пройшло тільки 20 тропічних штормів, з яких лише 4 класифіковані як урагани першої категорії. У середньому, на острови урагани виходять кожні 12 років.

В окремих випадках, зі збільшенням повторюваності в останнє десятиліття, тропічні циклони зміщуються у помірні широти до узбережжя Європи за нетиповими складними траєкторіями (часом петлеподібними). На той час, коли вони досягають узбережжя континенту, їх, зазвичай, вже не класифікують як урагани, а визначають, здебільшого, як позатропічні шторми, які іноді можуть бути досить сильними і руйнівними.

У сучасних дослідженнях збільшення числа виходу тропічних циклонів до Європи пов'язують з глобальним потеплінням і, зокрема, підвищенням температури поверхні Атлантичного океану.

Метою роботи є дослідження особливостей еволюції тропічних циклонів Атлантики.

У якості методів дослідження використано синоптико-кліматичний аналіз, просторово-часове узагальнення даних.

Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку літературних джерел (19).

Ключові слова: тропічний циклон, ураган, температура поверхні води, хмарність, шторм.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Основні відомості про тропічні циклони.....	5
2 Урагани Атлантики.....	8
2.1 Загальні характеристики.....	8
2.2 Ефекти тропічних циклонів у Європі.....	9
3 Дослідження впливу тропічних штормів на погодні умови Європи	13
3.1 Ураган Офелія 09-18.10.2017 р.....	13
3.2 Ураган Леслі 23.09-16.10. 2018 р.....	15
3.3 Ураган Лоренцо 23.09-04.10.2019 р	17
4 Аналіз температурного поля Атлантики.....	20
Висновки.....	24
Перелік посилань.....	25

ВСТУП

У роботі досліджуються атлантичні урагани тропічного походження, які впливають на погодні умови Європи.

Актуальність тематики визначається складними несприятливими погодними умовами в Європі внаслідок дії тропічних циклонів і їх позатропічних залишків, включають сильні вітри, аномальні опади й у рідких випадках торнадо.

У теплий період року в районі Азорських островів розміщується майже стаціонарний максимум. Район, що лежить до півдня від цього антициклону, виступає осередком зародження тропічних циклонів. У північній частині цієї області переважають помірні вітри системи західного переносу, а на південній периферії азорського максимуму дме східний пасат тропічного поясу. Панівні східні вітри переміщують тропічний циклон, що досягає зрілої стадії; рухаючись над водною поверхнею, тропічні циклони поповнюють запас енергії за рахунок надходження теплого і вологого повітря.

Більшість штормів, що вплинули на Європу, зареєстровані з серпня по жовтень, що є кліматологічним піком сезону атлантичних ураганів. Шторми, як правило, формувалися на захід від Африки і зміщувалися на північний схід, або утворювались біля східного узбережжя Сполучених Штатів і рухалися на схід. Здебільшого такі циклони формуються над субтропіками Атлантики при наступному виході до західного узбережжя Європи за складною траєкторією і поступово набувають тропічних та позатропічних характеристик.

Останні дані вказують на збільшення числа випадків виходу тропічних циклонів до Європи. Однією з причин є глобальне потепління, яке значно збільшить загрозу ураганних вітрів для західної Європи від залишків тропічних циклонів і гібридних штормів, окремі дослідження передбачають збільшення з 2 до 13 числа циклонів з ураганними вітрами у водах західної Європи; умови, сприятливі для тропічних циклонів, розширяться на 1100 км (700 миль) на схід.

1 ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО ТРОПІЧНІ ЦИКЛОНИ

Тропічний циклон (ТЦ) - це загальне позначення для нефронтальних систем низького тиску синоптичного масштабу над тропічною або субтропічною зоною океану з організованою конвекцією і чіткою циклонічною циркуляцією біля поверхні (Holland, 1993). Тропічний циклон, визначений ВМО як «циклон тропічного походження малого діаметра» (кілька сотень кілометрів) з мінімальним тиском у центрі (іноді < 900 гПа).

Щорічно на Землі розвивається в середньому 70 тропічних циклонів. ТЦ виникають в тропічних частинах усіх океанів за виключенням південно-східної частини Тихого океану і півдня Атлантики, часто на півночі тропіків Тихого океану. Тайфуни західної частини Тихого океану утворюють найбільш потужний осередок ТЦ у порівнянні з іншими регіонами - більш 30% вихорів. У цілому, ТЦ найчастіше формуються в тропічній зоні між 4 і 30° широти, а найбільш часто - між 10 і 15° [9-10, 13-15, 18-20].

Не зважаючи на те, що усі ТЦ зароджуються у низьких широтах, закінчувати своє існування вони можуть по-різному. В деяких випадках ТЦ перетинають архіпелаги, виходять на сушу або потрапляють у райони з більш низькою температурою поверхні води, що приводить до їх ослаблення і подальшого руйнування. Деякі вихори проходять точку повороту і, рухаючись на північний схід, регенерують на полярному фронті чи взаємодіють із позатропічними циклонами. Іноді розвиток ТЦ в Атлантичному океані і на заході Тихого океану відбувається серіями, що призводить до взаємодії вихорів між собою.

Горизонтальні розміри тропічних циклонів за радіусом останньої замкнутої ізобари залежать від географічного району. Тихоокеанські тайфуни мають найбільший діаметр $\sim 600-800$ км, урагани Атлантики - 400 км. Тропічні циклони – це масштабні вихори, які простираються по вертикалі до 15-18 км. У центральних областях ТЦ градієнт тиску може складати 60 гПа на 100 км, а іноді до 20 гПа на 20 км.

У структурі ТЦ виділяють 3 концентричні частини (рис.1.1):

- 1) зовнішня частина з внутрішнім радіусом 30-50 км, де швидкість вітрів рівномірно збільшується при наближенні до центру циклону;
- 2) середня частина – «стіна ока», характеризується найбільшими швидкостями вітру;
- 3) центральна частина діаметром 30-60 км - «око бурі»

«Око бурі» – це найбільш внутрішня, звичайно вільна від хмар зона ТЦ всередині і поблизу зони максимальних вітрів, з обмежувальною «стіною» хмарності. Тиск в цій області мінімальний, вітри слабкі, напрямок мінливий. Око утворюється в ТЦ не завжди, лише коли тиск у центрі на рівні моря падає нижче 985 гПа і максимальна швидкість вітру перевищує $23\text{--}25\text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$.

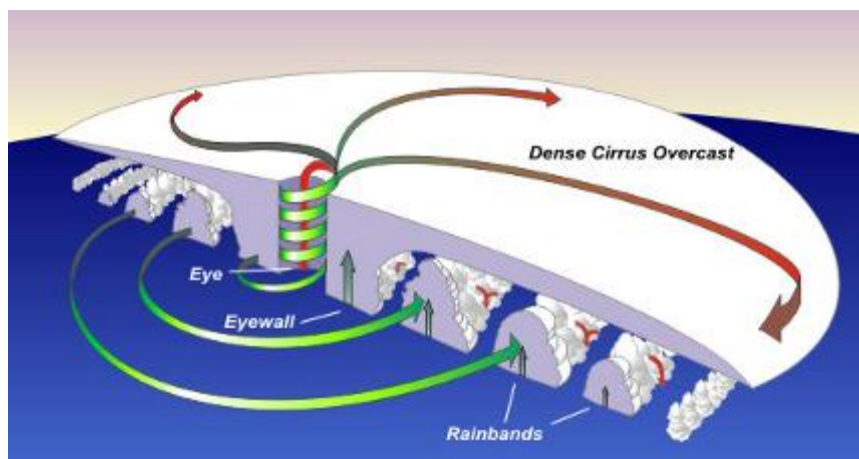


Рис. 1.1. Структура тропічного циклону

Іншою характерною структурною рисою ТЦ є спіральні смуги купчасто-дощових (Cb) хмар і дощу, що рухаються проти годинникової стрілки (у Північній півкулі) навколо центра ТЦ. Хмарність тропічних циклонів на ТВ і ІЧ знімках зображується у вигляді великої яскраво-білої плями з короткими спіралеподібними відгалуженнями, що відходять від нього, або у виді коми. У південній півкулі система має дзеркально-зворотню форму, тобто вид переверненої коми. Характерна поява на периферії циклона щільних спіралеподібних смуг хмарності, що конвергують до центру по циклонічних лініях току. Віддаляючись від циклону, смуги звужуються – в результаті в тилівій частині ТЦ формуються одна або дві конвективні хвостові смуги. Тропічні шторми найчастіше мають 2 хвостові хмарні смуги: одна з них розташовується в південно-західній частині тропічного циклона, а друга - у північно-східній.

