



# УКРАЇНСЬКИЙ ЖУРНАЛ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

ONLINE  
ISSN 2313-2132

10' 2016



НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
Інститут геологічних наук  
Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі

# УКРАЇНСЬКИЙ ЖУРНАЛ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

Ukrainian Journal of Remote Sensing

№ 10 • 2016

|                                               |                                                                                |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Засновник:                                    | Електронний                                                                    |
| Національна Академія наук України             | науковий фаховий журнал.                                                       |
| Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі | Заснований у березні 2014 року.                                                |
| Інституту геологічних наук                    | Виходить щоквартально.                                                         |
| НАН України                                   | Домашня сторінка: <a href="http://www.ujrs.org.ua">www.ujrs.org.ua</a>         |
|                                               | E-mail: <a href="mailto:o.kudriashov@ujrs.org.ua">o.kudriashov@ujrs.org.ua</a> |

## Головний редактор

академік НАН України В. І. Лялько



Рекомендовано до видання  
Вченою радою Наукового центру аерокосмічних досліджень Землі  
Інституту геологічних наук НАН України та рішенням Відділення наук про Землю  
Національної Академії наук України

Наказом МОН України від 7 жовтня 2015 року №1021 журнал включено до  
Переліку електронних наукових фахових видань України у галузях технічних і  
геологічних наук

**РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ**

|                    |                                                                                  |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| В. І. ЛЯЛЬКО       | головний редактор<br>доктор геолого-мінералогічних наук,<br>академік НАН України |
| М. О. ПОПОВ        | заступник головного редактора<br>доктор технічних наук                           |
| О. Т. АЗІМОВ       | доктор геологічних наук                                                          |
| С. О. БАРТАЛЬОВ    | доктор технічних наук (Росія, Москва)                                            |
| В. Г. ВЕРХОВЦЕВ    | доктор геологічних наук                                                          |
| Л. Д. ГРЕКОВ       | доктор технічних наук                                                            |
| М. Д. ГРОДЗИНСЬКИЙ | доктор географічних наук,<br>член-кореспондент НАН України                       |
| С. М. ЄСИПОВИЧ     | доктор геологічних наук                                                          |
| Л. В. КАТКОВСЬКИЙ  | доктор фізико-математичних наук (Білорусь, Мінськ)                               |
| С. С. КОХАН        | доктор технічних наук                                                            |
| Н. М. КУССУЛЬ      | доктор технічних наук                                                            |
| СТ. ЛЕВІНСЬКИЙ     | доктор технічних наук (Польща, Варшава)                                          |
| В. В. ЛУКІН        | доктор технічних наук                                                            |
| М. М. ПОНОМАРЕНКО  | доктор технічних наук                                                            |
| О. І. САХАЦЬКИЙ    | доктор геологічних наук                                                          |
| С. А. СТАНКЕВИЧ    | доктор технічних наук                                                            |
| А. А. ТРОНІН       | доктор геолого-мінералогічних наук<br>(Росія, Санкт-Петербург)                   |
| О. Д. ФЕДОРОВСЬКИЙ | доктор фізико-математичних наук,<br>член-кореспондент НАН України                |
| В. Г. ЯКИМЧУК      | доктор технічних наук                                                            |

**Секретар редакції** О. В. Седлєрова / тел. + 380 44 484 04 85 / [sedlerovaolga@gmail.com](mailto:sedlerovaolga@gmail.com)

**Дизайн, верстка, коректура** О. І. Кудряшов / тел. + 380 44 482 03 72 / [o.kudriashov@ujrs.org.ua](mailto:o.kudriashov@ujrs.org.ua)

**Редактор сайту** А. Ю. Порушкевич / [a.porushkevych@ujrs.org.ua](mailto:a.porushkevych@ujrs.org.ua)

---

Матеріали друкуються в авторській редакції.  
Редакція залишає за собою право виправлення статей. Зроблені зміни узгоджуються з автором..  
Якість ілюстрацій відповідає якості наданих авторами вихідних матеріалів.

---

Адреса редакції: Україна, 01601, м. Київ, МСП, вул. Олеся Гончара, 55-Б  
тел. +380 44 486 94 05, 484 04 85; факс: +380 44 486 94 05, 486 14 30 / [www.ujrs.org.ua](http://www.ujrs.org.ua)

## ЗМІСТ

### Використання інформації дистанційного дослідження Землі

|                                                                                                                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВИКОРИСТАННЯ ДАНИХ СУПУТНИКА LANDSAT 8 ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ МІКРОКЛІМАТИЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ КИЄВА<br>С. А. Шевчук, В. І. Вишневецький .....                                                                                            | 4  |
| АНАЛІЗ ГЕОЛОГІЧНОЇ ПРИРОДИ МАКРОПРОСОЧУВАНЬ МЕТАНУ У ПІВНІЧНО-ЗАХІДНІЙ ЧАСТИНІ ЧОРНОГО МОРЯ ТА ЇХ ПРОЯВИ НА СУПУТНИКОВИХ ЗНІМКАХ<br>А. І. Воробйов, Т. А. Мельниченко .....                                                    | 10 |
| АНАЛІЗ ЗАЛЕЖНОСТІ МІЖ КОНЦЕНТРАЦІЄЮ CO <sub>2</sub> В АТМОСФЕРІ ТА ТЕМПЕРАТУРОЮ ПОВІТРЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН В УКРАЇНІ<br>В. І. Лялько, О. А. Апостолов, Л. О. Єлістратова, І. Г. Артеменко ..... | 17 |
| ПРОЯВИ АНОМАЛІЙ ХМАРНОСТІ НА СУПУТНИКОВИХ ЗОБРАЖЕННЯХ ПЕРЕД СИЛЬНИМИ ЗЕМЛЕТРУСАМИ<br>А. І. Воробйов, В. І. Лялько, Т. А. Мельниченко, В. М. Подорван .....                                                                     | 21 |
| ЗМІНИ В РОЗПОДІЛІ ЗАГАЛЬНОГО ВМІСТУ ОЗОНУ В АТМОСФЕРІ НАД АНТАРКТИКОЮ<br>А. В. Грицай, Г. П. Міліневський, О. М. Євтушевський, А. Р. Клекочук .....                                                                            | 26 |
| ПОЧАТКОВИЙ ЕТАП ГЕОЛОГІЧНОГО РОЗВИТКУ КОНТИНЕНТАЛЬНОЇ ЗЕМНОЇ КОРИ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ В ДОКАТАРХЕЙ–АРХЕЇ<br>С. М. Єсипович .....                                                                                              | 40 |

### Інформація про наукові форуми з ДЗЗ

|                                                                                          |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| INTERNATIONAL WORKSHOP UNDER PATRONAGE OF NATIONAL COMMISSION OF UKRAINE FOR UNESCO..... | 44        |
| <b>Правила та рекомендації для авторів (ua, ru) .....</b>                                | <b>50</b> |

УДК 528.854: 551.584.5

## Використання даних супутника Landsat 8 для визначення мікрокліматичних особливостей Києва

С. А. Шевчук, В. І. Вишневецький \*

*Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна*

Висвітлено результати використання даних ДЗЗ, виконаних супутником Landsat 8, для з'ясування температурних особливостей та аномалій м. Києва. Встановлено особливості температури окремих мікрорайонів та акваторії Дніпра.

**Ключові слова:** мікроклімат, Київ, Landsat 8, термічні аномалії, водна поверхня

© С. А. Шевчук, В. І. Вишневецький. 2016

### Вступ

Клімат Києва уже тривалий час є об'єктом вивчення багатьох наукових колективів. Про це свідчить наявність численних публікацій, зокрема, монографічних. Але навіть при підготовці монографічного видання "Клімат Києва" [2], що побачило світ у 2010 р., не було виконано мікрокліматичні дослідження. Деякі особливості клімату міста встановлено лише шляхом порівняння даних спостережень у Києві з даними найближчих метеостанцій. Разом з тим мікроклімат Києва являє інтерес не лише для науковців, проєктувальників міської забудови, а й для звичайних мешканців. Це й визначило мету дослідження — використовуючи дані дистанційного зондування Землі, виявити мікрокліматичні особливості Києва.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Останнім часом, насамперед в англomовному науковому середовищі, великої популярності набуло використання даних супутника Landsat 8, що був запущений на початку 2013 р. Цей супутник обладнано кількома сенсорами, два з яких (канали 10 і 11), здатні реєструвати інфрачервоне випромінювання. Просторове розрізнення отримуваних зображень (розмір пікселя) становить 100 м. Крім того, встановлена на супутнику апаратура дає змогу робити знімки ще у кількох діапазонах випромінювання зі значно кращим просторовим розрізненням.

За час перебування супутника Landsat 8 на орбіті виконано чимало досліджень [1, 4–8], спрямованих на визначення температури земної поверхні (Land Surface Temperature, або LST). Доволі швидко встановлено [4, 6], що ця температура визначається з певною похибкою, яка залежить від низки факторів. Одним із них є вплив самого сонячного випромінювання. Це визначило, що в лютому 2014 р. у дані

Landsat 8 було внесено уточнення. Деякий вплив на отримувані значення температури земної поверхні зумовлює також атмосфера, а саме наявність у повітрі водяної пари. Виявлено [7], що похибка прямо пропорційна вологості повітря.

Результати досліджень [4] показали, що в цілому точнішим є визначення температури земної поверхні за даними каналу 10. З'ясовано, що точність визначення температури навіть з використанням каналу 10 є дещо гіршою, ніж за даними термічної зйомки супутником Landsat 7. Встановлено, що результати визначення температури залежать і від її фактичних значень. У цілому задовільною є точність для діапазону близько 20°C. З відхиленням від цієї температури похибка зростає.

Деякі положення щодо мікрокліматичних особливостей Києва висловлені у статтях вітчизняних авторів [1, 3]. Зокрема у праці [1] вміщено зображення температури земної поверхні Києва влітку 2014 р.

### Методи досліджень

Основою для цього дослідження стали дані супутника Landsat 8, який виконує зйомку Києва та прилеглої території кожні 16 діб. На знімках серії LC8181025 Київ виявляється майже в центрі. Час цієї зйомки — 8:49 за Всесвітнім часом. Крім того, зображення майже всього міста, за винятком його південно-східної частини, потрапляє на знімки серії LC8182025. Час виконання цих знімків — 8:55 за Всесвітнім часом. Ці знімки скопійовано із сайту Геологічної служби США (<http://glovis.usgs.gov>).

Температура земної поверхні визначалася за показниками каналів 10 і 11. Крім того, для кращої візуалізації зображень використано результати зйомки в інших діапазонах, просторове розрізнення яких становить 15–30 м.

