

УДК 911.2

**О. В. ХОЛОПЦЕВ**, д-р геогр. наук, проф., **О. В. БОЛЬШИХ**

*Перший український морський інститут*

ул. Рыбаков, 5, г. Севастополь 99000

[kholoptsev@mail.ru](mailto:kholoptsev@mail.ru)

## **ВІДГУК ОЗОНОСФЕРИ НА ЗМІНИ РОЗПОДІЛУ ПОВЕРХНЕВИХ ТЕМПЕРАТУР ПІВНІЧНОЇ АТЛАНТИКИ**

Визначено особливості розташування сегментів озоносфери, де статистичний зв'язок міжрічних змін ЗВО у весняні та осінні місяці, а також варіації поверхневих температур районів Північної Атлантики, є суттєвим. У весняні місяці сегменти атмосфери, де цей зв'язок має місце, розташовано понад окремими ділянками субтропічних та позатропічних струменевих течій, а також понад приполярними регіонами. Площі подібних сегментів є максимальними. В осінні місяці площі подібних сегментів суттєво менше, їх розташовано у зоні відповідної субтропічної струменевої течії. Визначені особливості відповідають уявленням про вплив на процеси обміну повітрям між тропосферою та стратосферою струменевих течій. Вони свідчать про наявність суттєвого статистичного зв'язку між змінами поверхневих температур океанічних акваторій, що розташовано у різних півкулях.

**Ключові слова:** загальний вміст озону, Північна Атлантика, міжрічні зміни, поверхнева температура, струменева течія, турбулентність, обмін повітрям, тропосфера, стратосфера

### **Holoptsev A. V., Bolshikh A. V. OZONOSPHERE COMMENT ON CHANGES SURFACE TEMPERATURE DISTRIBUTION NORTH ATLANTIC**

The features of the location of the ozone layer segments, where the statistical relationship of interannual changes in the CCA during the spring and autumn months, as well as variations of the surface temperature of the North Atlantic area, is essential. In the spring months of such segments of the atmosphere located HN over individual portions of subtropical and extra-tropical jet streams, and over the polar regions. Areas of similar segments are maximal. In autumn the area is much less similar segments, they are located in the zone corresponding subtropical jet stream. Revealed features consistent understanding of the impact on the processes of air between the troposphere and stratosphere that have jet streams. They show a significant statistical relationship between changes in surface temperature of ocean waters, which are located in different hemispheres.

**Keywords:** total ozone, North Atlantic, interannual changes, surface temperature, jet flow, turbulence, air, troposphere, stratosphere

### **Холопцев А. В., Больших А. В. ОТЗЫВ ОЗОНОСФЕРЫ НА ИЗМЕНЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТЕМПЕРАТУР СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ**

Выявлены особенности расположения сегментов озоносферы, где статистическая связь межгодовых изменений ОСО в весенние и осенние месяцы, а также вариаций поверхностных температур районов Северной Атлантики, является существенной. В весенние месяцы такие сегменты атмосферы расположены над отдельными участками субтропических и внетропических струйных течений, а также над приполярными регионами. Площади подобных сегментов являются максимальными. В осенние месяцы площади подобных сегментов гораздо меньше, они расположены в зоне соответствующего субтропического струйного течения. Выявленные особенности соответствуют представлениям о влиянии на процессы воздухообмена между тропосферой и стратосферой, которые оказывают струйные течения. Они свидетельствуют о наличии существенной статистической связи между изменениями поверхностных температур океанических акваторий, которые расположены в разных полушариях.

**Ключевые слова:** общее содержание озона, Северная Атлантика, межгодовые изменения, поверхностная температура, струйное течение, турбулентность, воздухообмен, тропосфера, стратосфера

### **Вступ**

Озоносфера нашої планети є надійним захисним екраном, що поглинає небезпечні для біосфери ультрафіолетові складові со-

нячної радіації. Однією з найбільш інформативних характеристик її стану є розподіл загального вмісту озону (ЗВО) [1] у земній атмосфері. Тому визначення особливостей змін цього розподілу під впливом тих чи

інших природних чинників є актуальною проблемою фізичної географії, фізики атмосфери та екології.

ЗВО, як характеристику стану атмосфери, вперше запропонував Добсон (молодший), котрий також розробив прилад для її визначення. У 1926 р. він вперше експериментально встановив значення цієї характеристики у атмосфері понад п. Ароза (Швейцарія) [2].

Інтерес до вивчення особливостей просторово-часової мінливості ЗВО у атмосфері суттєво зріс у 50-х роках ХХ сторіччя, після того як було встановлено роль озону у поглинанні короткохвильових складових сонячної радіації. Саме тому моніторинг цього процесу починаючи з 60-х років ХХ сторіччя систематично здійснюється на більш ніж 400 озонметричних станціях світу, з яких шість розташовано на території України (у Києві, Борисполі, Бориславі, Одесі, Львові та Феодосії). Тоді ж було встановлено, що значення ЗВО у різних природних зонах нашої планети суттєво залежать від пори року. При цьому понад приполярними регіонами значення ЗВО є найменшими повесні, у той час як понад регіонами помірних широт – восени [3].