ТЦ супроводжуються сильними дощами, повеннями, у відкритому морі - утворенням хвиль висотою $\geq 10\text{ м}$, штормовими нагонами, дуже сильними вітрами, зливами; іноді грозами (добові суми опадів до $100\text{--}200\text{ мм}$, іноді більше 300 мм ; вітри $\geq 70\text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$). Радіус сильних вітрів $\geq 300\text{ км}$, максимум швидкості вітру спостерігається на висоті близько 1 км .

Середня тривалість урагану - близько 9 днів, максимальна - 4 тижні.

Основне джерело, що підтримує існування ТЦ - виділення прихованої теплоти конденсації вологи, максимальної над тропічними частинами океанів. В зоні виникнення ТЦ температура поверхневих вод океанів коливається між 26° і 27° . Висока температура води у північній півкулі встановлюється влітку і восени, тому тропічні циклони утворюються тут переважно в другій половині літа і восени. Навесні й у першій половині літа вони виникають рідко, а в січні-квітні їх зовсім не буває, а серпень, вересень і жовтень є місяцями найвищої повторюваності ТЦ.

Швидкість руху тропічних циклонів значно менша швидкості переміщення позатропічних циклонів, і рідко перевищує $15\text{--}20 \text{ км}\cdot\text{год}^{-1}$. Має місце тенденція до переміщення ТЦ в області з більш теплою поверхнею води. ТЦ звичайно зміщуються з більш низьких у більш високі широти.

Виділяють стадії розвитку тропічних циклонів: тропічна депресія (TD); тропічний шторм (TS) $34\text{--}47 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$; сильний (жорстокий) тропічний шторм (STS) $48\text{--}63 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$; ураган, тайфун Hr (Ty, T) $\geq 64 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$.

Для опису сили тропічних циклонів застосовують шкали, які відрізняються між собою за силою максимального вітру прийнятого в розрахунках і за океанічними басейнами, де зароджуються циклони. Тропічні циклони, що утворюються на півночі Атлантичного або на сході Тихого океанів, класифікуються за шкалою ураганів Саффіра-Сімпсона.

ТЦ присвоюють власні імена, така система допомагає швидше запам'ятати і розпізнати погоду небезпеку: короткі імена замість координат використовуються ЗМІ і службами оповіщення. При цьому імена отримують шторми зі стабільною швидкістю вітру більше $62 \text{ км}\cdot\text{год}^{-1}$.

У 1953 році з'явилася міжнародна система назв для ураганів і штормів, підготовлена ВМО за підтримкою Національного ураганного центра США.

У кожного регіону - свої імена. Усі вони опубліковані на сайті ВМО.

Усього в Атлантичному океані шість списків по 21-му імені, що знаходяться в ротації. (у 2018 році використовується один набір назв, у 2019 – другий; у 2022 році знову повториться список 2013 р.). Імена теж чергуються - спочатку в алфавітному йде жіноче, потім чоловіче. Букви «Q», «U», «X», «Y» і «Z» пропускаються. Якщо протягом року список закінчується, а шторми продовжують формуватися, вони називаються буквами грецького алфавіту. Використання тих же імен через кілька років знову може привести до плутанини. На цей випадок ВМО щороку влаштовує збори, на яких видаляють деякі назви ТЦ, як правило, найбільш руйнівних [9-10, 13-15, 18-20].

2 УРАГАНИ АТЛАНТИКИ

2.1 Загальні характеристики

Атлантичний сезон ураганів (Atlantic Hurricane Season) - умовна назва щорічного періоду формування найбільш інтенсивних ураганів у середній частині північної половини Атлантичного океану. Тропічні циклони, що утворюються в цій зоні, називаються, у залежності від інтенсивності, ураганами, тропічними штормами або тропічними депресіями.

В Атлантичному океані ТЦ виникають тільки в північній півкулі. Більшість північноатлантичних тропічних штормів і ураганів формуються в період з 1 червня до 30 листопада. Національний центр ураганів США [18] здійснює моніторинг басейну і надає звіти, години і попередження про тропічні погодні системи для Північноатлантичного басейну в якості одного з регіональних спеціалізованих метеорологічних центрів для тропічних циклонів, як визначено ВМО [17, 20].

В середньому, в басейні Північної Атлантики 11 штормів реєструються кожного сезону, в середньому 6 стають ураганами, а 2 стають ураганами категорії 3 або більше.

Пік тропічної активності в регіоні досягає максимуму наприкінці літа, коли різниця між температурами у верхніх шарах атмосфери і морських температур прогрітої поверхні води є максимальною. Кліматологічний пік активності виділяється близько 10 вересня кожного сезону.

У північній частині Атлантичного океану тропічні циклони виникають:

- 1) до сходу від Малих Антильських островів і в Карибському морі, на схід 70° зах.д.;
- 2) до півночі від Вест-Індії;
- 3) у західній частині Карибського моря;
- 4) у Мексиканській затоці.

Частина циклонів проходить уздовж східного узбережжя США або по середній частині Атлантичного океану до півночі, зрідка досягаючи навіть Європи, Ісландії і Гренландії. Спочатку ураган, як правило, переміщується на захід по екваторіальній периферії субтропічних антициклонів, потім зростає складова руху у бік полюсу. На західній периферії субтропічного антициклона ураган досягає точки повороту, де складова руху до заходу змінюється складовою до сходу [16].

У перших трьох стадіях (тропічна депресія, тропічний шторм, ураган) ТЦ північної півкулі переміщуються, як правило, у західному і північно-західному напрямку по південно-західній периферії субтропічного антициклона. У стадії трансформації тропічного циклона в полярно-фронтний циклон (на широті 20-30°) ТЦ змінюють напрямок руху на північний і потім на північно-східний і східний. У зв'язку з переходом на полярний фронт ТЦ потрапляють у зону південно-західних висотних потоків. Оформлення висотної баричної улоговини до північно-заходу від центра приземного циклона звичайно є вказівкою на можливість повороту циклона до північного сходу. Точка повороту в Атлантичному океані лежить у середньому на широті 28°. Чим ближче до екватора виник циклон, тим південніше буде його точка повороту. У період максимальної повторюваності ТЦ райони їхнього виникнення і точки повороту лежать значно північніше середнього багаторічного положення.

Траєкторії циклонів не завжди мають правильну геометричну форму (пряму, параболу, гіперболу). Дуже часто на фоні правильної траєкторії циклона з'являються «перекручування» (опуклості, увігнутості, петлі, зсув до південно-заходу або південно-сходу) для циклонів північної півкулі. Причиною руху ТЦ за «неправильними» шляхами є нестійкість деформаційного поля, утвореного полярною улоговиною, східною хвилею й областями високого тиску. Задовільним показником зсуву ТЦ по неправильній траєкторії є рух гіперболічної точки деформаційного поля. Вона як би повторює траєкторію переміщення тропічного циклона.

Великий вплив на характер траєкторії руху циклона має неоднорідність підстильної поверхні (наявність островів, рифів), а також неоднорідність температури поверхневого шару води (чергування осередків тепла і холоду).

Використовуючи прогностичні карти баричних полів за кілька послідовних термінів, можна визначити траєкторію руху гіперболічної точки деформаційного баричного поля (поверхні 700 або 500 гПа), а тим самим і траєкторію переміщення тропічного циклона [2].

2.2 Ефекти тропічних циклонів у Європі

Урагани утворюються в тропічній зоні Атлантичного океану, але їхній вплив не обмежений цією зоною. Багато ураганів відходять далеко від тропіків і невелике число навіть має вплив на погоду Західної Європи, в

основному у вигляді сильного вітру й опадів. Слід зазначити, що на етапі наближення до узбережжя Європи вони вже не є дійсними ураганами, оскільки вони не мають високих швидкостей вітру і низького тиску, типового для ТЦ. Їх вплив на погоду Західної Європи ще необхідно цілком вивчити, оскільки вони складають дуже невеликий компонент загальних погодних умов і відзначаються епізодично - в деяких роках по кілька випадків, а в інших - жодного. Дослідження свідчать [8, 11], що хвостовий кінець класичних ураганів і тропічних штормів біля узбережжя Європи в останні роки реєструється набагато частіше, ніж було відоме раніше.