Температура земної поверхні визначалася відповідно до настанов [6], з використанням програми ArcMAP 10 за формулами, рекомендованими для Landsat 8:

\* E-mail: vishnev@voliacable.com

$$T = (1321.08 / (\ln((774.89 / ((B10.TIF - 0.0003342) + 0.1)) + 1))) - 273.15;$$

$$T = (1201.14 / (\ln((480.89 / ((B11.TIF - 0.0003342) + 0.1)) + 1))) - 273.15.$$

Для порівняння супутникових даних з фактичною температурою її вимірювали безпосередньо в кількох затоках Дніпра і великих озерах м. Києва. У цьому разі враховувався той факт, що температура води в цих водоймах немає великих просторових відмінностей. Крім того, використано дані спостережень гідрометслужби за температурою води в Дніпрі на гідрологічному посту в Гідропарку, а також у Київському водосховищі біля м. Вишгород. В останньому разі вибиралися дані, коли протягом доби відмінності в температурі води були невеликі. Це зумовлено тим, що на мережі гідрометслужби виміри виконуються лише двічі на добу: о 8:00 і 20:00 за місцевим часом.

У дослідженнях також використано матеріали спостережень за приземною температурою повітря і загалом за погодними умовами на метеостанції “Київ”, що розташована поблизу проспекту Науки (координати метеомайданчика: 50° 23' 30" пн. ш. і 30° 32' 08" сх. д.). Зібрано також дані про температуру поверхні ґрунту, яка вимірюється на цьому ж метеомайданчику.

### Висвітлення основних результатів

За більш як трирічний період перебування на орбіті супутника Landsat 8 отримано доволі велику кількість зображень м. Києва, але через значну зашмареність багатьох із них кількість високоякісних знімків не така вже й велика — насамперед у зимовий час. Крім того, сам факт знімання території лише у фіксований час не дає змоги характеризувати термічні особливості у найхолоднішу і найтеплішу частини доби. У холодний період року час зйомки всієї території Києва відмінний від Всесвітнього на дві години і становить 10:49. У теплий період року у зв'язку з переходом на літній час відмінність із Всесвітнім часом становить 3 год.

На початку розглянемо питання відповідності температури земної поверхні за наведеними вище формулами з фактичною. Виявилося, що порівняти її з тією, що вимірюється на метеомайданчику, дуже

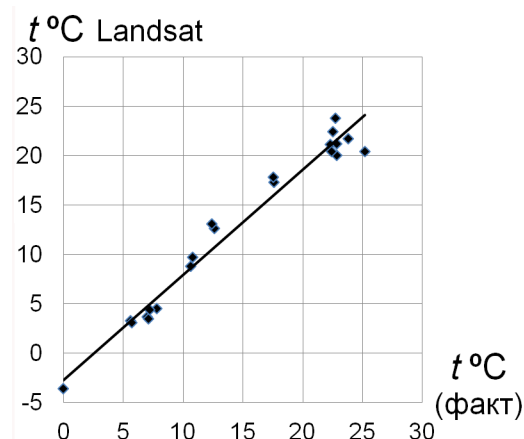


Рис. 1. Залежність між фактичною температурою води з визначеною за даними каналу 10 супутника Landsat 8

проблематично. Основною причиною є незрівнянно менші розміри місця вимірів з роздільною здатністю апаратури супутника. Це і визначило залучення даних про температуру води, яка не має великих просторових коливань. Таке саме рішення було використано авторами статті [4].

Встановлено, що температура водної поверхні за супутниковими даними виявилася дещо нижчою за фактичну — насамперед у холодну пору року, коли температура води близька до 0°C. Кращий збіг даних отримано для десятого каналу, гірший — для одинадцятого каналу. Але навіть у першому разі відхилення взимку сягають 3–4 °C, улітку — 2–3°C (рис. 1).

Попри існування певної систематичної похибки, дані ДЗЗ усе ж дають змогу виявити мікрокліматичні особливості Києва, а саме — особливості температури земної поверхні.

Розглянемо для початку те, якими є ці особливості у холодний період року. Для цього використаємо знімки, зроблені 31.12.2014 і 17.02.2015, коли в умісті спостерігалася майже ідеальна зимова погода: безхмарна і водночас з доволі низькими температурами. Цікавою особливістю умов 31.12.2014 було те, що того дня температура повітря виявилася нижчою, ніж ґрунту — причому навіть у нічний час. Причиною став північний вітер, який напередодні та в першу половину доби 31.12.2014 спричинив зниження температури — насамперед повітря (рис. 2).

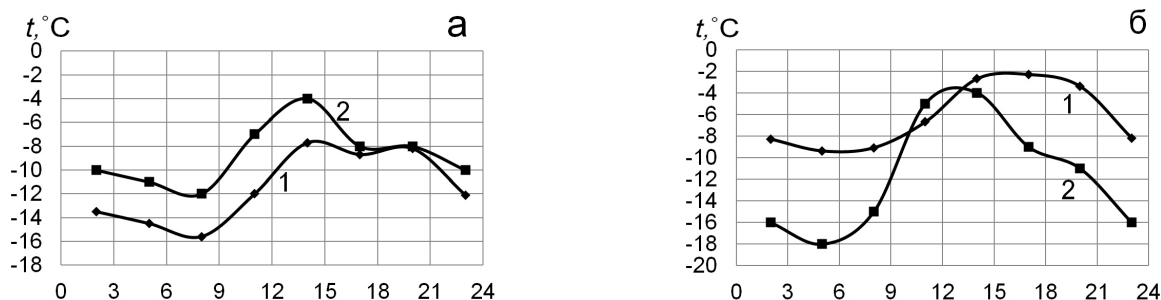


Рис. 2. Перебіг температури повітря (1) і поверхні ґрунту (2) на метеостанції “Київ” 31.12.14 (а) і 17.02.15 (б)

Аналіз космічних зображень, отриманих у зимовий період, показує, що в цей час у центральній частині міста помітно тепліше, ніж за межами міста — навіть за умов відсутності очевидних чинників впливу. Для цього можна порівняти температуру в приміській зоні з тією, що спостерігається в парковій зоні. Разом з тим, навіть у багатьох парках існують невеличкі осередки тепла. Тож за реперні умови взято територію Долобецького острова, що лежить між рукавами Дніпра (рис. 3).

За наявними даними, температура земної поверхні Долобецького острова у холодний період року виявилася приблизно на  $1.0^{\circ}\text{C}$  вищою, ніж у передмісті. Так, на знімку, виконаному 17.02.2015, температура в передмісті була мінус  $10.5\text{--}10.8^{\circ}\text{C}$ , а на острові мінус  $9.3\text{--}9.8^{\circ}\text{C}$ .

Аналіз вміщених на рис. 3 зображень показує, що істотно теплішою, порівняно з прилеглою територією, є акваторія Дніпра — навіть, якщо її частина вкрита кригою. На обох зображеннях, виконаних

у зимку, добре видно термічну аномалію, що відповідає Бортницькій станції аерації, що розташована на південно-східній околиці міста. Добре видно і канал, яким вода після очищення відводиться у Дніпро (Канівське водосховище). Меншими за розмірами є термічні аномалії, що відповідають ТЕЦ-6 (біля Троєщини), Дарницькій ТЕЦ, її золовідвалу в озері Гарячка, а також сміттєспалювальному заводу “Енергія”. У правобережній частині міста простережується термічна аномалія, що відповідає сміттевому полігону № 6. Менш виразною є термічна аномалія, де розташована ТЕЦ-5.

Не можна не помітити і той факт, що Київ на зображенні від 17.02.2015, порівняно з передмістям, простежується значно краще, ніж на знімку від 31.12.2014. На зображенні від 17.02.2015 добре видно вулиці, чого немає на зображенні від 31.12.2014. Для з’ясування причин таких відмінностей було побудовано зображення у псевдо-природних кольорах. Для цього використано канали 4, 5 і 6 оптичного діапазону (рис. 4).

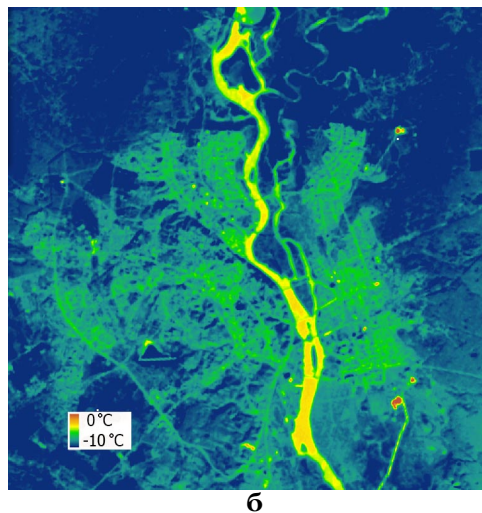
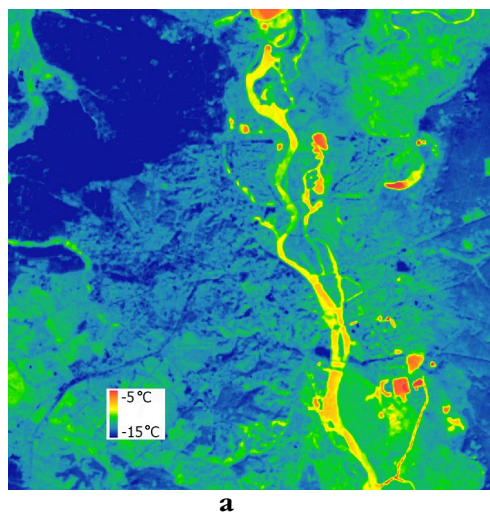


Рис. 3. Температура земної поверхні в Києві за даними супутника Landsat 8 (канал 10) 31.12.14 (а) і 17.02.2015 (б)



Рис. 4. Зображення території Києва у природних кольорах 31.12.14 (а) і 17.02.2015 (б)

Як видно, важливою відмінністю умов 31.12.2014 і 17.02.2015 була наявність снігового покриву у другому випадку. Його, зокрема, добре видно на прилеглих до Десни луках, а також у південній частині Києва, де переважають листяні ліси і зустрічаються сільськогосподарські угіддя.

Вочевидь, що значне забруднення снігу в межах міста, насамперед на автошляхах і поряд з ними і є головною причиною кращого поглинання сонячних променів, а відповідно й порівняно високої температури земної поверхні. Що ж до самих автомобілів як джерел тепла, то їх вплив в обох випадках залишається приблизно однаковим.