З 1979 року моніторинг мінливості ЗВО здійснюється у всіх сегментах земної атмосфери, що розташовано поза областю полярної ночі. Це стало можливим після створення глобальної супутникової системи спостереження за мінливістю ультрафіолетової радіації та озону[4].

Основою сучасних уявлень про причини мінливості розподілу ЗВО у земній атмосфері є результати досліджень, які виконано О. Х. Хргіаном, С. П. Перовим, П. Крутзенем, Р. Моліной та Ф. Роуландом, Е. Л. Олександровим, Ю. О. Ізраелем, І. Л. Каролем, Г. П. Гушиним, Е. О. Жадиним, О. Ф. Нерушевим, О. М. Груздевим та ін. Їх аналіз та узагальнення здійснено у [3-5].

Встановлено, що більше ніж 80% озону міститься у стратосфері, а причинами змін просторового розподілу його концентрацій у неї є радіаційні, хімічні та динамічні чинники [4,5].

Радіаційні чинники головним чином відповідають за утворення озону, яке відбувається у фотохімічних реакціях циклу Че-

пмена. Вони ж забезпечують фотоліз багатьох речовин, що надходять до стратосфери. Останній призводить до утворення у неї атомарних кисню, водню, хлору та інших реагентів, які беруть участь у руйнуванні озону.

Хімічні чинники відіграють головну роль у руйнуванні озону, яке відбувається у каталітичних циклах, азотному, хлорному та водневому[5]. Найважливіший з них – це реакції перетворення закису азоту у його оксиди, які відбуваються у стратосфері, та призводять до утворення речовин, котрі у поза полярних сегментах атмосфери руйнують до 90% загальної кількості озону, що ліквідується у них[6]. У сегментах стратосфери, що знаходяться понад Арктикою та Антарктикою головними руйнівниками озону є атомарних хлор та інші галогени. У верхніх шарах стратосфери цю ж роль виконують атомарний кисень та атомарний водень [3, 7].

Вихідні сполуки, з яких утворюються реагенти циклів руйнування озону, формуються головним чином на земній поверхні, або у приземних шарах тропосфери. Їх трансфер до відповідних шарів стратосфери здійснюють динамічні чинники. До подібних чинників належать атмосферна циркуляція, внутрішні (гравітаційні та планетарні) хвилі, що існують у тропопаузі стратосфері та нижній мезосфері, а також турбулентність. Їх взаємодія поміж собою утворює вертикальний та горизонтальний перенос атмосферного повітря, що містить у собі як озон, так і речовини, що його руйнують.

На розподіл ЗВО у атмосфері найбільший вплив завдає вертикальний перенос повітря, з тропосфери до стратосфери, що відбувається через розриви та зморшки тропопаузи. Чималу роль у ньому відіграє адвекція крізь них тропічного повітря (циркуляція Хедлі) [8]. Суттєвим є також внесок до нього турбулентності, яка утворюється у тропопаузі та нижній стратосфері[9].

Причиною виникнення турбулентності у цих стійко стратифікованих шарах атмосфери може бути взаємодія повітряних течій, яким властивий деякий вертикальний зсув швидкості, з внутрішніми (гравітаційними) хвилями, що розповсюджуються у них. Ця взаємодія призводить до того, що у

окремих локальних областях значення числа Річардсона **Ri** може перевищувати критичний рівень. Останнє, як відомо, призводить до втрати стійкості стратифікованих течій та утворення турбулентності [10].

Турбулентність, що виникає таким чином, починає розвиватись. Це призводить до поступового збільшення обсягу та маси повітря, що бере участь у неї. Через це початкова кінетична енергія турбулентності поступово розподіляється у просторі, а її питомий вміст у повітрі зменшується. Останнє призводило б до її деградації, якби до турбулентної області не було притоку енергії з зовні. Подібний приток забезпечують повітряні потоки, які понад її верхньою та нижньою межами можуть бути спрямовані у протилежні боки. Іншим джерелом енергії, що підживлює атмосферну турбулентність, є внутрішні хвилі, що взаємодіють з нею [11].

Як відомо у верхній тропосфері та нижній стратосфері (до висоти 18 км) протягом року переважає західний повітряний перенос [12]. Разом з тим у циклонах на стадії їх максимального розвитку (коли їх вишина досягає тропопаузи, а ширина перевищує 1000 км) завжди існують сектори, де напрямки руху повітряних потоків є протилежними [13]. У деяких з цих секторів переважає рух повітря у східному напрямку.

З цієї причини взаємодія повітряних струменів у подібних секторах з протилежними течіями повітря у тропопаузі не може не призводити до утворення між ними турбулентності. Таким же може бути результат змін висоти тропопаузи, що спостерігається у циклонах під час їх руху [3].

Ще однією причиною утворення турбулентності у тропопаузі та нижній стратосфері може бути вплив на них вертикальних коливань тропосферних струменевих течій, котрі виникають як результат їх взаємодії з орографічними та баричними неоднорідностями [14].

Оскільки 71% площі земної поверхні вкрито водами Світового океану, чимало баричних неоднорідностей може формуватись понад деякими його районами. Для цього в них повинні бути підвищеними горизонтальні градієнти поверхневих температур. Як слідство, понад однією частиною

території такого району атмосферний тиск є підвищеним, а понад іншою – зниженим. Якщо понад подібним районом проходить струменева течія, результатом її взаємодії з баричною неоднорідністю, що існує у тропосфері понад ним, є виникнення її вертикальних коливань.