Інтерес представляють також випадки трансформації ТЦ у полярно-фронтний або його взаємодія з позатропічними збуреннями, що може за кілька годин істотно змінити синоптичну ситуацію в Західній Європі. Підвищення температури поверхні тропічних поверхонь Атлантичного океану простирається на схід по сприятливому тропічному середовищу циклонів, що призводить до більш частих і інтенсивних ураганів, спрямованих у бік Європи. По шляху вони перетворюються у позатропічні депресії і регенерують після злиття з барокліним потоком бароклініки середньої широти. Тропічні циклони здатні взаємодіяти з позатропічними збуреннями, підсилюючи них. У цих процесах виділяються три стадії: тропічна фаза, позатропічна трансформація, повторне поглиблення. Зокрема, при взаємодії тропічного циклона з полярним фронтом відбувається викид великої кількості енергії, при цьому теплі і насичені вологою повітряні маси надходять у теплий сектор полярно-фронтального циклона [3-5].

Європа безпосередньо не піддається впливу тропічних циклонів, однак деякі тропічні циклони, маючи складну траєкторію над Північною Атлантикою, перетворюються в шторми в середніх широтах під час позатропічного переходу, а потім досягають Європи в якості, так званих, посттропічних циклонів. Наукові підрозділи по моделюванню ризиків від ТЦ починає включати ці типи штормів у свої моделі.

Кліматологічна роль посттропічних циклонів для Європи в сучасний період, і її зміни з глобальним потеплінням багато в чому залишається невивченою. Наприклад, у результаті моделювання єдиної кліматичної моделі отримані попередні дані про те, що в наступному сторіччі на Європу вплине більше посттропічних циклонів через більш теплу поверхню моря в північно-східній Атлантиці [6-7].

На рис. 2.1 (а) проілюстровані сліди всіх атлантичних ураганів, що утворилися між 1851 і 2012 рр. та сліди ТЦ, які вийшли до Європи в період з 1851 по 2014 рр. (рис.2.1 (б)).

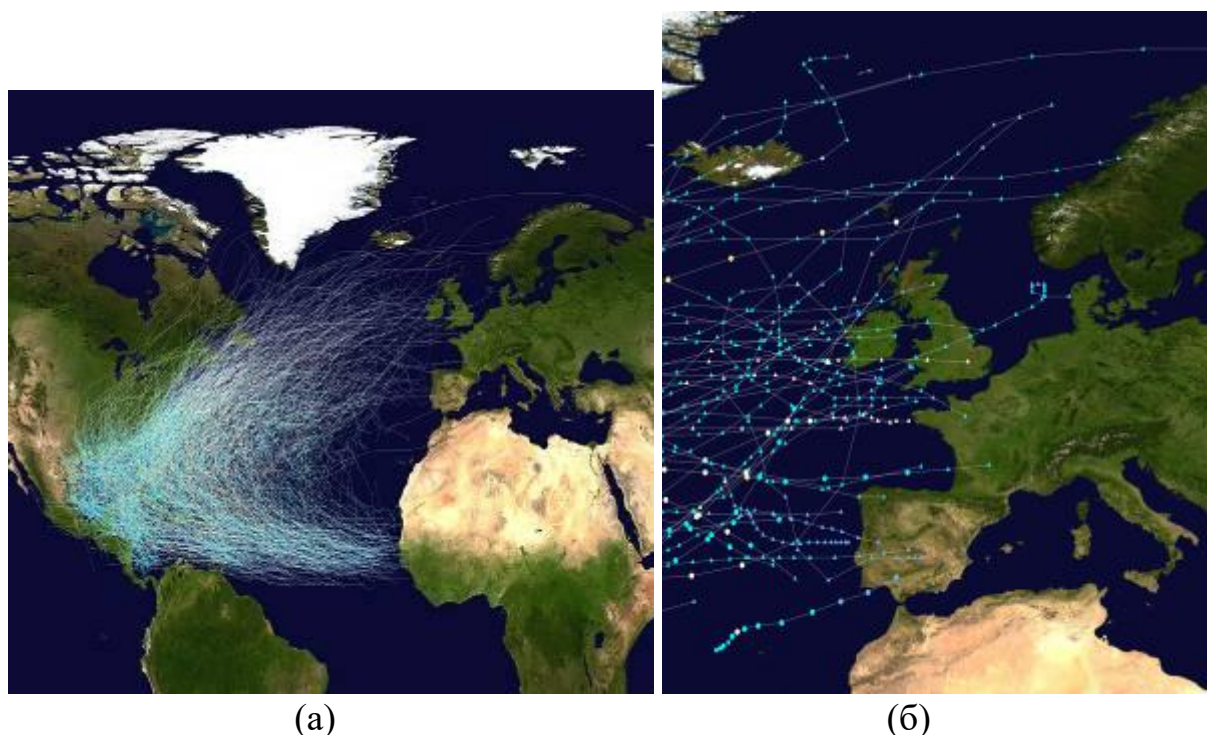


Рис. 2.1. Траєкторії атлантичних тропічних циклонів [17]

Несприятливі наслідки, викликані проходженням ТЦ, ставлять на перший план необхідність своєчасного і деталізованого прогнозу траєкторій ТЦ, що дозволило б проводити точкову, а не повсюдну евакуацію населення підготовку об'єктів інфраструктури, більш вигідну, з економічної точки зору. Важливе значення здобуває повернення (на новому рівні, з використанням сучасних мезомасштабних чисельних моделей атмосфери) до моделювання взаємодії ТЦ з іншими синоптичними об'єктами і підстильною поверхнею, оскільки така взаємодія може істотно змінити траєкторію й інтенсивність тропічного циклона. Зведення про детальну структуру вихору і її трансформацію в процесі розвитку корисні з погляду прогнозу збитків, що наносять ТЦ при проходженні над населеними пунктами, оскільки інтенсивність ТЦ неоднакова в різних його частинах і в різний час доби [5].

Становлять інтерес спроби сезонного прогнозу частоти випадків позатропічної трансформації тропічних циклонів. Для цих досліджень корисною є супутникова інформація в різних діапазонах частот, зокрема в діапазонах водяної пари [3-4].

Через збільшення зареєстрованої кількості атлантичних тропічних циклонів та їх інтенсивності, починаючи приблизно з 1995 р., висувуються припущення про зв'язок активності тропічних циклонів із глобальним потеплінням. Дослідження [17] також показують, що в міру підвищення температури поверхні океану (ТПО) протягом наступних 50-100 років буде формуватися, у середньому, на два урагани в рік більше, ніж зараз.

У контексті таких змін існує ймовірність того, що частота виходу ТЦ і їх вплив на погодні умови Західної Європи буде збільшуватися, що поряд із сильним вітром, опадами і повеннями може привести до збільшення числа загиблих і травмованих та значних збитків, подібно найбільш екстремальним явищам, пов'язаних із масштабними й інтенсивними середньо широтними штормами. У результаті необхідно приділяти більше уваги таким процесам і повторюваності з якою вони зачіпають Західну Європу.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТРОПІЧНИХ ШТОРМІВ НА ПОГОДНІ УМОВИ ЄВРОПИ

3.1 Ураган Офелія 09-18.10.2017 р.

У період 9-18 жовтня 2017 р. над Атлантикою сформувався тропічний циклон, що отримав назву Офелія і став найбільш східним ураганом, зафіксованим в Атлантиці до 2017 р. [1, 18]. Ураган Офелія вважається гіршим штормом, щоб вплинув на Ірландію за останні 50 років. Три смерті безпосередньо спричинені ураганом в Ірландії. Загальні утрати від шторму з мінімальною оцінкою по всій Ірландії і Великобританії \$87,7 млн.

Офелія виникла як улоговина верхнього рівня в центральній частині субтропіків Атлантичного океану, яка посилювалася з 1 по 5 жовтня. Спочатку вона мала характеристики позатропічної системи низького тиску з холодним ядром. Ураган був класифікований Національним центром ураганів (ННС) у Флориді 9 жовтня, коли став чітко вираженою тропічною депресією, розташованою приблизно в 760 морських милях на північний захід від Азорських островів, з областю глибокої конвекції на схід від його центру.

Температура поверхні океану близько 26,5 °С, була достатньо високою, щоб забезпечити інтенсифікацію, наявність більш холодного, середнього і верхнього потоку повітря і низького вертикального зсуву вітру дозволяло системі продовжувати посилюватися протягом наступних годин, до урагану 2 категорії до вечора 12 жовтня. Надалі ураган здобув більшу швидкість, оскільки 14 жовтня він перемістився на північний схід в середні широти.