Певну роль у термічних особливостях міста відіграє й вітер. Так, 31.12.2014, коли над містом спостерігався доволі сильний північно-західний вітер, лівобережна частина міста виявилася теплішою за правобережну. Причиною є знесення сюди тепла, яке формується над містом (передусім над його центром). Про існування вітру у денний час 31.12.2014, крім даних спостережень гідрометслужби, свідчить шлейф диму від Київських ТЕЦ-5 і ТЕЦ-6 (див. рис. 4 а).

Найтеплішою частиною міста за результатами зйомки міської території 17.02.2015 виявився Поділ. Порівняно високу температуру мала також земна поверхня на Оболоні, Троєщині, Харківському масиві. Значно прохолоднішими виявилися північні та північно-східні схили пагорбів, що височать над Подолом і долиною Дніпра (див. рис. 3).

Низькі температури взимку характерні і для смуги, якій відповідає Подільсько-Воскресенський мостовий перехід, що будується. Відсутність на ньому джерел тепла і водночас перебування бетонних і сталевих прогонових споруд над землею зумовлює те, що поверхня мостового переходу узимку на кілька градусів холодніша за прилеглу територію.

На знімку від 17.02.2016 добре видно і термічні аномалії, що відповідають найважливішим автошляхам. Зокрема своєю підвищеною температурою виділяється ділянка Кільцевої дороги: насамперед від перехрестя з проспектом Перемоги до Південної Борщагів-

ки. Крім того, у правобережній частині міста підвищена температура спостерігається на проспектах Перемоги, Глушкова, а також на Столичному шосе. У лівобережній частині міста чітко видно термічну аномалію, якій відповідає вул. Братиславська.

Певні особливості температури земної поверхні простежуються і в теплий період року. Для прикладу, розглянемо результати обробки знімків, зроблених 6.06.2014 і 28.08.15. Перебіг температури у ці дні на метеостанції “Київ” вміщено на рис. 5.

Як видно на рисунку, температура в обох випадках була доволі високою — насамперед у другому випадку, коли температура повітря сягала 30°C, а ґрунту — навіть 40°C. Як і належить, у темну пору доби, холоднішою, порівняно з повітрям, виявилася земна поверхня, у світлу — навпаки.

Обробка супутникових зображень за 6.06.2014 і 28.08.15 показала значні відмінності температури порівняно із зимовими умовами. Улітку найбільш прохолодною в місті є акваторія Дніпра та його затоки. При цьому температура водної поверхні є значно нижчою за прилеглу територію — до 5°C і більше. Якщо ж порівнювати температуру води з найвищою, що спостерігається в місті, то відмінність сягає 20°C (рис. 6).

Найвища температура земної поверхні влітку в правобережній частині міста спостерігається на Подолі, а також у прилеглий зоні, що витягнута на південний захід від озерної системи Опечень. Останнє пояснюється значним поширенням тут гаражних кооперативів, промислових підприємств, а також торгово-розважальних центрів. Високою температурою виділяється також територія авіаційного заводу “Антонов” з наявними тут великими цехами. Власне, на знімках добре видно і злітно-посадкову смугу цього підприємства, а ще краще — смугу аеропорту “Жуляни”. У лівобережній частині міста високою температурою влітку виділяється промзона південніше Броварського проспекту, де розташовані вже непрацюючі підприємства “Хімволокно”, “Радікал” тощо. Подібні результати отримано у праці [1].

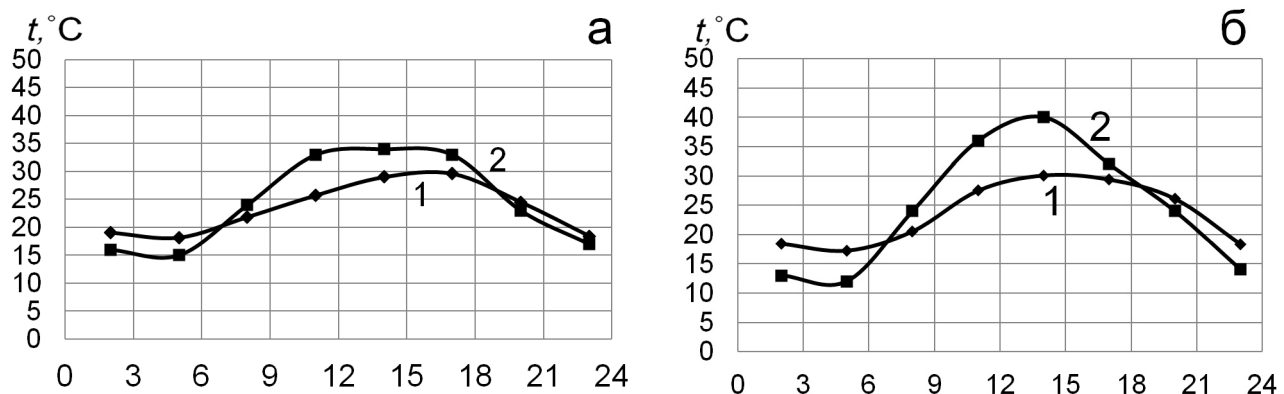


Рис. 5. Перебіг температури повітря (1) і ґрунту (2) на метеостанції “Київ” 06.06.14 (а) і 28.08.15 (б)

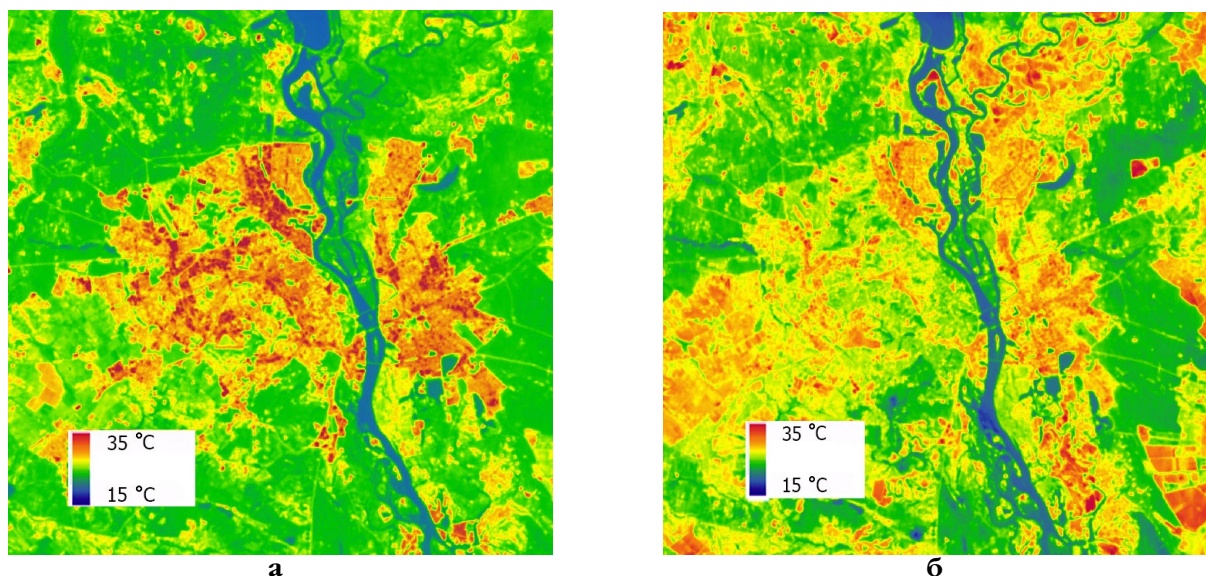


Рис. 6. Температура земної поверхні в Києві за даними супутника Landsat 8 (канал 10) 6.06.2014 (а) і 28.08.2015 (б)

На відміну від холодної пори року, термічні аномалії ТЕЦ улітку практично не простежуються, адже в цей час їх робота не супроводжується великим виділенням тепла.

Порівняння даних від 6.06.14 і 28.08.15 показує, що в другому випадку своєю високою температурою виділяються ділянки земної поверхні південніше Києва, що зумовлено їх оголенням у зв'язку зі збором урожаю.

Отримані зображення дають змогу виявити деякі особливості температури поверхні акваторії Дніпра та його заток. Насамперед зазначимо, що взимку за відсутності криги найвища температура води спостерігається в нижньому б'єфі Київської ГЕС. Загалом у цей час порівняно висока температура відповідає ділянкам з великою глибиною. Зокрема доволі високою температурою виділяється віддалена від Дніпра глибока частина затоки Верблюд, затока Доманія, південно-західна частина озера Алмазне, де глибини сягають 15 м і більше.

Коли настає літо, ситуація стає протилежною. Скид води переважно з придонних шарів Київського водосховища зумовлює те, що температура води в нижньому б'єфі ГЕС є нижчою, ніж у самому водосховищі. Це простежується і нижче за течією. Зазначені особливості існують на всій довжині Дніпра в межах міста. Оскільки в основному руслі переміщення води є кращим, ніж у другорядних рукавах і затоках, її температура тут нижча.

Уважний аналіз розподілу температури води по довжині основного русла Дніпра дає змогу помітити певну періодичність розташування зон з підвищеною і порівняно невисокою температурою. Основною причиною є скидання води Київською ГЕС переважно у "години пік". У цей час посилення переміщення супроводжується деяким зниженням температури води на поверхні. Коли скид припи-

нається, переміщення зменшується і відповідно температура поверхневого шару води зростає. При цьому залишається деякий вплив і Десни. Влітку температура води в цій річці трохи вища, ніж у Дніпрі.

## Висновки

Між фактичною температурою земної (водної) поверхні і тією, що визначається супутником Landsat 8, існує розбіжність, що може сягати кількох градусів. Кращу відповідність з фактичними даними мають дані десятого каналу, гірші — одинадцятого, проте, навіть у першому разі температура води виявляється заниженою — насамперед, коли її значення невисокі.

Попри наявні похибки, супутникові дані та можливість їх обробки дають змогу визначати термічні особливості Києва, виявляти на території міста певні термічні аномалії.

Значні термічні особливості має акваторія Дніпра з його численними рукавами і затоками. Узимку поверхня водойм дещо тепліша, а влітку істотно прохолодніша, порівняно з прилеглою територією.

На температуру земної поверхні взимку істотно впливає сніговий покрив. У зв'язку з тим, що на автошляхах він швидко забруднюється і прибирається, температура земної поверхні тут вища. Як наслідок, при наявності снігу місто має значні відмінності від прилеглої території.

Узимку аномально високу температуру мають Бортницька станція аерації, а також Київські ТЕЦ.

Улітку найвища температура земної поверхні властива для Подолу і в цілому для місцевості зі значною площею дахів будинків, гаражів, промислових підприємств. При цьому це стосується навіть тих підприємств, що не працюють.