Коливання струменевої течії, що утворюються таким чином, передаються шарам повітря, які розташовано понад нею. Це призводить до формування у тропопаузі та нижній стратосфері внутрішніх (гравітаційних) хвиль, котрі здатні підживлювати своєю енергією турбулентність.

У океанічних районах, де спостерігаються подібні явища, може відбуватись конвергенція теплих та холодних поверхневих течій, апвелінг та інші подібні процеси [15].

Встановлено, що у стійко стратифікованому шарі атмосфери (який складається з тропопаузи, стратосфери та нижньої мезосфери), при відсутності у ньому неоднорідностей, здатні розповсюджуватись гравітаційні хвилі з періодами від 10 до 200 хвилин [16]. Якщо такі хвилі зустрічають турбулентні області, то вони віддають ним частину своєї кінетичної енергії, що призводить до швидкого зменшення їх амплітуди. Турбулентність при цьому навпаки – посилюється. До такого ж результату призводить дія на атмосферу чинників, які являють собою коливання з періодами більше ніж 200 хвилин. Оскільки розповсюдження таких коливань у неї неможливе, їх енергія поглинається поблизу від їх джерел, що також призводить до утворення турбулентності.

Турбулентність у тропопаузі, яким би чином вона не утворилась, здатна транспортувати з тропосфери до стратосфери і у зворотному напрямку повітря, а разом з ним озон та речовини, що беруть участь у його руйнуванні.

Вперше гіпотезу, яка зв'язує динамічні зміни озонового шару з хвилями, що розповсюджуються крізь нього, наприкінці 80-х років ХХ сторіччя висунув Е. О. Жадін [17]. Її перше експериментальні підтвердження отримано В. І. Бекорюковим, котрий встановив наявність зв'язку довгоперіодних змін тропосферної циркуляції, котрі обумовлено варіаціями параметрів серед-

ньої температури поверхні північної Атлантики у області Азорського максимуму, а також змін ЗВО понад Європою [18]. Аналогічні процеси у Азіатсько-Тихоокеанському регіоні дослідив О. Ф. Нерушев [19].

Суттєвість впливу хвиль, що утворились як результат взаємодії океану та атмосфери, на обмін повітрям між тропосферою та стратосферою, доведено у [20].

На прикладі Тихого океану, встановлено існування у Світовому океані районів, де міжрічні зміни поверхневих температур у різних місяцях суттєво впливають на варіації стану багатьох сегментів озоносфери, що співпадають з ними за часом [21]. Встановлено, що найбільш потужним впливом цього чинника на озоносферу є у період з листопаду по лютий, а більшість з районів, які впливають на неї, розташовано у північній півкулі. У [22] встановлено, що сегменти озоносфери, у яких варіації ЗВО суттєво залежать від міжрічних змін поверхневих температур Тихого океану, знаходяться у окремих районах зон субтропічних розривів тропопаузи, приполярних областях та областях підвищеної активності циклонів.

Одним з найбільш досліджених регіонів Світового океану є Північна частина Атлантичного океану. Взаємодія поверхневих вод цього океанічного регіону з атмосферою суттєво впливає на метеорологічні процеси понад всіма регіонами Європи, у тому числі – понад Україною [23]. Незважаючи на це, райони Північної Атлантики, де зміни поверхневих температур суттєво впливають на стан озоносфери, досі не встановлено. Невизначеним є також розташування сегментів атмосфери, де варіації ЗВО у ту чи іншу пору року відчутно залежать від цього чинника.

Найбільш відчутні зміни розподілу ЗВО у атмосфері відбуваються у весняні та

осінні місяці [3], але як саме, та чому на них впливають варіації поверхневих температур тих чи інших районів Північної Атлантики досі не встановлено.

Це не дозволяє урахувати подібні зв'язки при моделюванні мінливості ЗВО понад тими, чи іншими регіонами планети, ефективність якого не завжди задовольняє вимогам практики.

Тому визначення особливостей розташування сегментів озоносфери, у яких зміни ЗВО у весняні та осінні місяці відчутно залежать від міжрічних варіацій поверхневих температур Північної Атлантики, має суттєвий теоретичний та практичний інтерес.

Ураховуючи це, об'єктом дослідження обрано особливості просторово-часової мінливості ЗВО у земній атмосфері, а також поверхневих температур Північної Атлантики.

Предметом дослідження є розташування сегментів озоносфери, у яких залежність міжрічних змін ЗВО у весняні та осінні місяці, від варіацій поверхневих температур деяких районів Північної Атлантики, є суттєвою.

Метою роботи є визначення сегментів озоносфери, у яких на міжрічні зміни ЗВО у весняні та осінні місяці відчутно впливають варіації поверхневих температур деяких районів Північної Атлантики, що співпадають з ними за часом.

Для досягнення зазначеної мети виконано наступні завдання.

1. Визначення районів Північної Атлантики, де міжрічні зміни поверхневих температур у весняні та осінні місяці суттєво впливають на варіації ЗВО у багатьох сегментів озоносфери.

2. Вивчення особливостей розташування подібних сегментів.