Ураган досяг максимальної інтенсивності в 100 вузлів, тобто категорії 3 за шкалою Саффіра-Сімпсона, в той час як він рухався зі швидкістю 22 вузла. До 15 жовтня ураган Офелія почав слабшати, стаючи сталим в посиленому потоці іншої масштабної улововини середніх широт, що зміщувалася на схід в Атлантиці. Екстратропічний перехід був завершений до 00 UTC 16 жовтня, і потужний позатропічний циклон продовжував рухатися в напрямку Ірландії зі швидкістю 40 вузлів, в результаті спостерігалася різка зміна напрямку вітру і тиск впав до 959 гПа. Офелія пройшла над цим районом, як позатропічний/екстратропічний циклон приблизно о 11:00 UTC з мінімальним тиском 959,3 гПа – рис.3.1 (а). На 17 число циклон перетнув Північне море і змістився на західну Норвегію, з поривами вітру до 70 км·год⁻¹, 18 жовтня залишки Офелії розсіялися.

Як правило, тропічні урагани переміщуються по західній периферії потужного Азорського максимуму у південно-західному ведучому потоці на схід і, тим самим, не можуть значно просунутися на схід до Азорських островів. Цього разу Азорський антициклон, змістившись у бік південної Європи, «оголив» східну частину Атлантики, тим самим «дозволив» Офелії зміститися досить далеко – рис.3.1 (б).

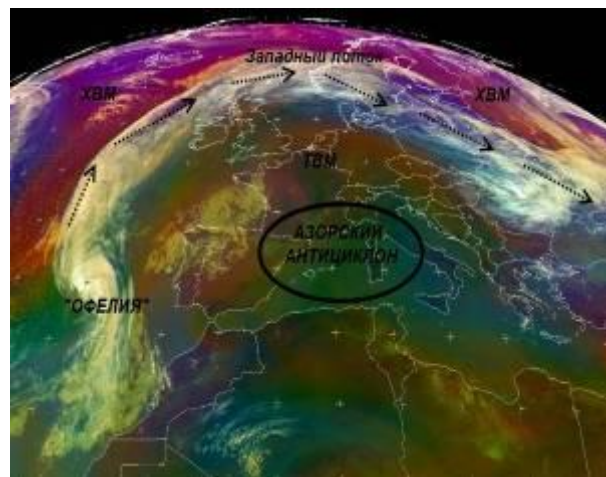
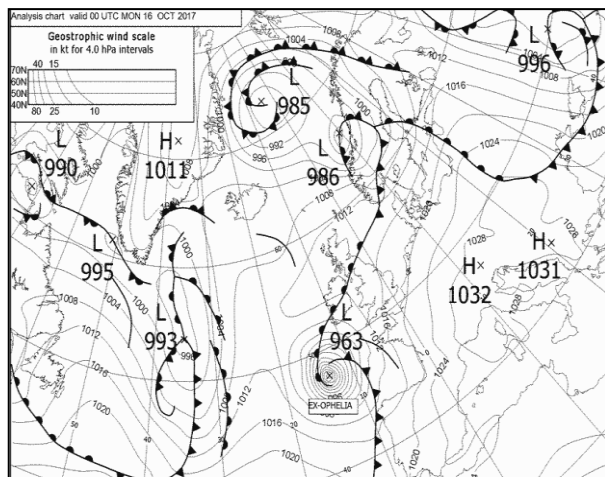
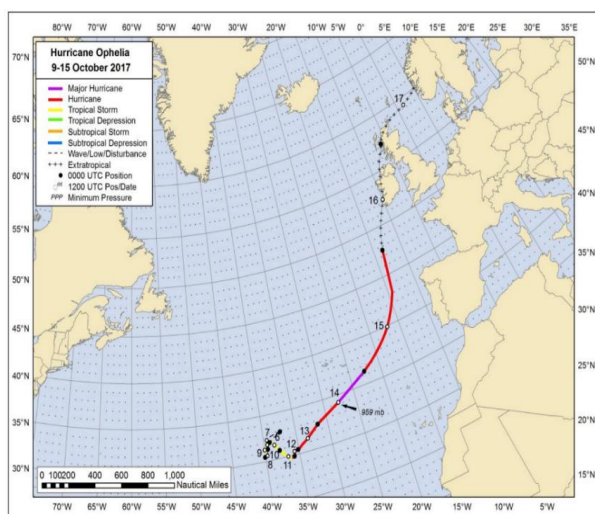


Рис.3.1. Приземний аналіз 16.10.2017 р., 00 UTC – (а); супутниковий знімок RGB AIRMASS 15.10.2017 р. – (б).

На рис.3.2 наведено траєкторію руху урагану: рис.3.2 (а) – кольорові позначення відповідно інтенсивності вихору; рис.3.2 (б) – супутникове зображення хмарності траєкторії урагану .



(а)

(б)

Рис.3.2. Трек урагану Офелія 09-15.10.2017 р.

У циклоні сформувалося чітке «око бурі» - рис.3.3.

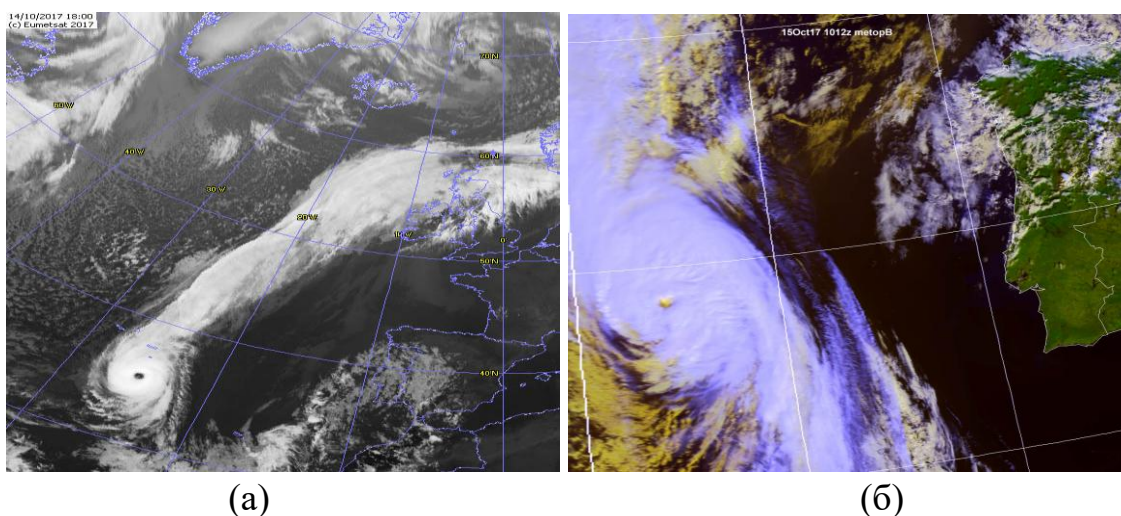


Рис.3.3. Супутникові знімки хмарності: (а) – MSG 14.10.17, 18:00 UTC;
(б) - metop B 15.10.17, 10:12 UTC

Характеристики урагану: максимальні стійкі вітри $185 \text{ км} \cdot \text{год}^{-1}$ (висота хвиль до 17 м біля узбережжя Ірландії); мінімальний тиск 959 гПа.

3.2 Ураган Леслі 23.09-16.10. 2018 р.

Ураган Леслі (відомий як шторм чи циклон Леслі біля Португалії й Іспанії) став найсильнішим циклоном тропічного походження, що вдарив по Піренейському півострову з 1842 р. Сформувався 22 вересня та розпався 16 жовтня 2018 р. – рис.3.4.

