

Прогноз мінливості розподілу ЗВО понад Україною з урахуванням передисторії варіацій поверхневих температур суттєвих районів Світового океану

Перший український морський інститут, м. Севастополь,
e-mail: a.bolshih@yandex.ua

Анотація. Визначено райони Світового океану, де зміни поверхневих температур у минулому найбільш відчутно зв'язано з варіаціями розподілу значень загального вмісту озону (ЗВО) понад територію України. Розташування подібних районів, котрі розглядаються як суттєві, відповідає положенням найбільш контрастних гідрофронтів Тихого та Атлантичного океанів, у атмосфері понад якими у відповідному місяці знаходяться струменеві течії. Останнє дозволяє розглядати отриманий результат не як випадковий, а як такий що відповідає уявленню про хвильовий механізм трансферу до стратосфери речовин, котрі беруть участь у руйнуванні озону. Ураховуючи визначені особливості, ідентифіковано прогностичні моделі варіацій ЗВО у тому чи іншому місяці, що відповідають кожній ділянці території України, яку обмежено квадратами координатної мережі $1^\circ \times 1^\circ$. Порівняння фактичних змін розподілу характеристики, що вивчається, а також їх прогнозів, підтвердило ефективність запропонованої методики прогнозування.

Ключові слова: розподіл загального вмісту озону, статистичний зв'язок, поверхневі температури суттєвих районів Світового океану, гравітаційні хвилі, прогнозування, струменеві течії.

Вступ

Мінливість розподілу загального вмісту озону (далі ЗВО) у земній атмосфері відчутно впливає на зміни потоків біологічно активного ультрафіолетового випромінювання, що впливає на стан здоров'я населення та розвиток біотичних компонентів ландшафтів багатьох регіонів нашої планети. Тому удосконалення методик моделювання та прогнозування цього процесу є актуальною проблемою не тільки метеорології, але й геофізики ландшафтів.

Одним з найуніверсальніших методів моделювання природних процесів, що задано часовими рядами, є метод множинної регресії [1]. Якщо зв'язок цих рядів, а також відповідних чинників, котрі ураховано як аргументи множинно-регресійної моделі, є причинним, остання може бути придатною також при їх прогнозуванні.

Зміни розподілу ЗВО у атмосфері понад тим чи іншим регіоном світу є процесом, на який впливає безліч чинників. Особливості його зв'язку з кожним з цих чинників є дослідженими недостатньо. Визначити серед них такі, що впливають на нього суттєво, дуже складно. Набагато легше встановити чинники, з якими має місце суттєвий статистичний зв'язок. Урахування подібних чинників, як аргументів прогностичної моделі не гарантує адекватність прогнозів, котрі розроблено з її використанням, але вірогідність цього є тим більшою, чим потужнішими є статистичні зв'язки процесу, що вивчається, та його чинників. Тому визначення чинників міжрічних змін розподілу ЗВО понад тим чи іншим регіоном світу має не тільки теоретичний, але й практичний інтерес.

Найбільш корисним є розв'язання подібного завдання для регіонів Світу, які належать до землеробських. Одним з таких регіонів є Україна.

Моніторинг змін ЗВО понад такими містами як Київ, Бориспіль, Одеса, Феодосія та Львів здійснюється вже багато десятків років. Спостереження за змінами ЗВО у атмосфері понад кожною ділянкою її території, яку обмежено квадратами координатної сітки, що мають розміри $1^\circ \times 1^\circ$, розпочалися у січні 1979 році, після створення Глобальної системи супутникового моніторингу ультрафіолетової радіації та озону. Інформацію, яка надходить від цієї системи, представлено у вільному доступі у Інтернеті [2]. Це дозволяє вивчати у відповідному минулому особливості змін ЗВО понад кожною ділянкою території України.

Разом з тим, інформація, що надходить від зазначеної системи, як правило, запізнюється на одиниці місяців. Це не дозволяє її безпосередньо використовувати при розробці заходів щодо підвищення екологічної безпеки населення та стійкості розвитку сільського господарства. Під час виконання подібних завдань необхідно спиратись на ефективні прогнози змін ЗВО, які характеризуються запередженнями як найменше одиниці місяців. Для отримання подібних прогнозів необхідно визначити чинники, зв'язок зі станом яких у минулому процесу, що вивчається, є стійким.