#### **Методика дослідження**

Для виконання обох завдань, та визначення суттєвих зв'язків між часовими рядами міжрічних змін ЗВО у весняні та осінні місяці, що відповідають тому чи іншому сегменту земної атмосфери, а також часовими рядами аномалій поверхневих температур кожного океанічного району, котрі співпа-

дають між собою за часом, використано метод кореляційного аналізу [24].

При цьому розглядалися всі райони Північної Атлантики, які мають розміри  $5^{\circ} \times 5^{\circ}$  та всі сегменти земної атмосфери, що мають розміри  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  (загальна кількість таких сегментів 64800).

При оцінці зв'язку між процесами, що відбуваються у зазначених районах та сегментах, розглянуто їх часові ряди за період 1979-2010 рр., кожен з яких містить по 32 члени. Зв'язок вважався суттєвим, якщо значення коефіцієнту кореляції цих рядів перевищувало рівень 95% порогу за критерієм Стьюдента. Рівень цього порогу визначено з використанням стандартної методики, та з урахуванням кількості ступенів волі, що відповідають ним [25].

Як кількісна міра суттєвості впливу на стан озоносфери міжрічних змін поверхневих температур у деякому районі Північної Атлантики, що вивчався, обрано кількість сегментів озоносфери, де зв'язок з цим чинником відповідних варіацій ЗВО, за результатами подібного аналізу, визнано суттєвим.

При виконанні першого завдання для кожного з весняних та осінніх місяців знайдено океанічні райони, які впливають не менше ніж на 10% сегментів озоносфери з їх загальної кількості 64800. Також встановлено координати центрів районів, вплив яких є найбільш суттєвим. Подібні райони далі розглядалися як впливові.

### *Результати дослідження та їх аналіз*

З використанням розглянутої методики оцінено статистичні зв'язки між змінами середньомісячних значень аномалій поверхневих температур всіх районів Північної Атлантики, що відповідають всім весняним та осіннім місяцям, а також варіаціями ЗВО у кожному сегменті земної атмосфери, які співпадають з ними за часом. Встановлено, що результати цього дослідження, які відповідають квітню та жовтню, найбільш репрезентативно відображають особливості результатів, котрі отримано для інших подібних місяців. Тому отримані результати розглянемо на прикладі саме квітня та жовтня.

При виконанні першого завдання встановлено, що у зазначені місяці на зміни стану багатьох сегментів озоносфери відчутно впливають міжрічні варіації аномалій поверхневих температур багатьох районів Північної Атлантики.

У квітні подібні райони розташовано у акваторіях, крізь які проходять Північно-атлантична, Канарська та Північна Пасатна

При виконанні другого завдання для кожного впливового району встановлено розташування сегментів атмосфери, де міжрічні зміни ЗВО залежать від цього чинника.

Результати кореляційного аналізу відображено у вигляді ізоліній коефіцієнту кореляції, що відповідають рівням -0.36 та -0.42 (відповідно 95% та 99% поріг достовірної кореляції за критерієм Стьюдента), які нанесено на контурні карти Світу, з використанням методу триангуляції Делоне [26]

Під час цих досліджень, як фактичний матеріал, розглянуто часові ряди середньомісячних значень аномалій поверхневих температур для всіх районів Північної Атлантики, що відповідають місяцям з березня по травень, та з вересня по листопад, котрі отримано з [27]. Також вивчалися часові ряди змін ЗВО у відповідному місяці, для всіх сегментів земної атмосфери, які відповідають зазначеному періоду [28].

Всі однорідні часові ряди, що розглядалися, є рівно точними, та містять відповідні данні, для кожного року, починаючи з 1979.

У жовтні вони знаходяться у східній частині зони Північноатлантичної течії, у областях течії Ірмінгера та Лабрадорської, у морях Лабрадор та Північному, а також у зонах Північно-Пасатної та Міжпасатної течій. Це відповідає уявленням [21], відповідно до яких подібні райони повинні знаходитись у областях конвергенції теплих та холодних поверхневих течій, інтенсивного апвелінгу та високої циклонічної активності.

Слід помітити також, що розташування деяких з подібних районів, відповідає положенням субтропічного та поза тропічного струменевих течій північної півкулі [29]. Це свідчить про можливість існування причинного зв'язку між ними та процесами, що вивчаються.

У таблиці представлено інформацію про розташування центрів районів Північної Атлантики, що є впливовими щодо змін ЗВО у квітні та жовтні. З таблиці неважко встановити, що розташування впливових районів Північної Атлантики, які відпові-

Таблиця

**Координати центрів впливових акваторій Північної Атлантики, що відповідають квітню та жовтню, а також кількості сегментів атмосфери, на які вони впливають**

<i>Квітень</i>							
№	Широта	Довгота	Кількість сегментів	№	Широта	Довгота	Кількість сегментів
1	52.5N	12.5E	13794	3	32.5N	32.5W	15932
2	37.5N	17.5W	16230	4	42.5 N	17.5 W	16100
<i>Жовтень</i>							
1	52.5N	57.5W	14420	6	12.5N	42.5W	14540
2	52.5N	52.5W	17012	7	12.5N	37.5W	17047
3	17.5N	42.5W	17811	8	12.5N	27.5W	21172
4	17.5N	37.5W	21260	9	7.5N	37.5W	20411
5	12.5N	47.5W	19256	10	7.5N	27.5W	17403

дають квітню та жовтню, між собою розрізняються. Разом з тим і в квітні, і в жовтні вони знаходяться у акваторіях, де підвищеними є горизонтальні градієнти поверхневих температур. Як свідчить [29], понад цими районами проходять поза тропічна та субтропічна струменеві течії північної півкулі.