## Література

1. Интеркалибрация методов восстановления термодинамической температуры поверхности урбанизированной территории по материалам тепловой космической схемки [Электронный ресурс] / С. А. Станкевич [и др.] // Український журнал дистанційного зондування Землі. — 2015. — № 7. — С. 12–21. Режим доступу до журн.: <http://ujrs.org.ua/ujrs> (29.06.16). — Назва з екрану.
2. Клімат Києва / за ред. В. І. Осадчого, О. О. Косовця, В. М. Бабіченко. — К.: Ніка-Центр, 2010. — 320 с.
3. Крылова А. Б. Мониторинг формирования и развития “теплового острова” города Киева [Электронный ресурс] / А. Б. Крылова // Український журнал дистанційного зондування Землі. — 2014. — №2. — С. 35–37. Режим доступу до журн.: <http://ujrs.org.ua/ujrs> (29.06.16). — Назва з екрану.
4. Barsi J. A. Landsat-8 Thermal Infrared Sensor (TIRS) Vicarious Radiometric Calibration [Электронный ресурс] / J. A. Barsi, J. R. Schott, S. J. Hook [et al.] // Remote Sens. 2014, 6, P. 11607–11626. Режим доступу до журн.: <http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20150000759.pdf>. — Назва з екрану.
5. Jimenez-Munoz Juan C. et al. Land surface temperature retrieval methods from Landsat-8 thermal infrared sensor data / Juan C. Jimenez-Munoz [et al.] // Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE 11.10 (2014): 1840–1843.
6. Landsat 8 (L8) data user handbook [Электронный ресурс]. — Режим доступу: <http://landsat.usgs.gov/documents/Landsat8DataUsersHandbook.pdf>. — Назва з екрану.
7. Rozenstein O. . Derivation of land surface temperature for Landsat-8 TIRS using a split window algorithm / O. Rozenstein, Z. Qin, Y. Derimian & A. Karnieli // Sensors, 14 (4), (2014) 5768–5780.
8. Wukelic G. E. Radiometric calibration of Landsat Thematic Mapper thermal band / G. E. Wukelic [et al.] // Remote Sensing of Environment. 28, (1989): 339–347.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ СПУТНИКА LANDSAT 8 ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ КИЕВА

С. А. Шевчук, В. И. Вишневский

Представлены результаты использования данных ДЗЗ, выполненных спутником Landsat 8, для выяснения температурных особенностей и аномалий г. Киева. Установлены особенности температуры отдельных микрорайонов и акватории Днепра.

**Ключевые слова:** микроклимат, Киев, Landsat 8, термические аномалии, водная поверхность

## USING OF LANDSAT 8 SATELLITE DATA FOR DETERMINATION OF MICROCLIMATIC PECULIARITIES OF KYIV

S. A. Shevchuk, V. I. Vyshnevskyi

The results of remote sensing data, performed by Landsat 8, were used for determination of peculiarities and temperature anomalies of Kyiv. The were determined the peculiarities of the temperature of some districts and water surface of the Dniro river.

**Keywords:** climate, Kyiv, Landsat 8, thermal anomalies, water surface

УДК 551.24:553.981(262.5-17)

## Аналіз геологічної природи макропросочувань метану у північно-західній частині Чорного моря та їх прояви на супутникових знімках

А. І. Воробйов, Т. А. Мельниченко \*

ДУ "Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України", Київ, Україна

Виконано аналіз геологічної природи макропросочувань метану у північно-західній частині Чорного моря на основі співставлення їх положення відносно нафтогазоперспективних структур та аналізу сейсмічної інформації. Зв'язок положення ділянки макропросочувань метану з вузлом перетину двох глибинних розломів свідчить про глибинну природу метану. Аналіз супутникових знімків після їх комп'ютерної обробки та візуального аналізу свідчить про епізодичні прояви макропросочувань метану у вигляді аномалій на супутникових зображеннях.

**Ключові слова:** макропросочування метану, акустичні методи, глибинні розломи, прояви просочувань метану з дна моря на супутникових зображеннях

© А. І. Воробйов, Т. А. Мельниченко. 2016

Відомо, що макропросочування метану з дна моря є важливим пошуковим критерієм для виявлення скупчень вуглеводнів (ВВ). Локальні макропросочування метану (сипи) з дна моря виявлено в багатьох регіонах Світового океану і сьогодні можна стверджувати, що це явище носить глобальний характер [1–4, 6–9, 5–10, 12–15].

У Чорному морі виділення метану виявлені за допомогою гідроакустичних методів у різних регіонах — у північно-західній його частині (біля берегів Болгарії та України), на південь від Кримського півострова (западина Сорокіна), у північно-східній частині Чорного моря — на Прикерченському шельфі, у південно-східній частині Чорного моря та на континентальному схилі його Кавказького узбережжя [5, 6, 11, 14].

### Макропросочування метану з дна моря

В останні десятиріччя виявлено виділення бульбашок газу з дна моря у шельфових зонах і на континентальних окраїнах. Серед них басейн Guayamas (Merewether et al., 1985), Мексиканська затока (MacDonald et al., 2002), на хребті Blake [Paull et al., 1995], на континентальному схилі Сахаліну в Охотському морі (Salyuk et al., 2002) та у багатьох інших регіонах Землі [13–15].

Значні обсяги досліджень виконані у Чорному морі. Серед них слід відзначити роботи Інституту біології південних морів НАН України (Єгоров В. М., Артемов Ю. Г., Гулін С. Б. та ін.) [6], Відділення морської геології та осадового рудоутворення НАН України (Шнюков Є. Ф. та ін.) [5, 11] та інших установ НАН Ук-

раїни. Системи акустичного зондування на частотах 12.5 і 18 кГц підтвердили корисність їх застосування для відображення потоків бульбашок газу при виявленні й вивчені місць виходу. (Suess et al., 2001; Torres et al., 2002) [15] потоків метану з дна моря.

Для виявлення макропросочувань за матеріалами супутникових знімків важливе значення має досягнення потоку бульбашок метану верхніх шарів морської товщі. На збереження потоку бульбашок газу при їх спливанні з дна до поверхні моря впливає ряд факторів.

### Фактори, що впливають на збереження бульбашок газу при спливанні

Факели бульбашок газу утворюються на глибинах від 2 500 м і можуть іноді підніматися на висоту до 900 м від дна (Merewether et al., 1985) [15]. Мінімальна глибина, на якій бульбашки газу зникають досі не визначена. Відомо тільки, що в деяких випадках факели газу досягають поверхні моря. Вивчаючи зв'язок між розміром бульбашок газу і глибиною їх спливання, Merewether et al. (1985) прийшли до висновку, що бульбашки метану при спливанні у товщі моря захищені плівкою нафти або газогідрату. метану За результатами досліджень у Мексиканській затоці (Macdonald et al., 2002) [15] показав, що плівка газогідрату відділяється, коли пухирці виходять із зони стабільності газогідрату, а покриття нафти, захищає бульбашки газу від розкладання, поки вони не досягають поверхні моря.

Tryon et al. (2002), Heeschen i Collier (2002) [15] встановили, що на інтенсивність виділень газу можуть впливати численні фактори. Зміни в інтенсивності виділень газу з дна моря можуть бути пояснені часовими змінами в газовому викиді в атмосферу,

\* E-mail: MelnichenkoTA@ukr.net  
Тел. +380 486 11 48

який іноді слабшає або навіть зникає при високому припливі (Torres et al., 2002) [15].

Для оцінки геологічної природи макропросочувань метану у даній роботі виконано зіставлення їх положення відносно нафтогазоперспективних геологічних структур у північно-західній частині Чорного моря, які вивчалися за допомогою різних геофізичних методів і даних глибокого буріння. Нижче показано, що найбільше за розмірами і кількістю макропросочувань метану джерело у північно-західній частині Чорного моря пов'язана з ділянкою перетину двох зон розломів глибинного закладення.

Для більш детального аналізу геологічної природи цієї ділянки використано карту нафтогазогеологічного районування Північно-Західного шельфу Чорного моря [10] та результати детальних акустичних досліджень.

### **Геологічна природа просочувань метану в межах північно-західної частини Чорного моря**

На рис. 1 наведено інтегровану карту нафтогазогеологічного районування Північно-Західного шельфу Чорного моря з позицій розломно-блокової тектоніки за [10] з доповненнями авторів.

На карту (рис. 1) винесено положення сейсмічного профіля BS 05-22, відпрацьованого за проектом BS05, і положення структури Дельфін.

На рис. 2 наведено часовий і сейсмологічний розрізи по цьому профілю.

Межі ділянки макропросочувань метану на сейсмічному профілі BS05-22 показано зеленим кольором. З сейсмічного розрізу, представленого на рис. 2, видно, що ділянка макропросочувань метану знаходиться на південь від Каламитського валу, який в значній мірі посічений системою розломів, що простежуються у потужній товщі докрейдових відкладів з глибин 10 км і більше. З сейсмогеологічного глибинного розрізу також видно, що дані структурні елементи перетинають і шари верхньої крейди, вздовж яких можлива латеральна міграція метану, яка досягає ділянки потужних макропросочувань.

На рис. 1 і 2 видно, що положення ділянки потужних макропросочувань метану з морського дна контролюється двома регіональними диз'юнктивними порушеннями. Одне з них — Одеський субмеридіональний розлом, другий — субширотний такого ж рангу, що обмежує розвиток ділянки виділень метану на південь.

Ділянка макропросочувань метану знаходиться у перехідній зоні від шельфу до континентального схилу. За прогнозом авторів роботи [5], Нахімовська зона (див. рис. 1), яку з заходу і з півдня обмежують розривні порушення регіонального класу, має низьку щільність потенційних ресурсів (5–10). У межах цієї зони знаходиться і ділянка макропросочувань.

Низька перспективність Нахімовської зони

підтвердилась за результатами буріння на структурі Дельфін (див. рис. 1), яка виявилася неперспективною. З сейсмічного розрізу, представленого на рис. 2 видно, що до ділянки макропросочувань метану прилягає Каламитський вал, в межах якого спостерігається серія розривних порушень, які мають падіння з півночі на південь у бік зростання глибини моря. Ще один важливий факт — зменшена потужність осадової товщі, яка складена четвертинними, верхньоміоценовими, олігоценними (середньоміоценовими) відкладами. В той же час в межах цієї зони знаходиться ділянка потужного макропросочування метану.

Макропросочування метану на цій ділянці північно-західного шельфу Чорного моря виявлені за допомогою гідроакустичних методів під час експедиційних досліджень у 2004 р. в 61-рейсі НДС “Професор Водяницький” [5]. Ділянка макропросочувань знаходиться в перехідній зоні між шельфом і континентальним схилом в межах палеodelьги Дніпра на глибинах моря 66–825 м [14].