Встановлено, що найбільш суттєво впливають на зміни ЗВО понад тою чи іншою ділянкою земної поверхні процеси руйнування озону в стратосфері. Зазначені процеси відбуваються завдяки хімічним реакціям каталітичних циклів хлорного, водневого та азотного [3]. У цих циклах, як каталізатори,

беруть участь речовини техногенного та природного походження, що утворюються при фотохімічному руйнуванні речовин, котрі надходять до стратосфери з тропосфери. До тропосфери всі вони надходять безпосередньо з антропогенних та природних джерел, котрі знаходяться на земній поверхні. Тут їх трансфер до тропопаузи здійснюють різноманітні вертикальні повітряні потоки (конвекція, циклони та ін.) [4].

Питання про те, як саме відбувається трансфер подібних речовин до стратосфери, досі є дослідженим недостатньо. За думкою Х. П. Погосяна, подібним механізмом є адвекція тропосферного повітря через розриви тропопаузи, які розташовано понад субтропічними струменевими течіями [5]. Неважко бачити, що зазначений механізм не здатний здійснити розподіл речовин, що потрапили до нижньої стратосфери, по її середніх та верхніх шарах, де головним чином і знаходиться озон.

Дослідження, які виконав Є.О.Жадін, дозволили встановити, що суттєву роль у трансфері речовин з тропосфери до стратосфери є хвильовий [6]. Хвилі, що обумовлюють подібний трансфер, утворюються як результат взаємодії повітряних струменевих течій з орографічними та баричними неоднорідностями, а також під час руху циклонів та антициклонів [7]. Під час розповсюдження у стійко стратифікованому середовищі, яким є стратосфера, зазначених хвиль, що належать до планетарних або гравітаційних, їх профіль змінюється [8]. Це на деякій відстані від їх джерела призводить до руйнування їх гребенів та утворення турбулентності, котра безпосередньо транспортує тропосферне повітря до стратосфери та розподіляє його поміж її шарами. Адекватність подібних уявлень підтверджено багатьма дослідниками [3]. Разом з тим, питання про розташування сегментів тропопаузи, крізь які відбувається подібний трансфер, досі не вирішено.

Головним джерелом потоків тепла, що викликають утворення баричних неоднорідностей у тропосфері, а також гравітаційних хвиль, є Світовий океан, який займає 71% всієї поверхні нашої планети. Це дозволяє висунути гіпотезу, відповідно до якої на поверхні Світового океану існують райони, де варіації поверхневих температур у минулому найбільш суттєво впливають на сучасні зміни ЗВО понад більшістю регіонів України. Визначення подібних районів дозволило б використати результати спостережень за змінами їх поверхневих температур для прогнозування варіацій розподілу ЗВО понад кожною ділянкою території України. Інформація про зміни розподілу середньомісячних значень поверхневих температур майже всіх районів Світового океану представлена у вільному доступі в Інтернеті [9].

Незважаючи на це, перевірка адекватності подібної гіпотези досі не відбувалась. Як результат, проблема прогнозування мінливості розподілу середньомісячних ЗВО понад всією територією України залишається відкритою. Ураховуючи це, як об'єкт дослідження обрано зміни розподілів середньомісячних значень ЗВО понад Україною, та варіації у минулому поверхневих температур різних акваторій Світового океану.

Предметом дослідження є розташування акваторій Світового океану, де зміни поверхневих температур у минулому суттєво впливають на сучасні варіації ЗВО понад більшістю регіонів України, та розробка методики їх прогнозування.

Метою роботи є перевірка адекватності гіпотези, яку висунуто, а також розробка методики прогнозування змін розподілу ЗВО понад територією України з урахуванням статистичних зв'язків, що встановлено.

Для досягнення цієї мети виконано наступні завдання:

1. Визначення районів Світового океану, де міжрічні зміни середньомісячних значень їх поверхневих температур у минулому році відчутно впливають на сучасні варіації ЗВО понад територією України.
2. Ідентифікація прогностичних моделей міжрічних змін ЗВО понад територією України.
3. Розробка прогнозів змін розподілу ЗВО понад територією України, що відповідають тому чи іншому місяцю, та оцінка їх адекватності.

Методика дослідження та фактичний матеріал

При виконанні першого завдання використано метод кореляційного аналізу [10]. З його допомогою здійснено пошук районів Тихого, Індійського та Атлантичного океанів, де міжрічні зміни їх поверхневих температур у тому чи іншому місяці є суттєво корельованими з варіаціями ЗВО понад максимальною кількістю сегментів атмосфери понад територією України, які запізнюються щодо них на 1 рік. Подібний пошук виконано методом повного перебору. Таким чином визначено океанічні райони, для яких значення коефіцієнту парної кореляції часових рядів їх поверхневих температур за період 1978-2008 р.р., а також ЗВО понад деяким районом України за 1979 – 2009 р.р. перевищують за модулем рівень 99 % порогу достовірної кореляції за критерієм Стьюдента.