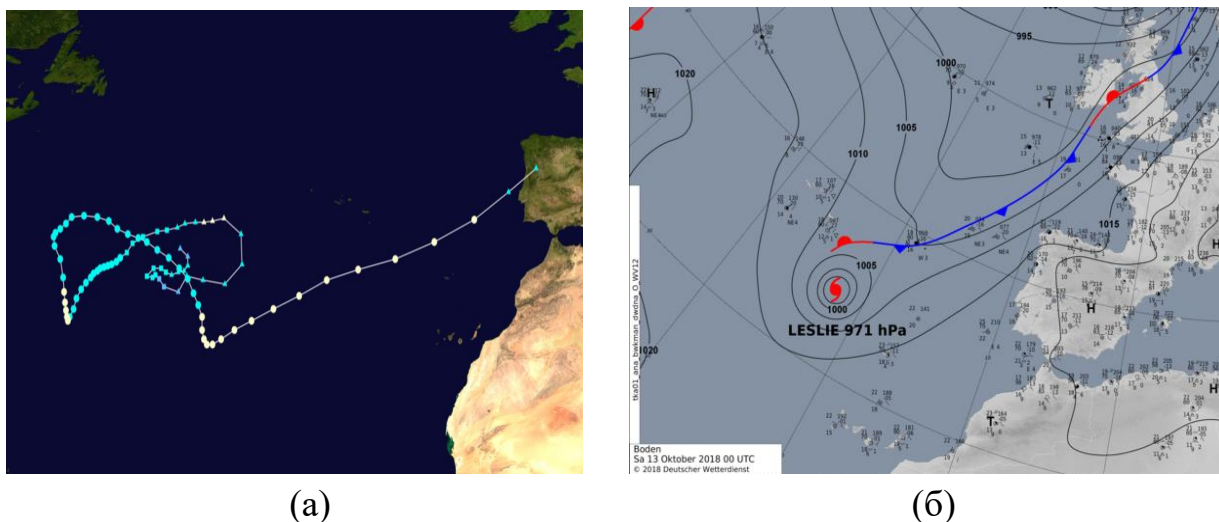


Рис.3.4. Трек урагану Леслі 09-15.10.2018 р. – (а);
приземний аналіз 13.10.2018 р., 00 UTC – (б).

Урагану надана категорія 1 за шкалою ураганів Саффіра-Сімпсона (SSHWS), показники урагану – максимум швидкості вітру $150 \text{ км} \cdot \text{год}^{-1}$, найсильніші пориви $42 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ (81 вузол), мінімальний тиск 968 гПа. В результаті катастрофічних повеней і руйнувань загинуло 16 осіб (4 у Португалії; 14 у Франції); загальні збитки від стихії склали 500\$ млн. Найбільше постраждали райони Азорських островів, Бермуди, східне узбережжя США, Мадейра, Піренейський півострів, Франція.

Слід відмітити траєкторію урагану Леслі, як найбільш незвичайну. Циклон виник наприкінці вересня як субтропічний шторм, довго переміщувався по центральній Атлантиці, петляючи, слабшаючи і знову підсилюючись. У підсумку, після двох з половиною тижнів свого існування, він розвився до стадії урагану і спрямував рух на північний схід. 14 жовтня ТЦ Леслі обрушився на західне узбережжя Португалії з вітрами $>30 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, при цьому відзначалися пориви $>45 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. Ураган спричинив потужні зливи не тільки у Португалії, але й Іспанії і півдні Франції; місцями випало до 110-140 мм у добу, що складало дві місячні норми.

19 вересня Національний ураганний центр (ННС) почав моніторинг потенційної позатропічної системи низького тиску, що сформувалась у кількох сотнях кілометрів на південний-захід від Азорських островів, з можливим поступовим набуттям тропічні та позатропічних характеристик. Рухаючись над північно-східною Атлантикою ТЦ швидко набув субтропічних ознак і 23 вересня о 15:00 UTC був класифікований ННС як субтропічний шторм Леслі [18].

25 вересня ТЦ ослаб до субтропічної депресії, а починаючи з 28 вересня Леслі знову став поглиблюватися і зміщатися на південний захід у результаті чого 29 вересня у 1800 км на захід від Азорських островів він становиться повністю тропічним після утвореного антициклонічного відтоку на північному та південному сході. Крім того, у ТЦ Леслі сформувалася глибоко шарова тепла структура ядра. Упродовж наступних півтори доби Леслі дрейфував північною Атлантикою без змін інтенсивності.

3 жовтня Леслі поглибився до урагану 1 категорії. Глибока конвекція, що оточувала ТЦ, значно посилилася і у хмарному масиві сформувалося чітке низькорівневе око (рис.3.5). О 15:00 UTC Леслі досяг піку початкової інтенсивності з максимальним тривалими вітрами у $130 \text{ км} \cdot \text{год}^{-1}$ і мінімальним тиском 975 гПа. 4 жовтня о 21:00 UTC Леслі перетворився на тропічний шторм і продовжував слабшати. Проте вже 10 жовтня Леслі знов став ураганом; 12 жовтня о 03:00 UTC ТЦ досяг своєї пікової інтенсивності з

максимальними вітрами $150 \text{ км} \cdot \text{год}^{-1}$ та мінімальним тиском 969 гПа . На наступний день продовжував слабшати, зміщуючись на північний схід. 13 жовтня Леслі перейшов у позатропічний цикллон, приблизно в 150 км від Лісабона. 15 жовтня Леслі досяг Франції, а 16 жовтня повністю розпався над півднем країни.

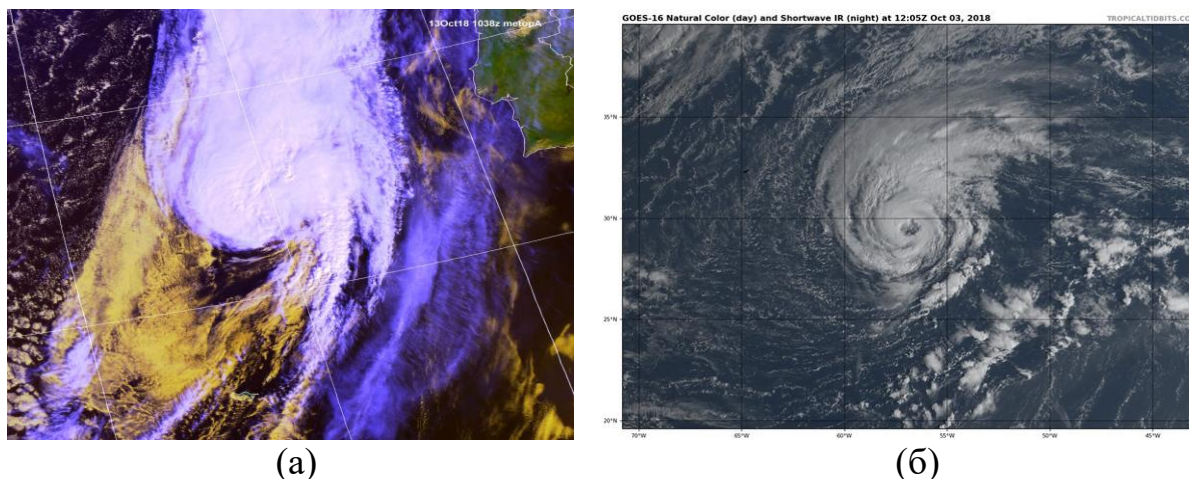


Рис.3.5. Супутникові знімки хмарності 03.10.2018 р.:
(а) - metop A, 10:38 UTC ; (б) – GOES-16, 12:05 UTC

3.3 Ураган Лоренцо 23.09-04.10.2019 р.

Ураган Лоренцо, також відомий як шторм Лоренцо, досягнув Ірландії і Великобританії і став найсильнішим у центральній частині Атлантики за весь період спостережень за ними, другим ураганом 5 категорії сезону атлантичних ураганів 2019 р. – рис.3.6.

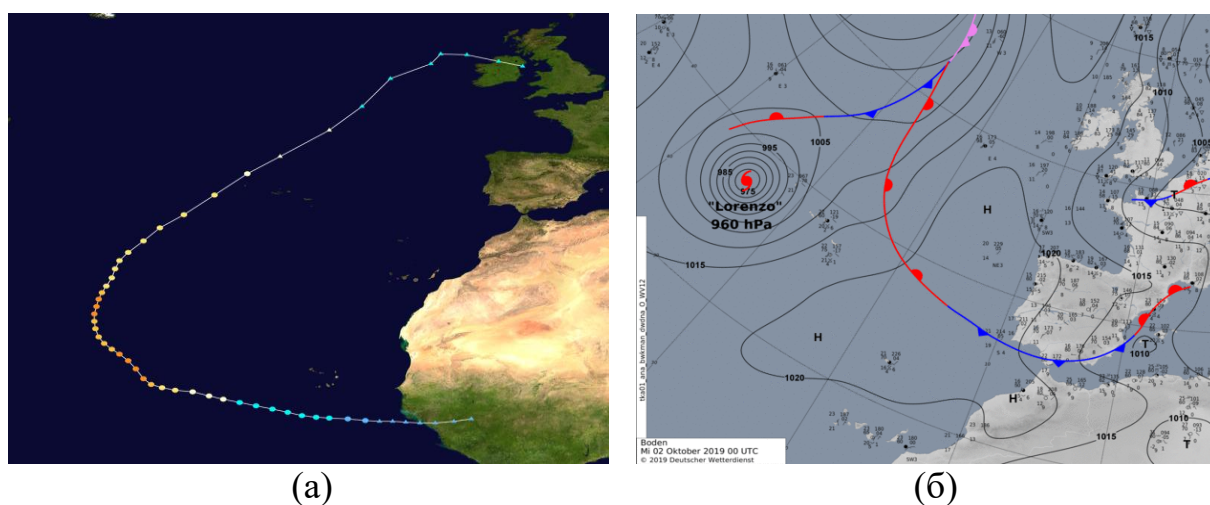


Рис.3.6. Трек урагану Лоренцо 23.09-04.10.2019 р. – (а);
приземний аналіз 02.10.2019 р., 00 UTC – (б).