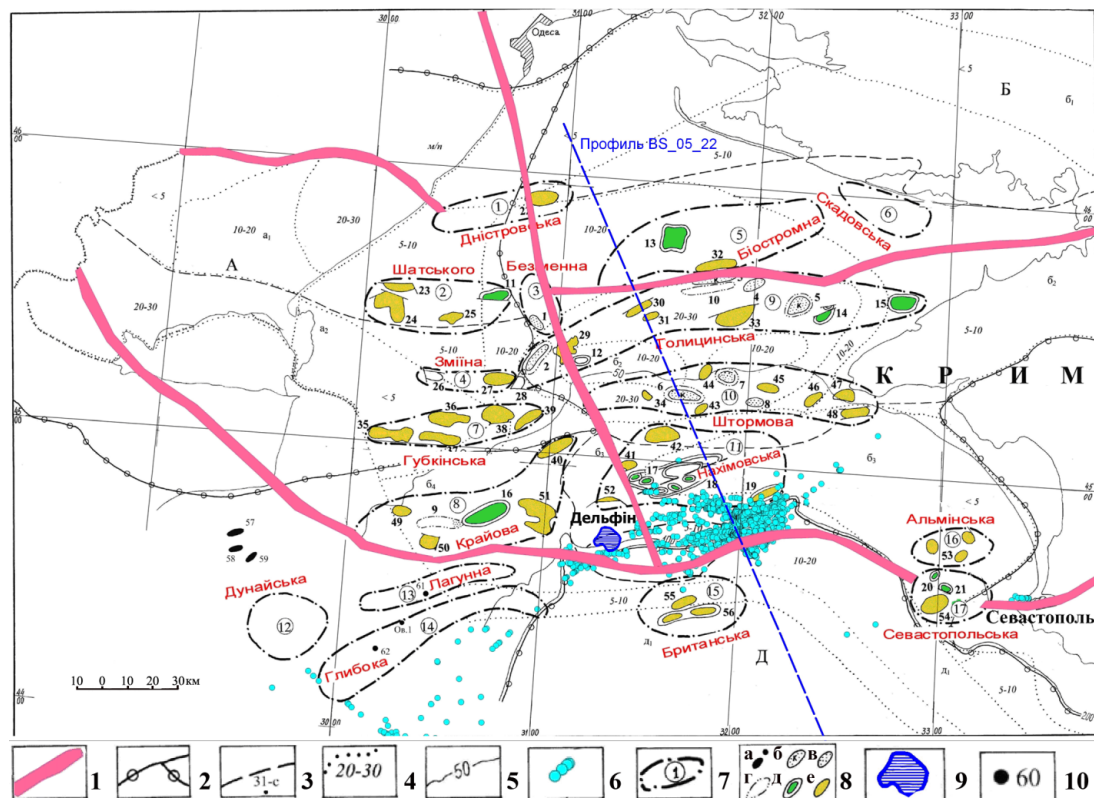
Під час експедицій в травні-червні 2003 і 2004 в межах фінансованого ЄС проекту “КРИМ” [14], були проведені детальні сейсмічні і детальні гідроакустичні дослідження водної товщі, для вивчення зв'язку між просторовим розподілом виділень метану, морфологією дна моря і глибинними структурами. Було виявлено 2 778 джерел виходу метану на записах ехолотування на площі 1 540 км<sup>2</sup>. Можна погодитись з авторами роботи [14], що макропросочування метану на цій ділянці підживлюються з покладу газогідратів метану, який знаходиться у осадових відкладах під дном моря.

На нашу думку, знаходження ділянки макропросочування метану з області перетину глибинних розломів, а також близькість потужної системи тектонічних порушень в межах Каламитського валу, свідчить про вірогідність глибинного походження метану в цьому районі моря.

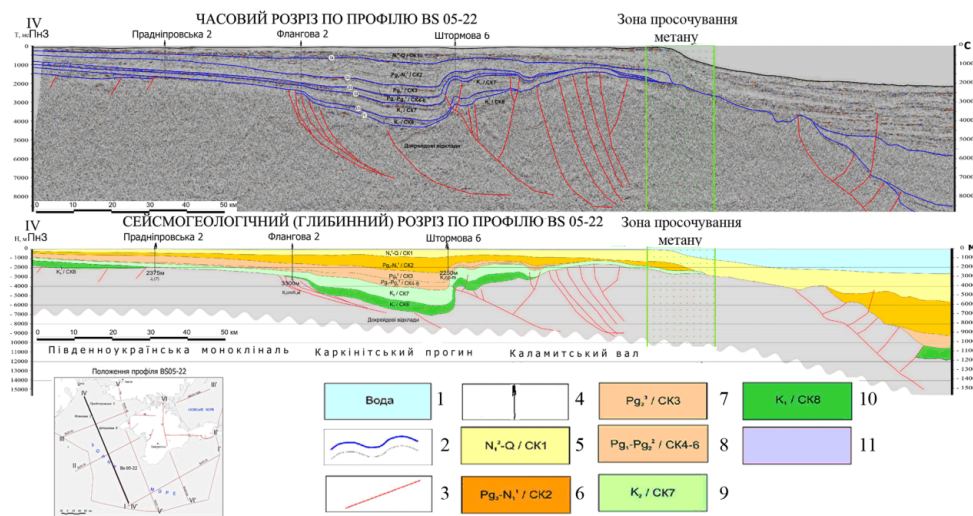
У 2005 році А. Ю. Леин [7] виявив, що головним компонентом газу, що виділяється на цій ділянці з дна є метан (до 80%), обсяг якого становить 212 л/м<sup>2</sup> за добу.

### **Прояви макропросочувань метану з дна моря на космічних знімках**

При певних обсягах макропросочування метану з дна моря можуть проявлятися на космічних знімках (КЗ) у теплий сезон року у вигляді аномалій пониження температури (АПТ) водної поверхні і аномалій хмарності. Останні можуть утворюватись за рахунок виносу бульбашками газу придонних холодних вод до поверхневого шару морського басейну. Цей процес, який називають газліфтингом [4], є передумовою для використання аерокосмічних методів для виявлення потужних виділень метану з дна моря. Важливою перевагою аерокосмічних



**Рис.1.** Інтегрована карта нафтогазогеологічного районування Північно-Західного шельфу Чорного моря [10] з доповненнями авторів 1 — зони тектонічних розломів; 2 — нафтогазоносні провінції (НГП); 3 — нафтогазоносні та перспективні райони; 4 — щільність потенційних ресурсів (тис. м<sup>3</sup> на 1 км<sup>2</sup>); 5 — ізобати; 6 — ділянки макропросочувань метану; 7 — зони перспективні для пошуків нафти та газу; 8 — родовища вуглеводнів: а) — у румунському секторі шельфу; б) — газоконденсатні (3 — Голіцинське, 5 — Шмідтівське, 6 — Штормове); в — газові (1 — Безіменне, 2 — Одеське, 4 — Південно-Голіцинське, 7 — Архангельське, 8 — Кримське, 9 — Олімпійське; г) — об'єкти та родовища у буринні (1 — Безіменне, 2 — Одеське, 5 — родовище Шмідта, 6 — Штормове, 7 — Архангельське, 9 — Олімпійське, 10 — структура Гордієвича); д — об'єкти (структури), підготовлені до буриння (11 — Сундучна, 12 — Осетрова, 13 — Біостромна, 14 — Східношмідта, 15 — Міжводненська, 16 — Крайова, 17 — Нахімова, 18 — Корніловська, 19 — Каламітська, 20 — Форум, 21 — Вікторія). Назви цих структур на карті позначені червоним кольором. е) — виявлені перспективні об'єкти (22 — Дністровська зона, 23 — Сейсмічна, 24 — Медуза, 25 — Шатського, 26 — Янтарна, 27 — Катран, 28 — Кутова, 29 — Рифтова, 30 — Бортова (Чарівна), 31 — Мирна, 32 — Північно-Голіцинська, 33 — Бортова, 34 — Понтійська, 35 — Губкінська, 36 — Губкінська Центральна, 37 — Губкінська Південна, 38 — Губкінська Східна, 39 — Н-58, 40 — Зональна, 41 — Альбатрос, 42 — Сельського, 43 — Дипломна, 44 — Миколаївська, 45 — Прибійна, 46 — Мартівське, 47 — Західнокрейдяна, 48 — Тарханкутська, 49 — Мушкетова, 50 — Нептун, 51 — Комсомольська, 52 — Н-53, 53 — Альмінська, 54 — Севастопольська, 55 — Британська-2, 56 — Британська-1. (Контури виявлених перспективних об'єктів заливо жовтим кольором)



**Рис. 2.** Часовий та сейсмогеологічний розрізи по профілю BS05-22 [9], на яких показано положення зони макропросочувань метану 1 — водна поверхня; 2 — границі основних стратиграфічних комплексів; 3 — розривні порушення; 4 — свердловини. Стратиграфічні комплекси: 5 — середній міоцен–четвертинні; 6 — олігоцен–нижній міоцен (майкопська серія); 7 — верхній еоцен; 8 — палеоцен–середній міоцен; 9 — верхня крейда; 10 — нижня крейда; 11 — докрейдові відклади

методів є їх оперативність і можливість покриття значних площ.

На першому етапі досліджень було визначено супутники, які в першу чергу можуть бути використані: серед них матеріали архівних зйомок метеорологічних супутників низького просторового розрізнення NOAA та MODIS з сайтів NASA. Потім після зчитування рядів квік-луків за певний період часу проводився перегляд, відбір та зчитування повних відібраних КЗ, зареєстрованих сенсором MODIS, за допомогою якого проводиться реєстрація 36 каналів.

На другому етапі проведена детальна обробка КЗ за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення (програми ENVI, ERDAS IMAGINE та ін.): географічна прив'язка, перегляд КЗ у різних спектральних діапазонах, побудова спектральних профілів при необхідності та візуалізація зображень. Програму MapInfo Professional використовували при винесенні контурів виявлених супутникових аномалій на геологічну, тектонічну чи іншу карту для визначення їх положення відносно відомих нафтогазоперспективних структур, розломів, покладів вуглеводнів та інших геологічних об'єктів.

На заключному етапі встановлювалось положення аномалій на КЗ відносно відомих структур.