На другому етапі методики виконано ідентифікацію прогностичних моделей змін ЗВО, що відповідають кожному квадрату території України та кожному місяцю. При цьому розглянуто всі квадрати, що мають розмір $1^\circ \times 1^\circ$, які існують у межах сучасної території України та перетинають них.

Як прогностична модель змін міжрічних ЗВО понад деякою ділянкою території України використано рівняння лінійної множинної регресії, котре має вигляд:

$$Y(t) = c_0 + c_1x_1(t) + c_2x_2(t) + \dots + c_Nx_N(t) \quad (1)$$

тут c_i – дійсні константи, які обрано так, щоб сума квадратів відхилень $z(t) = Y(t) - y(t)$ для всіх моментів часу t , у які відбувались спостереження, була мінімальною;

$y(t)$ – кожен процес, що прогнозується, а $Y(t)$ - його модель (1);

$x_i(t)$ – стан у момент часу t деякого процесу, що є суттєво статистично зв'язаним з $y(t)$.

Як аргументи моделі (1) використано фрагменти часових рядів поверхневих температур відповідних районів Світового океану у деякому місяці за період 1978–2008 р.р. Прогнозування ЗВО здійснювалось на той же місяць 2010 року. При цьому виконано підстановку до (1) значень x_i , що відповідають 2009 року. Коефіцієнти моделі (1) розраховано з використанням методу найменших квадратів [1].

При виконанні третього завдання для кожного місяця та кожного квадрату території України було розраховано прогнозне значення ЗВО на 2010 р. Це значення було зіставлене з відповідним фактичним значенням, яке отримано з [2]. Вивчалась залежність різниці між прогнозним та фактичним значенням ЗВО від географічних координат центру квадрата, а також місяця.

Як фактичний матеріал використано часові ряди середньомісячних значень аномалій поверхневих температур всіх районів Світового океану, що обмежено координатною мережею, де відстані між сторонами дорівнюють 5° , котрі отримано з [9]. Також, як фактичний матеріал використано часові ряди середньомісячних значень ЗВО понад кожним квадратом, що розташовано між паралелями 53°N та 44°N , а також між меридіанами 22°E та 43°E , котрі отримано з [2]. Як бачимо, зазначений сегмент атмосфери відповідає всій території України.

Результати та їх аналіз

З використанням розглянутої методики визначено розташування всіх районів Тихого, Індійського та Атлантичного океанів, де міжрічні зміни середньомісячних температур того чи іншого місяця суттєво впливають на зміни ЗВО у тому ж місяці наступного року над більшістю районів України. Встановлено, що загальна кількість цих районів є найменшою для червня, а найбільшою для грудня. Ураховуючи це, у таблиці 1 представлено координати зазначених районів, що відповідають квітню.

Таблиця 1.

Координати центрів районів Світового океану, що є суттєвими при прогнозуванні з запередженням 1 рік змін розподілу середньомісячних ЗВО у червні понад будь-яким районом території України.

№	Широта ($^\circ$)	Долгота ($^\circ$)	№	Широта ($^\circ$)	Долгота ($^\circ$)	№	Широта ($^\circ$)	Долгота ($^\circ$)
1	47.5N	147.5E	6	47.5N	17.5W	11	7.5S	32.5W
2	47.5N	152.5E	7	47.5N	12.5W	12	7.5S	12.5E
3	17.5N	87.5W	8	47.5N	67.5W	13	12.5S	32.5W
4	42.5S	47.5E	9	42.5N	7.5W	14	52.5S	42.5E
5	47.5N	22.5W	10	32.5N	7.5W	15		

З таблиці 1 бачимо, що райони, де зміни поверхневих температур у червні суттєво впливають на відповідні варіації ЗВО понад Україною, розташовано: у зоні впливу Курильської течії; у Карибському морі поблизу Юкатанської протоки; на південній периферії течії Західних вітрів; на південній периферії Північно-Атлантичної течії; на стрижені Лабрадорської та Канарської течії; на стрижені Бразильської та Бенгельської течії.

Таблиця 1 свідчить про те, що більшість океанічних районів, де зміни поверхневих температур суттєво впливають на варіації ЗВО у червні понад територією України, розташовано у областях найконтрастніших гідрофронтів Тихого та Атлантичного океанів. Це відповідає уявленням про вплив баричних неоднорідностей, котрі утворюються в атмосфері понад такими областями, на струменеві течії у тропосфері, який призводить до виникнення у стратосфері гравітаційних хвиль великої амплітуди.