Для визначених районів побудовано розподіли у земній атмосфері сегментів, де міжрічні зміни ЗВО у квітні та жовтні, а також варіації їх поверхневих температур між собою зв'язано суттєво.

Встановлено, що незважаючи на відстані між окремими впливовими районами, котрі складають тисячі кілометрів, загальні особливості розташування сегментів атмосфери, які відповідають ним, є майже аналогічними. Тому доцільно їх розглянути на прикладах, котрі представлено на рисунку 1.

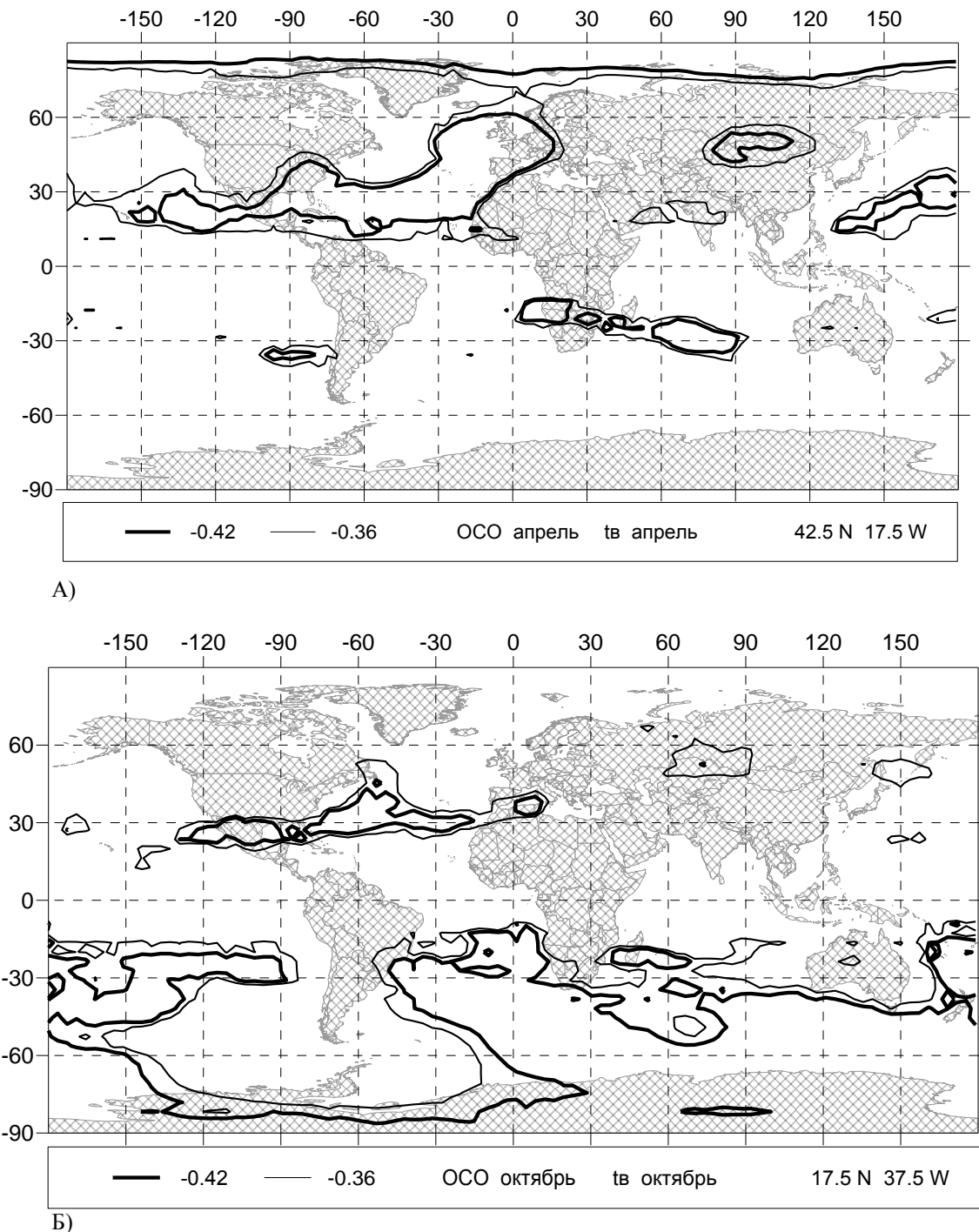
З рисунку 1А бачимо, що переважну кількість сегментів атмосфери, у яких міжрічні зміни ЗВО у квітні суттєво статистично зв'язано з варіаціями поверхневих температур Північної Атлантики розташовано у північній півкулі. Тут подібні сегменти знаходяться понад Арктикою, та переважають у зоні північної субтропічної струменевої течії. Крізь деякі з таких сегментів проходять окремі гілки позатропічної струменевої течії [29]. Останнє має місце і у сегменті, що розташований безпосередньо понад районом, де вивчаються зміни поверхневих температур. Неважко бачити, що розташування цього сегменту відповідає уявленням про механізм впливу варіацій поверхневих температур океану на озоносферу, що викладено вище.