### **Оцінка впливу геотектонічної активності на обсяги виділень метану з дна моря і їх прояви на супутникових знімках**

Для оцінки впливу геотектонічної активності на обсяги виділень метану були проведені дослідження у північно-східній і північно-західній частинах Чорного моря за матеріалами космозйомок у тепловому діапазоні супутником NOAA у червні-серпні 1999 року та травні-вересні 2000 і 2001 років. Для виявлення аномалій пониження температур (АПТ) було проаналізовано 292 КЗ супутника NOAA, всього виявлено 125 АПТ на 42-х КЗ [8, 9].

Найбільшу кількість АПТ виявлено на КЗ травня-серпня 1999 року у ПЗ частині ЧМ у період найбільшої сейсмічної активності, яка спостерігалась в цей час в межах західної частини Північно-Анатолійського розлому, де 17 серпня 1999 року відбувся катастрофічний землетрус з магнітудою 7.9 бала за шкалою Ріхтера.

Аналіз КЗ дозволив виявити та підрахувати АПТ поверхні моря, які пов'язані з підвищенням тектонічної активності, що стимулює збільшення обсягів вертикальної міграції вуглеводнів у осадовій товщі до дна моря, а потім спливання бульбашок метану у водній товщі.

Отримані результати досліджень свідчать про те, що для пошуків покладів газу найбільш ефективно використовувати супутникові методи в періоди підвищення сейсмічної активності, що приводить до збільшення обсягів макропросочувань метану.

Враховуючи ефект підвищення обсягів макропросочувань метану під час сейсмічної активності у регіоні, було проведено відбір супутникових знімків, починаючи з початку січня 2000 року. В результаті проведеного пошуку було виявлено аномалію хмарності на КЗ, зареєстровану сенсором MODIS 3 березня 2000 року о 9:20 (рис. 3.). Координати центру аномалії — 45°25' ПН. Ш, 32°11' СХ. Д.

На рис. 3 чітко виділяється аномалія хмарності (показана у червоному квадраті), положення якої збігається з ділянкою макропросочувань метану, показаних на рис. 1. Виявлена аномалія має більш-менш чіткі контури та фіксується на ряді спектральних діапазонів. При винесенні контурів аномалії на геологічну карту з виходами метану Чорного моря (див. рис. 2) видно, що переважна частина макропросочувань метану розташована в межах аномалії, яка розташована в дельті палеорусла Дніпра.

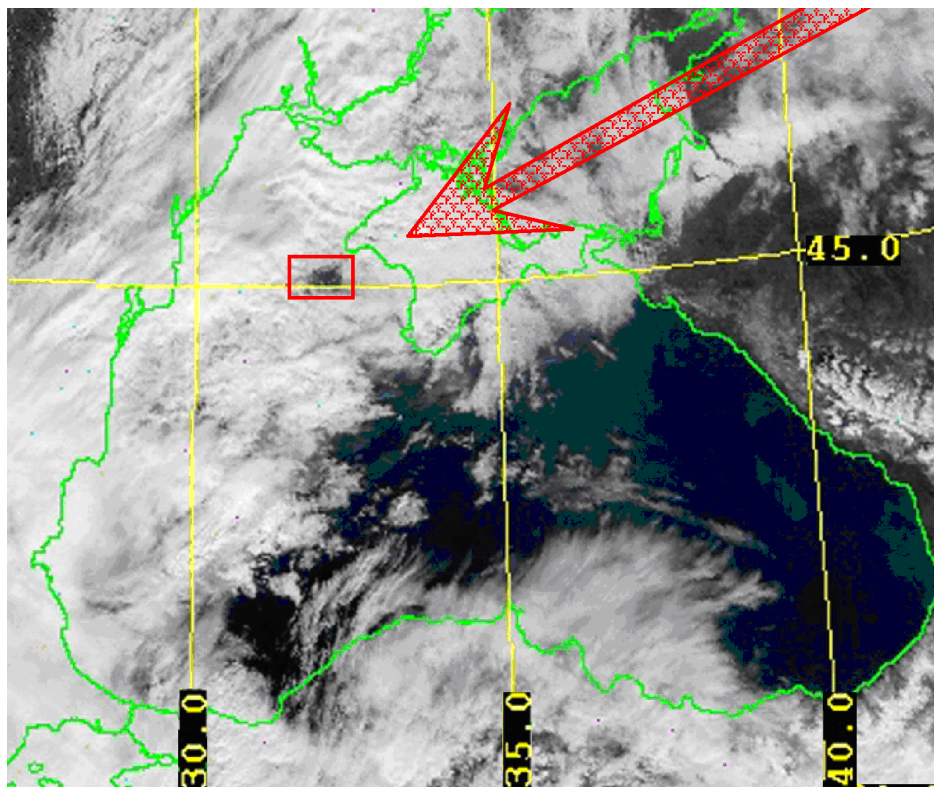
Обробка КЗ, отриманого у ближньому інфрачервоному діапазоні (просторове розрізнення 500 м) виконана за допомогою програми ENVI. На рис. 4, А показана аномалія хмарності, на рис. 4 Б, В і Г наведено графіки яскравості по широтному, вертикальному профілям і по каналах.

### **Висновки**

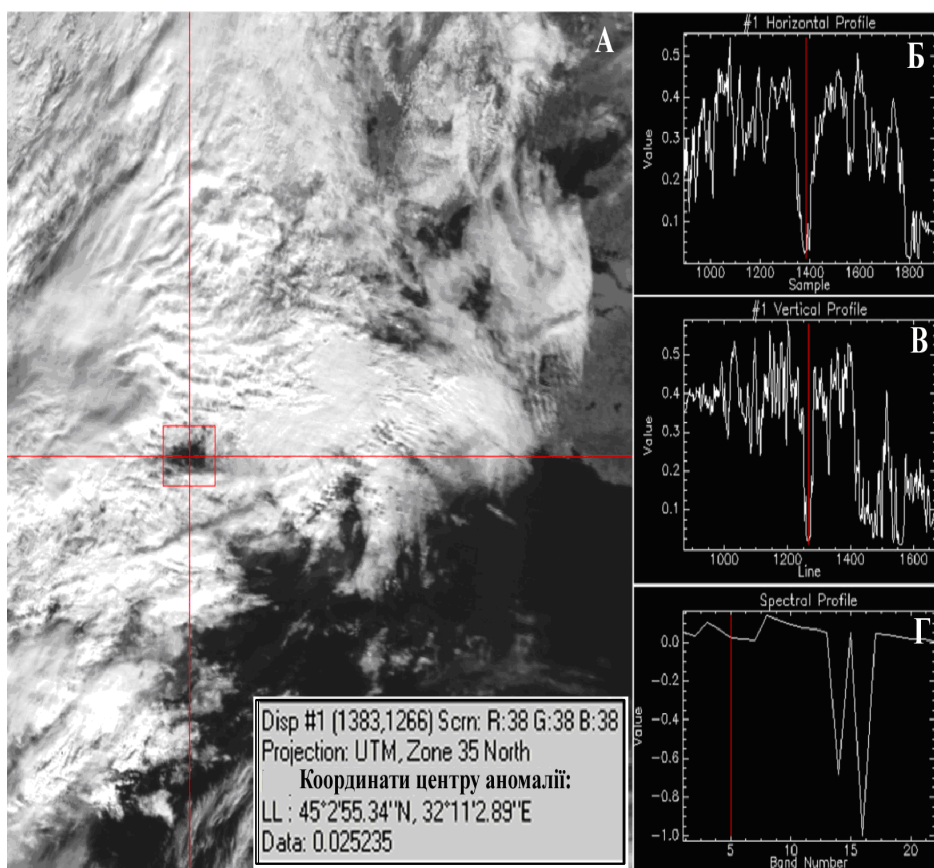
В результаті аналізу космознімків було встановлено, що прояви макропросочувань метану з дна Чорного моря реєструються епізодично, що може бути пов'язано зі зміною температури придонного шару води за рахунок теплих течій, яке призводить до порушення стабільності газогідратів, що залягають нижче дна моря, і вивержень метану у водну товщу [5]. Тому, для виявлення виділень газу з дна моря необхідно проводити детальний аерокосмічний моніторинг на основі використання супутникових або безпілотних літальних апаратів (дронів).

Ці висновки підтверджуються результатами досліджень, наведених у роботі [14], у якій важливу роль у виділеннях метану з дна моря у північно-західній частині Чорного моря (ділянка дельти палео-Дніпра) автори надають впливу покладів газогідратів на розподіл макропросочувань метану. Ці дослідження базуються на детальних сейсмічних і гідроакустичних даних, отриманих під час експедицій в травні-червні 2003 і 2004 років в межах фінансованого ЄС проекту "Крим" [14]. Глибина для 99,5% виявлених макропросочувань метану збігається з фазовою межею чистого газогідрату метану на глибині води 725 м. Важливо, що газогідрати відіграють роль покрівлі, яка перешкоджає вертикальній міграції метану у морську товщу.

Дослідження по виявленню аномалій пониження температур на КЗ супутника NOAA, зареєстрованих на



**Рис. 3.** Аномалія хмарності, виявлена за матеріалами супутникових зйомок сенсором MODIS над ділянкою макропросочувань метану в районі дельти палео-Дніпра (зйомка 3 березня 2000 р. о 9:20)



**Рис. 4.** Фрагмент КЗ зареєстрованого сенсором MODIS на 5-му каналі (довжина хвиль — 1230–1250 нм). Зйомка 3 березня 2000 р. о 9:20.

протязі 1999–2001 років у північно-західній частині Чорного моря дали такі результати [7, 8]: найбільшу кількість АПТ виявлено за матеріалами супутникових зйомок NOAA протягом травня-серпня 1999 року у північно-західній частині ЧМ у період найбільшої сейсмічної активності, яка спостерігалась в цей період часу в межах західної частини Північно-Анатолійського розлому (Туреччина). Виявлено та підраховано кількість АПТ поверхні моря, які пов'язані з підвищенням тектонічної активності, що стимулює збільшення обсягів вертикальної міграції метану у осадовій товщі до дна моря і спливання бульбашок газу до поверхні моря. Бульбашки газу виносять наверх холодні придонні води, що створюють АПТ на поверхні моря (процес газ-ліфтингу).

Виконані дослідження дозволяють зробити важливий висновок про те, що найбільш ефективно супутникові методи можна використовувати для виявлення макропросочувань метану у періоди підвищення сейсмічної активності у регіоні [8, 9]. За допомогою аерокосмічних зйомок Землі можна виявляти не тільки виділення газу з дна моря, а й розломи, положення яких можна прогнозувати за лінійними аномаліями хмарності, що утворюються за рахунок виверження потужного теплового флюїдопотоків з глибинних шарів земної кори під час тектонічної активізації регіону перед сильними землетрусами.