З використанням розглянутої методики та ураховуючи чинники, що встановлено, ідентифіковано прогностичні моделі міжрічних змін ЗВО у червні понад кожним районом України, який вивчався. Як приклад, у таблиці 2 представлено коефіцієнти моделі (1), котрі відповідають змінам ЗВО у деяких районах України з центрами на паралелі 51°E .

У таблиці 3 представлено фактичні розподіли у атмосфері понад територією України середньомісячних ЗВО у червні 2010 р. згідно [2], а також відповідні прогнози, що розроблено з використанням ідентифікованих моделей.

Як бачимо з таблиці 3, прогноз розподілу ЗВО понад Україною у червні 2010 р., що розроблений з використанням запропонованої методики, задовільно відповідає фактичному розподілу цієї характеристики. Відхилення прогнозованих значень ЗВО від фактичних є найбільшими для східних регіонів України.

Таблиця 2.
Коефіцієнти моделі (1), котрі відповідають змінам ЗВО у деяких районах України з центрами на паралелі 51°N, у червні.

J	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42
0	357,7	357,2	357,1	356,9	356,3	355,6	355,4	355,1	354,4	353,9
1	3,158	3,279	4,31	5,074	5,017	4,586	4,385	4,42	3,434	2,867
2	-6,953	-6,727	-7,432	-8,404	-8,84	-8,919	-9,839	-10,15	-9,426	-9,272
3	0,799	1,092	0,895	0,416	0,642	1,367	1,244	1,574	1,442	1,462
4	4,13	4,076	3,887	4,103	4,11	4,078	4,092	3,961	3,797	3,758
5	5,912	5,419	4,536	2,034	0,87	-0,739	0,315	2,443	2,395	3,558
6	-12,58	-11,71	-11,49	-8,299	-6,773	-5,539	-6,043	-10,16	-9,769	-11,92
7	8,172	7,68	8,668	6,853	5,769	5,893	6,157	8,962	9,604	10,66
8	-4,011	-3,564	-3,139	-2,794	-2,359	-2,353	-2,533	-2,606	-2,454	-2,237
9	-3,147	-2,931	-4,364	-4,578	-3,878	-3,762	-3,108	-3,386	-4,157	-3,736
10	5,309	4,516	4,995	5,429	4,65	4,628	3,189	2,326	1,898	1,121
11	-19,18	-16,82	-17,57	-17,33	-14,74	-13,44	-8,786	-5,778	-4,473	-2,767
12	1,402	1,302	0,989	0,925	1,229	1,551	1,629	1,441	0,862	0,976
13	-0,164	-0,654	-0,512	-1,277	-1,978	-2,478	-4,761	-6,205	-4,956	-5,953
14	-0,649	-0,533	-0,673	-1,04	-1,221	-1,33	-1,882	-2,354	-2,538	-2,571

Таблиця 3.
Фактичні розподіли у атмосфері понад територією України середньомісячних ЗВО у червні 2010 р. згідно [2], а також відповідні прогнози, що розроблено з використанням ідентифікованих моделей.

2010 р., червень, фактичні значення згідно [2]											
	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42
53					353	353	353	353	353		
51		350	350	350	349	348	347	344	344	344	343
49	350	350	349	347	345	343	341	339	338	335	334
47		349	348	344	342	341	338	332	330	328	329
45					341	336	331	329			
2010 р., червень, прогноз											
53					355	355	356	355	356		
51		351	351	350	350	348	348	347	348	348	348
49	350	350	348	347	344	343	341	341	341	340	340
47		349	347	343	340	339	338	334	333	333	334
45					338	336	332	331			
2010 р., червень, помилка прогнозу											
53					2	3	3	2	3		
51		1	1	0	1	0	1	3	4	4	5
49	0	0	-1	0	-1	0	0	2	3	5	4
47		0	-1	-1	-2	-2	0	-2	3	5	5
45					-3	0	1	2			

Точність прогнозу ЗВО понад Україною у червні у найгірших випадках перевищує точність найкращого з існуючих засобів вимірювання цієї характеристики – спектрофотометра Добсона. У інші місяці точність прогнозів ще краще. Це свідчить про можливість практичного застосування запропонованої методики прогнозування та відповідає уявленню про суттєвість хвильового механізму трансферу речовин, що приймають участь у руйнуванні стратосферного озону.