Разом з цим, окрім визначеного сегменту на рисунку 1А присутні і інші. Подібні сегменти знаходяться понад іншими океанами та материками, на відстанях тисячі кілометрів від району Атлантики, що вивчається. Вони існують, незважаючи на те, що зміни поверхневих температур у районі, що розглядається, безпосередньо на них впливати не може. Причини їх існування потребують подальшого вивчення.

Один з таких сегментів розташовано понад Арктикою. Як відомо [3] протягом зимових місяців температури повітря у середніх та верхніх шарах цього сегменту стратосфери суттєво зменшуються, та досягають мінімальних рівней на початку весни. Як результат стійкість стратифікації повітря у ньому у квітні знижена, що створює сприятливі умови для розвитку турбулентності.

Чим низчою є стійкість стратифікації повітря у арктичному сегменті стратосфери, тим менше енергія внутрішніх хвиль, яка потрібна для утворення тут, або підживлення існуючої турбулентності.

Під час розповсюдження у стратосфері енергія будь якої внутрішньої хвилі поступово втрачається. Її залишок, що досягає Арктичного сегменту стратосфери є тим меншим, чим більше відстань, котру відповідна хвиля пройшла від свого джерела. Тому, чим менше стійкість стратифікації тропопаузи та стратосфери понад Арктикою, тим далі від неї може знаходитись джерело хвилі, що здатна утворити у неї турбулентність. Це дозволяє висунути припущення, відповідно до якого, для того щоб



**Рис. 1** – Типові розташування сегментів атмосфери, де міжрічні зміни ЗВО у квітні (А) та жовтні (Б) суттєво залежать від варіацій поверхневих температур деяких з впливових районів Північної Атлантики

порушити стійкість стратифікації повітря у арктичному сегменті стратосфери у квітні достатньо енергії внутрішніх хвиль, які надходять до нього з великих відстаней.

Певну роль в утворенні турбулентності понад Арктикою у квітні може відігравати надходження до неї вод з

Північної Атлантики, які доставляє Норвезька течія. Може саме тому кореляція змін ЗВО у визначених сегментах атмосфери понад Арктикою, та Північною Атлантикою, суттєва та має однакові знаки.

У південній півкулі сегменти атмосфери, що вивчаються, розташовано

лише у окремих, порівняно невеличких районах зони її субтропічної струменевої течії.

З рисунку 1 Б слід, що сегменти атмосфери, у яких міжрічні зміни ЗВО у жовтні суттєво залежать від варіацій поверхневих температур Північної Атлантики розташовано головним чином у південній півкулі. Зазначені сегменти тут локалізовано у двох зонах. Першу з них розташовано понад Антарктикою. Друга зона відповідає можливому положенню субтропічної струменевої течії південної півкулі [29].

У північній півкулі подібні сегменти також розташовано у зоні її субтропічної струменевої течії, але на відміну від квітня, сумарна площа цих сегментів набагато менше.

Отриманий результат на перший погляд уявляється парадоксальним, бо ніяких можливостей для безпосереднього впливу змін поверхневих температур будь яких районів Північної Атлантики на озоносферу понад південною півкулею, та зокрема понад Антарктидою, немає. Він стає менш дивним, якщо пригадати висновок [30], про існування у Світовому океані величезних районів, де міжрічні зміни поверхневих температур відбуваються майже синхронно та сінфазно.

З використанням згаданого вище фактичного матеріалу нами встановлено, що подібні райони існують і в Північній, і в Південній Атлантиці. При цьому останні розташовано безпосередньо під південною субтропічною струменевою течією, завдяки чому міжрічні зміни їх поверхневих температур здатні викликати утворення внутрішніх хвиль також у сегментах атмосфери, що знаходяться понад ними.

Питання про те, чому від змін поверхневих температур залежать варіації ЗВО понад Антарктикою, в період існування тут Озонової дірки, потребує подальшого вивчення, але наявність цього зв'язку не викликає сумнівів, і тому його доцільно рекомендувати до урахування при моделюванні та прогнозуванні її розвитку.

З порівняння рисунків 1А та 1Б неважко помітити, що зміна пори року відчутно впливає на розташування сегментів атмосфери, де міжрічні зміни

ЗВО суттєво залежать від варіацій поверхневих температур районів Північної Атлантики, котрі співпадають з ними за часом.

Незважаючи на те, що райони, де у будь яку пору року розглядаються зміни поверхневих температур, розташовано у Північній Атлантиці, більшість сегментів атмосфери, де варіації ЗВО відчутно залежать від них, розташовано в північній півкулі лише у місяці, коли у неї весна (у квітні, березні та травні). Тут їх локалізовано понад зоною субтропічної струменевої течії та понад Арктикою.

У місяці, коли весна відбувається у протилежній півкулі, більшість сегментів атмосфери, де варіації ЗВО відчутно залежать від змін поверхневих температур акваторій Північної Атлантики, розташовано саме у південній півкулі! Тут подібні сегменти знаходяться також понад зоною субтропічної струменевої течії та Антарктикою.