При вирішенні нафтогазоперспективних задач площинні роботи для виявлення макропросочувань метану з дна моря за допомогою акустичного методу необхідне відпрацювання щільної мережі профілів, що потребує значних фінансових витрат. При певних обсягах макропросочувань метану з дна моря вони можуть проявлятися на супутникових знімках у теплий сезон року у вигляді аномалій пониження температури (АПТ) поверхні моря і аномалій хмарності. Останні можуть утворюватися за рахунок виносу бульбашками газу придонних холодних вод до поверхневого шару моря. Цей процес, який називають газліфтингом [4], є передумовою для використання аерокосмічних методів для виявлення потужних виділень метану з дна моря.

Супутникові методи дослідження мають такі переваги у порівнянні з іншими методами: висока оперативність, значні площі покриття і значний період часу, на протязі якого проводились супутникові зйомки даного регіону. Це дозволяє на основі прогнозу тривимірної моделі течій реалізувати накопичення супутникових знімків для підвищення ефективності виявлення слабких аномалій пониження температур поверхні моря.

Слід відзначити, що для підвищення детальності досліджень по виявленню локальних макропросочувань метану з дна моря необхідно використовувати КЗ з просторовим розрізненням порядку до 20 м при сприятливих гідрометеорологічних умовах.

## Література

1. Агбунов М. В. Загадки Понта Эвксинского (Античная география Северо-Западного Причерноморья) / М. В. Агбунов. — М.: Мысль, 1985. — 160 с.
2. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування / За редакцією В. І. Лялька і М. О. Попова. — К.: Наукова думка, 2006. — 357 с.
3. Воробйов А. І. Спосіб пошуку нафтогазоносних об'єктів на морському шельфі. / А. І. Воробйов, В. І. Лялька, М. О. Попов. Патент України на винахід № 77811. Бюлетень № 1 від 15.01.2007 р.
4. Воробйов А. І. Спосіб пошуку покладів газу на морі / А. І. Воробйов, В. І. Лялька. Патент України на винахід № 94322. Бюлетень № 8 від 26 квітня 2011.
5. Грязевые вулканы Черного моря (каталог) / Е. Ф. Шнюков [и др.]. — К.: Логос, 2015. — 259 с.
6. Егоров В. Н. Метановые сипы в Черном море: средообразующая и экологическая роль / В. Н. Егоров, Ю. Г. Артемов, С. Б. Гулин. Под. ред. Г. Г. Поликарпова // Севастополь: НПЦ “ЭКОСИ-Гидрофизика”, 2011. — 405 с.
7. Леин А. Ю. Потоки метана из холодных метановых сипов Черного и Норвежского морей: количественные оценки / А. Ю. Леин // Геохимия. — 2005. — № 4. — С. 438–453.
8. Мельниченко Т. А. Комплексування літологічної і тектонічної інформації при вирішенні нафтогазових пошукових задач / Т. А. Мельниченко // Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України. — Т. 8. — К.: — 2015. — С. 95–102.
9. Мельниченко Т. А. Вплив геотектонічної активності на обсяги газових виділень у північній частині Чорного моря. / Т. А. Мельниченко, А. І. Воробйов, А. М. Гейхман // Доповіді НАН України. К. — 2016. — № 3. — С. 55–60.
10. Нафтогазоперспективні об'єкти України. Перспективи нафтогазоносності бортових зон западин України [Текст]: [монографія] / І. І. Чебаненко [та ін.]; НАН України, Інститут геологічних наук, Національна акціонерна компанія “Нафтогаз України”. — К.: Варта, 2006. — 263 с.
11. Обґрунтування перспектив нафтогазоносності осадового чохла шельфу та глибоководної частини українського сектору Чорного моря Звіт про НДР (заключний). Керівник: В. М. Ольшанецький, виконавці: О. П. Лобасов О. П., В. М. Антонішин, НАК “Нафтогаз України”, ДП “Науково-дослідний інститут нафтогазової промисловості” (ДП “Науконафтогаз”). — К., 2010. — 699 с. Договір № 1-25 від 18.05.05.
12. Шнюков Е. Ф. Газовый вулканизм Черного моря / Е. Ф. Шнюков, В. П. Коболев, А. А. Пасынков // Киев: Логос, 2013. — 384 с.
13. Alan G. Judd The global importance and context of methane escape from the seabed. *Geo-Marine Letters* (2003) 23:147-154. DOI 10.1007/s00367-003-0136-z.
14. Lieven Naudts. Geological and morphological setting of 2778 methane seeps in the Dnepr paleo-delta,

northwestern Black Sea. / Lieven Naudts, Jens Greinert, Yuriy Artemov, Peter Staelens, Jeffrey Poort, Pieter Van Rensbergen, Marc De Batist. Marine Geology 227 (2006) 177–199.

15. Katja U. Heeschen. Distribution and height of methane bubble plumes on the Cascadia Margin characterized by acoustic imaging. / Katja U. Heeschen. Geophys Res. Volume 30, Issue 12. June 2003.

# АНАЛИЗ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ МАКРОПРОСОЧУВАНИЙ МЕТАНА В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧОРНОГО МОРЯ И ИХ ПРОЯВЛЕНИЯ НА СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

А. И. Воробьев, Т. А. Мельниченко

Выполнен анализ геологической природы макропросачиваний метана в северо-западной части Черного моря на основе сопоставления их положения относительно нефтегазоперспективных структур и анализа сейсмической информации. Связь положения участков макропросачиваний метана с пересечением двух глубинных разломов свидетельствует о более вероятной глубинной природе метана. Анализ рядов космических снимков (КС) после их компьютерной обработки и визуального анализа свидетельствует об эпизодических проявлениях макропросачиваний метана в виде аномалий на КС.

**Ключевые слова:** макропросочивания метана со дна моря, акустические методы, глубинные разломы, проявления просочиваний метана на спутниковых изображениях

# THE ANALYSIS OF THE METHANE MACROLEAKAGES GEOLOGICAL NATURE IN THE NORTHWEST BLACK SEA AND THEIR DISPLAYS ON SATELLITE IMAGES

A. I. Vorobiev, T. A. Melnichenko

The analysis of the geological nature of the methane macroleakages in the northwest Black sea on the basis of comparison of their position relatively of perspective oil gas structures and the analysis of the seismic information is made. Connection of the methane macroleakages sites location with crossing of two deep faults testifies to more probable deep nature of methane. The analysis of space images numbers after their computer processing and the visual analysis testifies to incidental displays of the methane macroleakages in form of the anomalies on space images.

**Keywords:** the methane macroleakages from a sea bottom, acoustic methods, deep faults, displays of the methane macroleakages on satellite images

УДК 528.88-519.6

## Аналіз залежності між концентрацією CO<sub>2</sub> в атмосфері та температурою повітря для дослідження та прогнозування кліматичних змін в Україні

В. І. Лялько, О. А. Апостолов\*, Л. О. Єлістратова, І. Г. Артеменко

ДУ "Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України", Київ, Україна

Проаналізовано зміни вмісту CO<sub>2</sub> в атмосфері над територією України на основі вимірів приладом SCIAMACHY (космічний апарат ENVISAT) за 2003–2011 роки та з супутника GOSAT за 2010–2012 роки. Ці результати були зіставлені з температурою повітря за наземними метеорологічними спостереженнями в Україні. При цьому виявлено корелятивні зв'язки між змінами вмісту CO<sub>2</sub> в атмосфері та температурою повітря.

Встановлено, що значення концентрації CO<sub>2</sub> в атмосфері та температура повітря (°C) знаходяться в прямій корелятивній залежності, що дає можливість прогнозувати зміни концентрації CO<sub>2</sub>, маючи тренд температури і навпаки.

**Ключові слова:** температура повітря, концентрації CO<sub>2</sub>, тренд, SCIAMACHY, GOSAT

© В. І. Лялько, О. А. Апостолов, Л. О. Єлістратова, І. Г. Артеменко. 2016

### Актуальність дослідження

Клімат України є частиною загальної глобальної кліматичної системи. Всі аномалії температури, опадів, стихійних явищ в Україні є наслідком макрорегіональних процесів в Атлантико-Європейському секторі атмосферної циркуляції. Що стосується регіонального антропогенного фактора в Україні, то він формується довготривалим періодом ведення господарської діяльності. Антропогенний вплив проявляється в масштабах мікроклімату і змінює місцеву циркуляцію, але на рівні великомасштабної циркуляції цей вплив не є суттєвий. Слід зазначити, що накладання глобального антропогенного фактора та регіонального (Україна) антропогенного фактору значною мірою змінюють сучасні кліматичні умови у бік потепління.

Встановлено, що з факторів антропогенного впливу основними є збільшення концентрації парникових газів і збільшення викидів аерозолів в атмосферу.

Розраховано, скільки сонячної енергії і тепла поглинають різні парникові гази. Знаючи хімічний склад атмосфери, легко можна пояснити поглинання парниковими газами інфрачервоного випромінювання Землі. Природний парниковий ефект Землі — це збалансований процес, завдяки йому середня температура земної поверхні на 32 градуси вища, ніж була б при його відсутності. Антропогенне збільшення концентрації парникових газів в атмосфері призведе до посилення природного парникового ефекту [1]. Сьогодні уже мало хто з учених, які безпосередньо займаються проблемою зміни клімату, не враховує цього факту. На даний час викликає турбо-

ту, яка кількість парникових газів може стати критичною і викличе незворотні порушення енергетичного балансу Земля–Космос.

Емісія парникових газів, що триває, спричинятиме подальше потепління і зміни в усіх компонентах кліматичної системи. Обмеження кліматичних змін потребуватиме значного і безперервного зниження викидів парникових газів [6]. Для контролю рівня CO<sub>2</sub> в атмосфері в останнє десятиліття активно використовують дані, отримані з супутників, які насамперед дають можливість постійного спостереження за концентрацією вуглекислого газу в атмосфері. В процесі технічного вдосконалення супутників, що несуть на собі сенсори по визначенню CO<sub>2</sub> в атмосфері, розробки та оптимізації алгоритмів обробки даних, з'являються можливості обчислювати якісніші глобальні сценарії змін і оцінювати з більшою точністю істотні регіональні зміни, спричинені зростанням концентрації CO<sub>2</sub>.