Зафіксовані показники: вітер 1-хвилинний інтервал: $260 \text{ км} \cdot \text{год}^{-1}$; мінімальний тиск у центрі - 925 гПа; число загиблих 10; 7 осіб пропали безвісти; збитки \$362 млн. Райони, постраждалі від ТЦ: Західна Африка, Кабо-Верде, Малі Антильські острови, схід Сполучених Штатів Америки, Азорські острови, Британські острови, Франція.

19 вересня Національний центр ураганів (ННС) [18], почав моніторинг тропічної хвилі, що за прогнозами вийде від західного узбережжя Африки. 22 вересня тропічна хвиля вийшла в Атлантичний океан. За сприятливих умов система швидко оформилась і в 03:00 UTC 23 вересня ННС ініціювала рекомендації по тропічній депресії. На 24 число депресія посилювалася до тропічного шторму і була названа Лоренцо на південь від Кабо-Верде.

25 вересня, усе ще при сприятливих умовах, шторм набув характеристик урагану категорії 1. На кінець доби – ТЦ Лоренцо посилювався до урагану категорії 2. Вранці 26 вересня шторм завершив цикл розвитку і піддався швидкій інтенсифікації, досягши категорії 4 на 15:00 UTC. ТЦ Лоренцо продовжував активізуватися, досягши своєї первісної пікової інтенсивності з максимальним стійким вітром $230 \text{ км} \cdot \text{год}^{-1}$ і центральним тиском 939 гПа на початку 27 вересня. Тиск продовжував падати до 937 гПа протягом наступних декількох годин. Проте надалі ураган дещо ослаб з початком другого циклу при повороті руху на північ і зниженні температури води, хоча показники зберігалися на рівні 28°C , сильний зсув вітру почав руйнувати ураган і він зберігся у 3-й категорії 28 числа. Всього через 12 годин вранці 29 вересня ТЦ посилювався до максимальної 5 категорії за шкалою ураганів Саффіра-Сімпсона (SSHWS) ($257 \text{ км} \cdot \text{год}^{-1}$). Ніколи раніше ураган п'ятої категорії не спостерігався так далеко на сході Атлантики. Така ситуація стала наслідком сполучення атмосферних і океанічних факторів: зсуву вітру і дуже теплої поверхні океану.

Пік урагану Лоренцо був нетривалим через збільшення зсуву вітру, більш прохолодної води, вторгнення сухого повітря і третього циклу зміни стінки ока урагану на 30 вересня. 2 жовтня тропічний ураган ослабнув до шторму категорії 1, обігнув з заходу Азорські острова і вийшов точно на острови Флорес і Корво. Через великі розміри удар тропічної стихії відчули і на інших островах архіпелагу (вітер до $163 \text{ км} \cdot \text{год}^{-1}$). Після проходження Азорських островів Лоренцо почав трансформацію в позатропічний циклон, на що вказувала усе більш асиметрична хмарна система. Позатропічні залишки Лоренцо надалі вплинули на Ірландію і Великобританію 3 і 4 жовтня, спричинивши стихійні вітри і зливи (висота хвиль до 12 м).

Крім того, що Лоренцо є найбільш східним атлантичним ураганом категорії 5, цей ТЦ показав найвищий накопичений індекс енергії циклона (АСЕ) будь-якого атлантичного тропічного циклона, зафіксованого до сходу від 45° зах.д. – 31,87 (з 22.09 по 02.10.2019) [18].

Кінетична енергія пропорційна квадрату швидкості, і, зміні енергії за проміжок часу накопичення енергії. В міру збільшення тривалості шторму складаються додаткові значення і індекс АСЕ також збільшується так, що більш тривалі шторми можуть накопичуватися більше АСЕ, чим більш потужні шторми меншої тривалості. Хоча АСЕ є значенням, пропорційним енергії системи, це не прямий розрахунок енергії:

$$ACE = 10^{-4} \sum v_{\max}^2 \quad (3.1)$$

Додатково, ураган перебував у секторі на схід від 45° зах.д. довше, ніж будь-який попередній ТЦ Атлантики.

Показову хмарну систему Лоренцо ілюструють знімки МШСЗ - рис.3.7.

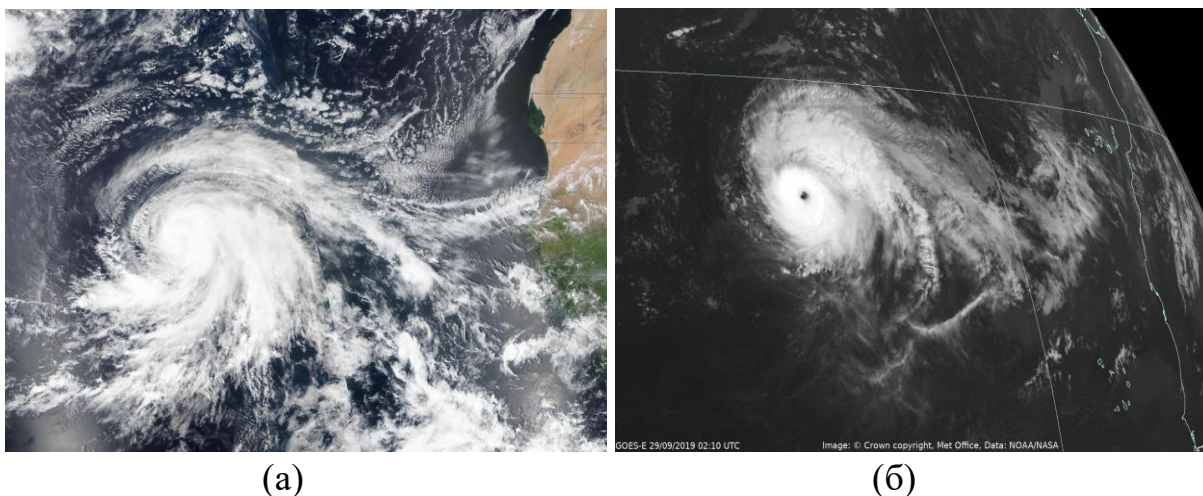


Рис.3.7. Супутникові знімки хмарності: (a) - NASA-NOAA's Suomi NPP 25.09.19 – 3 категорія; (б) – GOES-E 29.09.19 – 5 категорія

У підсумку, за траєкторіями найбільш складною петлеподібною виділився ТЦ Леслі 2018 р., а ТЦ Лоренцо 2019 р. мав траєкторію у вигляді дуги, при огинанні Азорського максимуму по західній периферії у відповідності до антициклонічної циркуляції. За інтенсивністю беззаперечно домінує ураган Лоренцо восени 2019 р. – 5 категорія.

4 АНАЛІЗ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ АТЛАНТИКИ

Як відомо, тропічні циклони виникають над теплою водною поверхнею, над якою існує потужний шар вологого повітря. Основну роль у формуванні тропічних циклонів відіграє нестійкість тропічної атмосфери. Вона є стимулюючим чинником формування циклону поряд з іншими динамічними і термічними причинами. Влітку енергія нестійкості тропічної атмосфери більша, ніж узимку. Це певною мірою пояснює факт більш частого виникнення тропічних циклонів у теплий період року.

Тропічні циклони формуються в районах, де спостерігається висока температура поверхневого шару води (вище 26-27°C), а різниця температур вода-повітря більш 1-2 °C. Це призводить до посилення випаровування, збільшення запасів вологи у повітрі, що певним чином визначає накопичення теплової енергії в атмосфері і сприяє вертикальному підйому повітря. Потужна тяга, що з'являється, захоплює все більші об'єми нагрітого і зволоженого над водною поверхнею повітря, а обертання Землі надає підйому повітря вихровий рух.