Понад півкулею, де місяць, якому відповідають зміни ЗВО, належить до осінніх, сегментів атмосфери, у котрих на ці зміни відчутно впливають варіації поверхневих температур будь яких районів Північної Атлантики, набагато менше. У подібних випадках всі вони мають відчутно менші площі та знаходяться під відповідними ланками субтропічної струменевої течії.

Отриманий результат свідчить про відчутний вплив на силу зв'язків що розглядається, сезонних змін переважаючої зональної циркуляції повітря у різних шарах стратосфери [8, 9], котрих викликано відповідними змінами їх радіаційних режимів. З нього також слід, що окрім сегментів атмосфери, де на зміни ЗВО варіації поверхневих температур районів Північної Атлантики впливають безпосередньо, існують також дуже віддалені її сегменти, у яких на ці зміни вплив того ж чинника передається непрямо. Причина наявності подібних далеких зв'язків між змінами поверхневих температур у деяких районах Північної Атлантики, та варіаціями ЗВО у багатьох сегментах атмосфери понад Антарктикою, потребує подальшого дослідження.



## Висновки

Таким чином встановлено:

1. Статистичні зв'язки міжрічних змін поверхневих температур деяких районів Північної Атлантики у весняні та осінні місяці, а також варіацій ЗВО у багатьох сегментах земної атмосфери, що співпадають з ними за часом, є суттєвим.

2. Подібні сегменти у березні – травні розташовано головним чином у північній півкулі (у зоні її субтропічної та позатропічної струменевих течій, та понад Арктикою). Окремі, порівняно невеличкі за площею сегменти існують також у південній півкулі, у деяких районах зони її субтропічної струменевої течії.

3. У вересні-листопаді сегменти, що вивчаються, переважають у південній півкулі (у зоні її субтропічної та позатропічної струменевих течій, та понад Антарктикою). Суттєво менші за площею сегменти існують також у зоні субтропічної струменевої течії північної півкулі.

4. Кореляція міжрічних змін поверхневих температур океанічних районів, що вивчаються, та варіацій ЗВО у більшості сегментів земної атмосфери, де вона є суттєвою, є у той же час негативною.

5. Вплив міжрічних змін поверхневих температур Світового океану на варіації ЗВО у тих чи інших сегментах земної атмосфери може здійснюватись як прямо, так і непрямо.

6. Прямий вплив цього чинника є можливим завдяки взаємодії струменевої течії з баричною неоднорідністю, що утворюється над акваторією, де підвищеним є значення модуля градієнту її поверхневої температури. Результатом подібної взаємодії є утворення вертикальних коливань цієї течії, котрі призводять до виникнення у тропопаузі та нижній стратосфері гравітаційних хвиль. Взаємодія останніх з течією, яка характеризується вертикальним зсувом швидкості, призводить до утворення турбулентності, котра здійснює трансфер до стратосфери речовин, що беруть участь в руйнуванні озону.

7. Непрямий вплив того ж чинника здійснюється завдяки наявності гідрофізичних процесів, котрі забезпечують суттєві статистичні зв'язки між змінами поверхневих температур багатьох океанічних районів, що розташовано на великій відстані один від одного. Суттєвою може бути також залежність від них циклонічних процесів понад віддаленими районами планети.

## Література

1. Гуцин Г. П. Суммарный озон в атмосфере / Г. П. Гуцин, Н. Н. Виноградова. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 235 с.
2. Bronnimann J., Luterbacher I., Schmutz C., Wanner H. Variability of total ozone at Arosa, Switzerland since 1931 related to atmospheric circulation indices. // *Geophys. Res. Lett.* – 2000. – Vol.27. – N 15. – P.2213-2216.
3. Моханакумар К. Взаимодействие стратосферы и тропосферы / К. Моханакумар. Перевод с английского Р. Ю. Лукьяновой, под ред. Г. В. Алексеева. // Москва. ФИЗМАТЛИТ. – 2011. – 451с.
4. Newman P. A. Stratospheric Ozone; An Electronic Textbook. Studying Earths Environment From Space. – NASA. -2003. -480p.
5. Александров Э. Л. Озонный щит Земли и его изменения / Э. Л. Александров, Ю. А. Израэль, И. Л. Кароль, А. Х. Хргиан. – СПб. : Гидрометеоиздат, 1992. – 288 с.
6. Dessler A. The Chemistry and Physics of Stratospheric Ozone. Academic Press. 2000, 520p.
7. <http://akademinform.com.ua/whatsnews/news/view/id/2>
8. Погосян Х. П. Общая циркуляция атмосферы. / Х. П. Погосян. – Л., 1972.