Висновки

1. Результати, що отримано, цілком підтверджують адекватність висунутої гіпотези.
2. Райони Світового океану, що належать до суттєвих, при прогнозуванні ЗВО понад Україною у червні з запередженням 1 рік розташовано понад найконтрастнішими гідрофронтами Тихого та Атлантичного океанів.
3. Прогнози розподілу у атмосфері понад Україною середньомісячних ЗВО, що характеризуються запередженням 1 рік, котрі розроблено згідно до запропонованої методики, задовільно відповідають фактичним розподілам значень цієї характеристики.

Література

1. Норман Дрейпер. Прикладной регрессионный анализ. Множественная регрессия. – 3-е изд. / Норман Дрейпер, Гарри Смит. – М. : «Диалектика», 2007. – 912 с.
2. World Ozone and Ultraviolet Radiation Data Centre (WOUDC) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.woudc.org>
3. Моханакумар К. Взаимодействие стратосферы и тропосферы / Моханакумар К., [пер. с англ. Р. Ю. Лукьяновой, под ред. Г.В.Алексеева]. – Москва. – ФИЗМАТЛИТ. – 2011. – 451с.
4. Александров Э. Л. Озонный щит Земли и его изменения / Э. Л. Александров, Ю. А. Израэль, И. Л. Кароль, А. Х. Хргиан. – СПб. : Гидрометеиздат, 1992. – 288 с.
5. Погосян Х. П., Общая циркуляция атмосферы / Погосян Х. П. – Л., 1972.
6. Жадин Е. А. Влияние межгодовых вариаций температуры поверхности океана на циркуляцию атмосферы и озоновый слой. Диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук / Е. А. Жадин. – Долгопрудный. – МФТИ. – 211с.
7. Holton J. R. Stratosphere troposphere exchange/ J. R. Holton, P. H. Haynes, M. E. McIntyre // Rev. Geophys. – 1995. – No. 33. –P. 403–440.
8. Лайтхилл М. Нелинейная теория распространения волн / Лайтхилл М. – М. : Мир. – 1970. – 230с.
9. Advancing Reanalysis. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://reanalyses.org/ocean>
10. Айвазян С. А. Прикладная статистика и основы эконометрики / С. А. Айвазян, В. С. Мхитарян. – Юнити, 1998. – 1022 с.

Abstract. A.V. Kholoptsev, A.V. Bolshikh **Forecast of variability of the distribution of the flow over Ukraine with regard to prehistory variations of the surface temperature of significant areas of the World ocean.** Defined areas of the World Ocean, where the changes of the surface temperature in the past, most significantly associated with variations in the distribution of the values of total ozone (VTO) over the territory of Ukraine. The location of these areas, which are considered as significant, consistent with the provisions of the most contrasting hydrological fronts of the Pacific and Atlantic oceans, in the atmosphere above which in the respective month are jet stream. Last allows considering the results were not as random, and as such, that corresponds to the ideas of wave mechanism of transfer into the stratosphere substances that are involved in the destruction of ozone. Taking into account the identified features of the identified models predict the variations of the VTO in a given month, corresponding to each section of the territory of Ukraine, which is limited squares coordinate network $1^{\circ} \times 1^{\circ}$. Comparison of actual changes in the distribution of the studied characteristics, and their forecasts, confirmed the efficiency of offered methods of forecasting.

Keywords: distribution of the total ozone, statistical correlation, surface temperature significant areas of the World Ocean, gravitational waves, forecasting, jet stream.

Аннотация. А.В. Холопцев, А.В. Больших **Прогноз изменчивости распределения ОСО над Украиной с учетом предистории вариаций поверхностных температур значимых районов Мирового океана.** Определены районы Мирового океана, где изменения поверхностных температур в прошлом наиболее ощутимо связаны с вариациями распределения значений общего содержания озона (ОСО) над территорией Украины. Расположение подобных районов, которые рассматриваются как существенные, соответствует положениям наиболее контрастных гидрофронтов Тихого и Атлантического океанов, в атмосфере над которыми в соответствующем месяце находятся струйные течения. Последнее позволяет рассматривать полученный результат не как случайный, а как такой, что соответствует представлениям о волновом механизме трансфера в стратосферу веществ, которые участвуют в разрушении озона. Учитывая выявленные особенности, идентифицировано прогностические модели вариаций ОСО в том или ином месяце, соответствующие каждому участку территории Украины, которая ограничена квадратами координатной сети $1^{\circ} \times 1^{\circ}$. Сравнение фактических изменений распределения изучаемой характеристики, а также их прогнозов, подтвердило эффективность предложенной методики прогнозирования.

Ключевые слова: распределение общего содержания озона, статистическая связь, поверхностные температуры существенных районов Мирового океана, гравитационные волны, прогнозирование, струйные течения.

Поступила в редакцию 08.01.2014 г.