Чим більше різниця температур вода-повітря і чим вищі їхні абсолютні величини, тим інтенсивніше відбувається процес конвекції. Безперервне надходження тепла і вологи від океану в атмосферу викликає поступове, а іноді і стрибкоподібне виділення прихованої теплоти паротворення, що витрачається на поглиблення ТЦ.

В усіх регіонах виникнення ТЦ їх активність досягає максимуму наприкінці літа, коли різниця температури між океанською поверхнею і глибинними шарами океану найбільша.

В рамках даного дослідження доцільним є проведення аналізу термічного стану Атлантики у періоди існування вище досліджених ТЦ.

Для дослідження використано кліматичні дані [18].

Строки життя ТЦ Леслі (2018 р.) і Лоренцо (2019 р.) припали на кінець вересня і початок жовтня, а Офелії (2017 р.) – на першу половину жовтня, в результаті осереднені місячні дані аномалії температури води в Атлантиці у повній мірі не відобразять процес, проте загальні показники демонструють сприятливий термічний фактор утворення і активізацію вихорів.

На рис.4.1 проілюстровані карти із зображенням щомісячних аномалій температури поверхні моря для Атлантико-європейського сектору відповідно для вересня і жовтня 2017, 2018, 2019 рр.

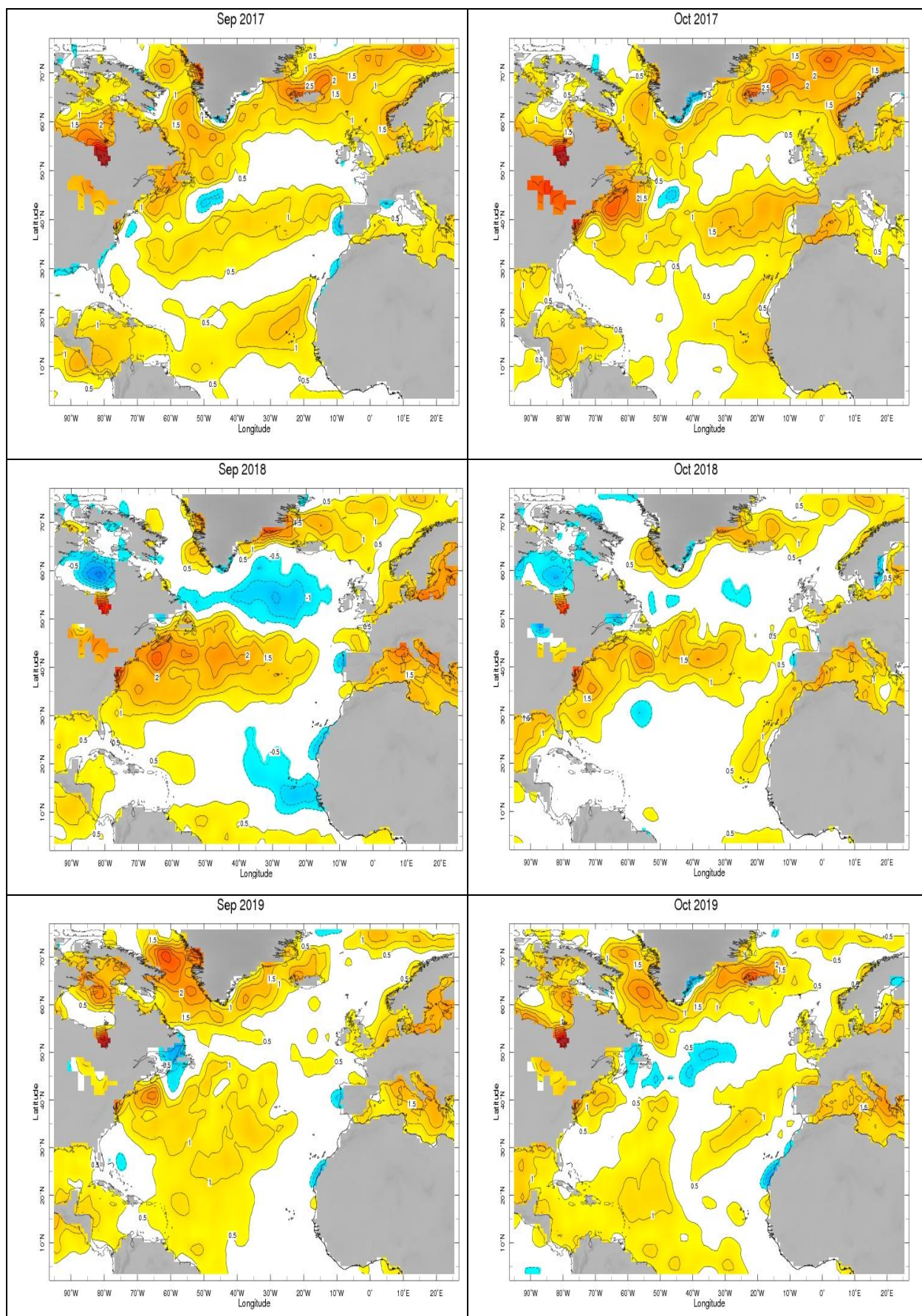


Рис.4.1. Карти місячної аномалії температури поверхні води

Такі щомісячні аномалії температури поверхні моря розраховуються стосовно кліматологічної норми 1971-2000 рр.. На карті жовті і червоні кольори вказують на райони, де температура поверхні моря за місяць вище кліматологічного значення за цей місяць року, а сині відтінки вказують на те, що температура поверхні моря нижче норми. Затінення починається з $0,5^{\circ}\text{C}$ (аномалії проконтуровані з інтервалом у $0,5^{\circ}\text{C}$).

Як показують карти розподілу аномалії температури води за жовтень 2017 р., аномалія у середніх широтах Атлантики $45\text{-}35^{\circ}$ зах.д. була вищою, ніж у вересні. Виділяється масштабна зона з показником додатної аномалії у $1,5^{\circ}\text{C}$ широтно видовженої з центральної Атлантики до узбережжя західної Європи. Ця область повністю співпадає з районом формування ТЦ Офелія.

Для складної траєкторії руху ТЦ Леслі восени 2018 р. терміка води також надає певне пояснення – тривале зберігання циклону над центральною Атлантикою, петляння, послаблення та посилення інтенсивності повністю узгоджується з поширеною плямою перегрітої води від східного узбережжя Північної Америки на центральну акваторію океану – додатна аномалія складала $2\text{-}2,5^{\circ}\text{C}$. Саме у вересні ураган мав поступальні хаотичні рухи, при цьому узбережжя Піренеїв характеризувалося ізольованою областю від’ємної аномалії температури води (1°C). Вже у вересні «язик» теплої води вище кліматичної норми простирається зонально до західного узбережжя Африки і Європи, по такому своєрідному каналу додатної аномалії температури води ($1\text{-}2^{\circ}\text{C}$) змінюється і траєкторія урагану Леслі.

Для урагану Лоренцо восени 2019 р. дугоподібну траєкторію від західного узбережжя Африки на центральну Атлантику і поворот на північний схід до Британії певною мірою характеризує розподіл аномалії температури води. Так, найбільша активність урагану у третій декаді вересня відповідає овальній масштабній зоні додатної аномалії, що охоплює практичну всю центральну акваторію океану ($1\text{-}1,5^{\circ}\text{C}$), а у жовтні вже виділяється 2 осередки теплої води у низьких і середніх широтах Атлантики, другий з них – видовжений з південного заходу $40\text{-}30^{\circ}$ зах.д. на північний схід до Біскайської затоки, узбережжя Іспанії та Франції повністю співпадає з рухом ТЦ Лоренцо на початку місяця.

На наступному етапі дослідження термічного стану Атлантики проаналізуємо середньомісячні показники температури води – рис.4.2. На картах нанесені щомісячні температури поверхні моря за версією Рейнольдса і Сміта OISST версія 2. Затінення вказує на середньомісячну температуру поверхні моря в зазначений місяць (контури нанесені з інтервалом $2,0^{\circ}\text{C}$).