9. Винниченко Н. К., Пинус Н. З., Шметер С. М., Шур Г. Н. Турбулентность в свободной атмосфере 2-ое изд., – Л.: Гидрометеоиздат, 1976. – 286 с.
10. Монин А. С., Яглом А. М., Статистическая гидромеханика. В 2-х ч. — Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, Ч. 1, 1992. — 695 с.; Москва, Наука Ч. 2, 1997. — 720 с.
11. Обухов А. М. Турбулентность и динамика атмосферы // «Гидрометеоиздат» 1988г. - 414 стр.
12. Холтон Д. Р. Динамическая метеорология стратосферы и мезосферы. Л. Гидрометеоиздат. - 1986. – 232с.
13. Salby M. L. Fundamentals of Atmospheric Physics / M. L. Salby. – New York: Academic Press, 1996. – 560 p.
14. Andrews D. G. Planetary waves in horizontal vertical shear: The generalized Eliassen-Palm relation and mean zonal acceleration. / D.G. Andrews, M.E. VcIntyre // *J. Atmos. Sci.* – 1976. – No33. – P.2031-2048.
15. Шулейкин В. В. Физика моря. / В. В. Шулейкин. – М. Наука. – 1968. – 1083с.
16. Tolstoy I. Long period gravity waves in the atmosphere. // *J. Geophys. Res.* -1967. - 72 –P.4605—4622.

17. Жадин Е. А. Планетарные волны и межгодовые аномалии озона в полярных районах./ Е. А. Жадин// Известия РАН Физика атмосферы и океана. - 1990. - №26. - С.1150-1160.

18. Бекорюков В. И. Исследование параметров Азорского антициклона, влияющих на вариации озона в Западной Европе./ В.И. Бекорюков// Известия РАН Физика атмосферы и океана. - 1995. №31. -С.41-45.

19. Нерушев А.Ф. Влияние центров действия атмосферы Азиатско-Тихоокеанского региона на изменчивость ОСО/ А.Ф. Нерушев, Е.К. Крамчанинова. //Метеорология и гидрология. -2001. -№3. -С.5-15.

20. Жадин Е.А. Влияние межгодовых вариаций температуры поверхности океана на циркуляцию атмосферы и озоновый слой. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. – Долгопрудный. – МФТИ – 2004. - 41с.

21. Холопцев А. В. Географическое положение акваторий Тихого океана как фактор значимости влияния изменений их поверхностных температур на состояние озоносферы/ А. В. Холопцев// Людина та довкілля проблеми неоекології. 2013. - №3-4. -С. 105-112.

22. Холопцев А. В. Сезонные изменения расположения сегментов земной атмосферы, где межгодовые изменения ОСО значимо связаны с

вариациями поверхностных температур в заливе Аляска./А. В. Холопцев, И. А. Ларченко// Людина та довкілля проблеми неоекології. 2013. -№3-4. -С. 113-120.

23. Атлас Океанов. Под ред. С.Г. Горшкова т.2. Атлантический и Индийский океан. //Изд-во: М., Л.: Главное управление Навигации и Океанографии Министерства Обороны С.С.С.Р. - 1977 г.- 300с.

24. Айвазян С.А., Мхитарян В. С. Прикладная статистика и основы эконометрики. Юнити, 1998, 1022 стр.

25. Закс Ш. Теория статистических выводов / Ш.Закс. Пер. с англ. Е.В.Чепурина; под ред. Беляева Ю.К. – М.: Мир, 1985. – 776 с.

26. Скворцов А.В. Триангуляция Делоне и ее применение / А.В.Скворцов. – Томск: Изд-во Томского государственного университета, 2002. – 128 с.

27. <http://www.woudc.org>

28. <http://reanalyses.org/ocean>

29. [http://big-archive.ru/geography/general\\_atmospheric\\_circulation/20.php](http://big-archive.ru/geography/general_atmospheric_circulation/20.php).

30. Холопцев А. В. Роль Мирового океана в изменчивости озоносферы/ А. В. Холопцев, М. П. Никифорова// LAP Saarbrücken, Germany. 180p. ISBN:978-3-659-21607-7.

Надійшла до редколегії 13.11.2014

УДК: 528.71

**І. В. ЧЕРЕВКО**, канд. ек. наук, доц.

*Харківський національний аграрний університет імені В. В. Докучаєва*  
Харківська область, Харківський район, п/в «Комуніст-1» 62483

## РАДІОКЕРОВАНІ АЕРОФОТОЗНІМАННЯ ДЛЯ ЦІЛЕЙ КАРТОГРАФУВАННЯ

Висвітлюються актуальні питання пов'язані з аерофотозніманнями місцевості з безпілотних літальних апаратів для цілей картографування. Використання БПЛА в якості аерозйомочної платформи має великі перспективи при зйомці невеликих за протяжністю площинних об'єктів і при зйомці лінійних об'єктів. Дані з БПЛА дозволяють отримувати якісні картографічні матеріали за умов виконання певних вимог до знімальної апаратури і процесу зйомки; Чіткої фотограмметричної обробки матеріалів аерофотозйомки. Точність при цьому зростає в десятки раз і може становити як і для звичайної аерозйомки і космічних знімків.

**Ключові слова:** аерофотознімання, радіокерування, картаграфування, безпілотні літальні апарати

### **Cherevko I.V. RADIO CONTROLLED AERIAL PHOTOGRAPHY FOR MAPPING**

Highlights current issues related to aerial photographs of the area of unmanned aerial vehicles for the purpose of mapping. The use of UAVs as aerial platform holds great promise for shooting small-length polygonal objects and capture linear objects. The data from the UAV can receive high-quality cartographic materials, subject to the specific requirements for imaging equipment and the process of recording; Clear photogrammetric processing of aerial photographs. Accuracy on the increase in the dozens of times and can be as for conventional Aerial Photography and satellite images.

**Keywords:** aerial photography, radio, mapping, UAV