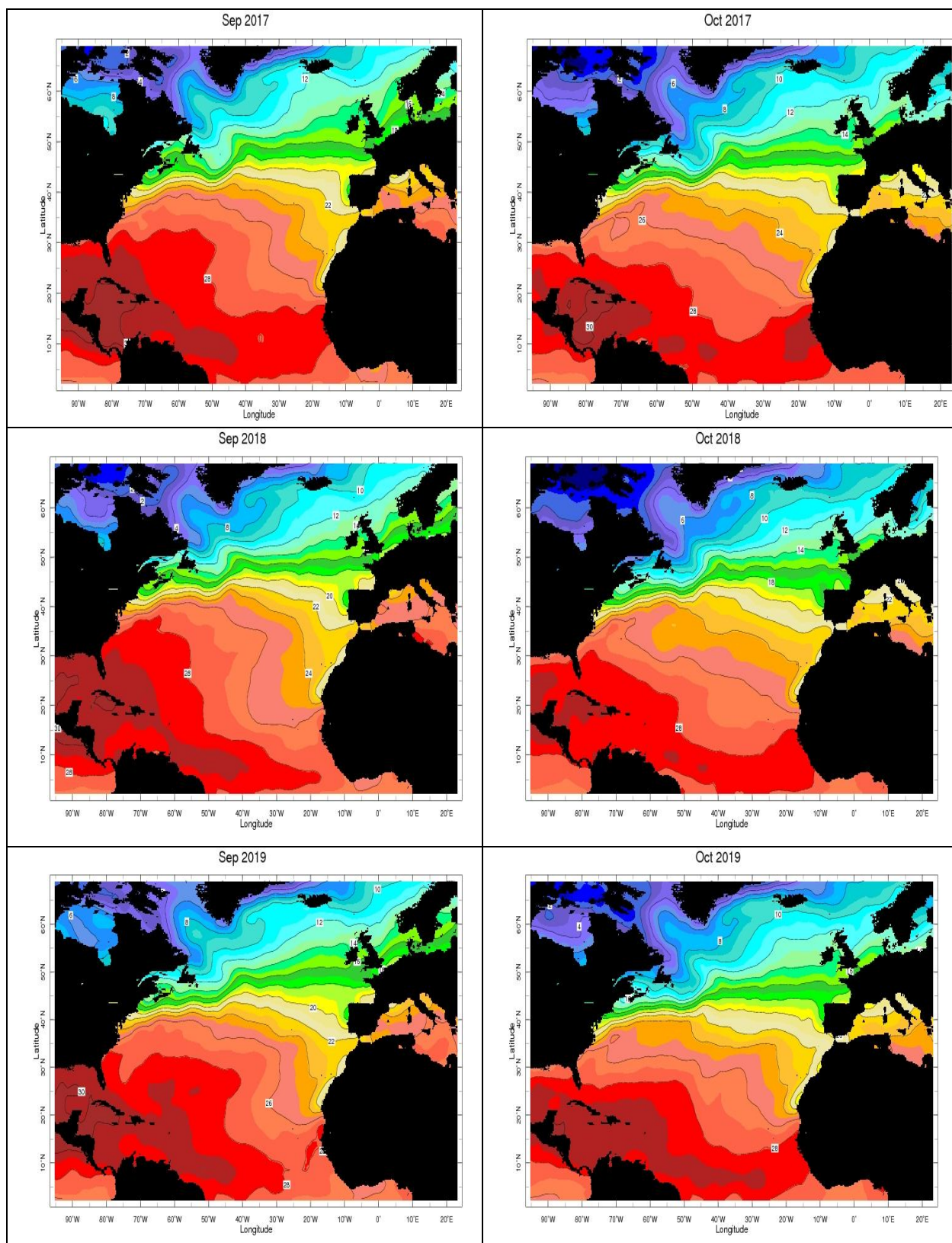


Рис.4.2. Карти місячної температури поверхні води

За картами розподілу середньомісячної температури води можна констатувати, що усі три розглянуті урагани виникли в областях з показниками температури води у 28-30°C.

ВИСНОВКИ

У даній конкурсній науковій роботі досліджено тропічні циклони Атлантики з нетиповими траєкторіями, а саме – рухом з центральної Атлантики на північний схід до узбережжя Європи і формування комплексу небезпечних і стихійних метеорологічних явищ на території країн Західної Європи.

В сучасних кліматичних умовах глобального потепління і, зокрема, підвищення температури води Атлантики, такі випадки виходу тропічних циклонів на Європу стають все частішими. За останнє десятиліття подібна ситуація траплялася практично кожного року (в окремих роках два ТЦ), тоді як у XX ст. подібні ситуації спостерігалися 1-2 рази на 10 років.

1. Досліджено 3 випадки формування ураганів над Атлантикою з поступовим переміщенням їх до Європи восени 2017-2019 рр.
2. Проаналізовано траєкторію руху і еволюцію ТЦ, у жовтні 2017 р. ТЦ Офелія досяг категорії 3 за шкалою ураганів Саффіра-Сімпсона (SSHWS); вересень-жовтень 2018 р. – ТЦ Леслі – ураган 1 категорії; вересень-жовтень 2019 р. ТЦ Лоренцо максимальна 5 категорія, цей ураган став найбільш «східним» атлантичним ураганом. Найбільш складна траєкторія руху і тривалість існування більше трьох тижнів належить урагану Леслі восени 2017 р.
3. Показники тиску у центрі ТЦ виділяють екстремум в урагані Лоренцо – 925 гПа, Офелія – 959 гПа, Леслі - 968 гПа. Відповідно до категорії небезпеки ураганів найсильніші вітри зафіксовані в урагані Лоренцо – 260 км·год⁻¹.
4. Проаналізовано стан термічного поля Атлантики як сприятливий фактор для виникнення ураганів. Так, у всіх випадках райони зародження ТЦ і їх траєкторії руху співпадали з осередками перегрітої води, додатна осереднена місячна аномалія складала від 1 до 2,5°C. Середньомісячні показники температури води в Атлантиці характеризують райони зародження досліджуваних ураганів в областях з відмітками 28-30°C.
5. Внаслідок впливу ураганів найбільших руйнувань і збитків зазнали Азорські острови, Піренейський півострів, Ірландія, Британія, Франція.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Антонюк Я.І., Нажмудінова О.М. Тропічні циклони у 2017р. Матеріали студентської наукової конференції ОДЕКУ 23-26 квітня 2018 р. / ОДЕКУ. – Одеса: ТЕС. – 2018. - С.219-222.
2. Мамедов Э.С., Павлов Н.И. Тайфуны. – Л.: Гидрометеоиздат, 1974. – 140с.
3. Нестеров Е.С. Экстремальные циклоны в Атлантико-Европейском регионе. М.: Гидрометцентр России, 2018. - 104 с.
4. Нестеров Е.С., Похил А.Э., Федоренко А.В. Об особенностях формирования глубоких циклонов в Северной Атлантике в осенний период. Гидрометеорологические исследования и прогнозы. - 2019. №2(372). - С. 92-101.
5. Похил А.Э., Глебова Е.С. Влияние тропического циклона Омар на погоду в Европе // Метеорология и гидрология, 2010. - № 9. - С. 36-42.
6. Baatsen M., Haarsma R.J., Van Delden A.J., De Vries H. Severe Autumn storms in future Western Europe with a warmer Atlantic Ocean. Clim. Dyn., 2015. – V.45. – P.949–964.
7. Haarsma, R.J., Hazeleger W., Severijns C., De Vries H., Sterl A., Bintanja R. et al. More hurricanes to hit western Europe due to global warming. Geophysical Research Letters, 2013. – V.40 (9). – P.1783–1788.
8. Kieran R. Hickey The Impact of Hurricanes on the Weather of Western Europe In: Anthony R. Lupo (eds). Hurricane Research - Climate, Dynamics and Societal Impacts. Croatia: InTech. – 2011. - P.78-84
9. Longshore D. Encyclopedia of Hurricanes, Typhoons, and Cyclones, New Edition. New York: Facts on File. 2008. – 480 p.
10. Sharkov E.A. Global tropical cyclogenesis. Berlin, Heidelberg, New York: Springer / PRAXIS, 2000. - 370 p.
11. Zappa, G., Shepherd T.G. Storylines of atmospheric circulation change for European regional climate impact assessment. Journal of Climate, 2017. - V.30(16). - P.6561-6577.
12. <http://iridl.ldeo.columbia.edu/>
13. <http://www.pogoda.by/>
14. <http://www.tropicalstormrisk.com/>
15. <https://meteoinfo.ru/033/m033.htm>
16. https://planet.iitp.ru/Oper_pr/Meteo_Cyclone.html
17. <https://www.met.ie/forecasts/national-forecast>
18. <https://www.nhc.noaa.gov/>
19. <https://www.weather.gov/jetstream/tc>
20. https://www.wmo.int/pages/prog/www/tcp/index_en.html