Прогнози на наступні кілька десятиліть демонструють просторову картину змін клімату, подібну до прогнозу на кінець XX ст., але з нижчими значеннями у глобальному масштабі [2]. Що стосується України то з початку XXI ст. спостерігається досить стрімкий процес потепління клімату. До цього потрібно адаптуватися, готуватися і розуміти, що по іншому при таких умовах і темпах підвищення температури у найближчі 10–20 років не буде. Знаючи реальну інформацію про сучасний клімат в нашій країні, це дасть можливість зменшити економічні та соціальні наслідки зміни клімату, і отримати можливі вигоди з процесу потепління. Тому для вирішення поставлених задач слід залучати матеріали дистанційного зондування, які можуть забезпечити постійні, з географічною прив'язкою регулярні продукти. Дистанційне зондування допоможе інтерполювати дані

\* alex@casre.kiev.ua

спостережень на території, що не охоплені мережею метеорологічних станцій. Саме поєднання метеорологічних величин та даних ДЗЗ дуже важливе для розуміння коливань та змін клімату, особливо на території, де відносно густа сітка метеорологічних станцій (190). Таким чином, територія України може бути прикладом для отримання реальних характеристик змін клімату.

### Мета роботи

Виявлення корелятивних зв'язків між даними CO<sub>2</sub> та температурою повітря для дослідження сучасної зміни клімату в Україні.

### Аналіз останніх досліджень публікацій

Для вирішення наукової задачі по визначенню концентрацій парникових газів в атмосфері актуальною постає робота по оптимізації моніторингу та коректній оцінці інформації про вміст основних парникових газів (зокрема CO<sub>2</sub> та CH<sub>4</sub>) над територіями країн. Необхідно зазначити, що технічні можливості по оцінці концентрацій парникових газів супутниковими методами з'явилися у 2002 році, коли були задіяні супутники Envisat-1 та Aqua, на яких розміщуються сенсори SCIAMACHY та AIRS відповідно, що визначають вміст парникових газів в атмосфері. В працях таких іноземних науковців, як М. Buchwitz, М. Reuter, Oliver Schneising, Edward. T. Olsen, Thomas S. Pagano, Н. Takagi, І. Morino [6], розроблено алгоритми визначення концентрацій за даними сенсорів, проведена верифікація на окремих ділянках, оцінена загальна достовірність визначення концентрації для деяких типів підстильної поверхні, отримані глобальні розподіли концентрацій парникових газів, визначені напрямки роботи з розрахунків концентрації на регіональному масштабі.

Серед українських фахівців в даному напрямі необхідно відмітити роботи В. І. Лялька, Ю. В. Костюченка, О. Д. Федоровського, О. І. Сахацького, Д. М. Мовчана [3–5], які спрямовані на уточнення регіональних даних концентрації парникових газів, їх верифікацію та калібровку з даними наземних полігонів, геопросторовий аналіз, розробку і оптимізацію методів використання для оцінки балансу парникових газів на регіональному рівні і для проблемно-орієнтованих моделей енергомасообміну в геосистемах.

Серед новіших досліджень слід відмітити розрахунки окремо динаміки зміни концентрації CO<sub>2</sub> в атмосфері та температури повітря, як для країни в цілому, так і для кожної адміністративної області окремо, результати наведені у монографії [6].

В зв'язку із доволі швидкою зміною кліматичних показників за останні роки ХХІ ст., постає питання про подальшу оцінку зміни в концентрації CO<sub>2</sub>, що провокують кліматичні зміни (зокрема зміни темпе-

ратури повітря) для дослідженнями та прогнозування кліматичних змін в Україні.

### Матеріали і методика дослідження

Для встановлення зв'язків між температурою повітря та вмісту CO<sub>2</sub> в атмосфері, нами було підготовлені дані середньорічної температури по Україні за даними 54 наземних метеорологічних станцій та дані по концентрації CO<sub>2</sub> по всій території України за даними супутника ENVISAT сенсор SCIAMACHY з просторовою розрізненістю 0.5 на 0.5 градуси за період з 2003 по 2011 роки та з супутника GOSAT з просторовою розрізненістю 2.5 на 2.5 градуси за 2010–2012 роки.

### Виклад матеріалу

Спочатку було виконано кореляцію між вхідними наборами даних, коефіцієнт кореляції:  $R^2 = 0.25$ . Таким чином, можливо зробити висновок, що безпосередньо дані неможливо порівнювати, через складний характер графіку розподілу температур (рис. 1).

Нами було запропоновано, провести осереднення первинних даних температури ковзним вікном розміром 5 років. Такий підхід застосовується в прикладних науках, наприклад в кліматології, він дозволяє осереднити первинні дані, прибрати екстремальні значення.

Наступним кроком було визначено тренду розподілу осереднених значень температур, для території України рівняння тренду має вигляд:

$$Y = 0.09440606061 \cdot X - 180.4452667,$$

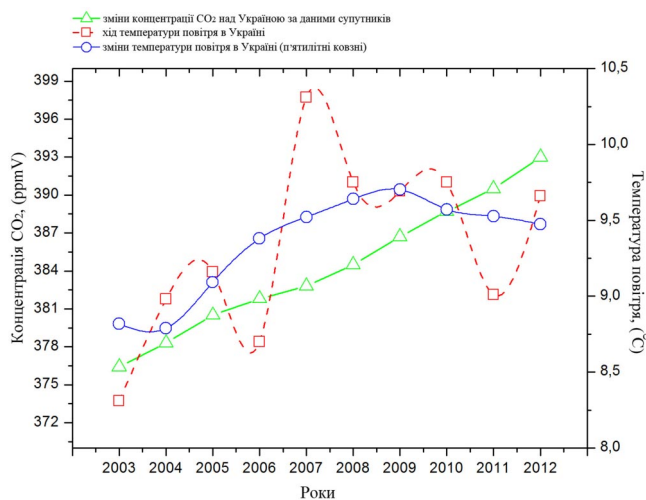
де  $X$  — це роки, а  $Y$  — значення температури (°C). Коефіцієнт кореляції між трендом та осередненими 5-ти літніми ковзним вікном значеннями температур:  $R^2 = 0.64$ .

Останнім кроком було проведено співставлення тренду температур та первинних даних концентрації CO<sub>2</sub>, коефіцієнт кореляції  $R^2 = 0.99$ , а само рівняння має вигляд:  $Y = 0.04951201885 \cdot X - 9.67715908$ , де  $X$  — це концентрація CO<sub>2</sub> (ppmV), а  $Y$  — значення температури (°C) (рис. 2).

Отримані результати дозволяють зробити попередній висновок, що значення концентрації CO<sub>2</sub> в атмосфері та температура повітря (°C) знаходяться в прямій кореляційній залежності. Таким чином, можливо уточнити регіональний прогноз зміни температури повітря, маючи супутникові дані про зміни концентрації CO<sub>2</sub> для території України.

### Висновки та рекомендації

Для передбачення та прогнозування можливого перебігу та негативного впливу на довкілля, економіку і умови життєдіяльності населення України від



**Рис. 1.** Зіставлення зміни концентрації  $\text{CO}_2$ , температури повітря та температури повітря осередненою п'ятилітніми ковзними на території України

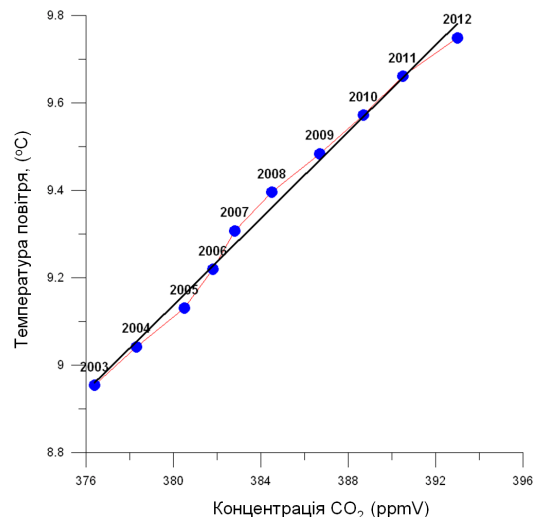
змін клімату на коротко- і середньострокову перспективу потрібна організація додаткових наукових досліджень впливу фактичних та очікуваних змін клімату, превентивно організувати постійний оперативний моніторинг стану концентрації  $\text{CO}_2$ , провести прогнозування сценаріїв розвитку та ризику можливих загроз навколишньому середовищу та суспільству і запропонувати оперативно діючу систему заходів та механізмів їх реалізації по мінімізації впливу цих загроз.

Слід зазначити, що для прийняття обґрунтованих рішень із питань адаптації до зміни клімату необхідно перетворити, якщо це можливо в кількісну форму всі елементи аналізу інформації зі змін клімату. Обов'язково враховувати супутникову інформацію, що дозволить технічними засобами перевірити результати досліджень зі змін клімату.

Інформація повинна пройти авторську перевірку і незалежну експертну академічну оцінку.

У процесі використання інформації про майбутній клімат відчувається її недостатність, а також неповнота доказів щодо її достовірності. І все ж таки нею не слід нехтувати. Там, де не можливо дати кількісну оцінку, доцільним є доповнення інформації рядом тверджень якісного логічного характеру.

У розгляді прогнозів, які містять деякі попередження про несприятливий розвиток подій, рішення потрібно приймати, не дочекавшись, поки настане цілковита ясність подій. Слід відзначити, що кінцева ясність взагалі може не наступити або наступити занадто пізно.



**Рис. 2.** Зіставлення тренду температури повітря та первинних даних концентрації  $\text{CO}_2$

Кінцевий вибір може здійснюватися тепер і в майбутньому на основі тверджень учених і спеціалістів.

*Публікація містить результати досліджень, проведених при грантовій підтримці Державного фонду фундаментальних досліджень за конкурсним проектом № Ф64/25-2015, № Ф64/20-2016.*

## Література

1. Дослідження впливу змін  $\text{CO}_2$  та  $\text{CH}_4$  в атмосфері на клімат за матеріалами космічних зйомок / В. І. Лялько [та ін.] // Геол. журнал. — 2007. — № 4. — С. 7–16.
2. Клімат України: у минулому... майбутньому? / Кульбіда М. І. [та ін.]. — К.: Сталь, 2009. — 234 с.
3. Лялько В. І. Оцінка впливу астрономічних та геоботанічних факторів на формування кліматичних особливостей регіонів (на прикладі України) / В. І. Лялько, Д. М. Мовчан, С. В. Сябряй // Геоінформатика. — 2009. — № 3. — С. 74–82.
4. Особенности дистанционного зондирования Земли при исследовании глобальных и региональных изменений климата / В. И. Лялько [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов: Сб. науч. статей. Т. 2. — М.: GRANP polygraf, 2005. — С. 23–27.
5. Парниковый эффект і зміни клімату в Україні: оцінки та наслідки / За ред. Лялька В. І. — К.: НВП "Наукова думка" НАН України, 2015. — 283 с.
6. Alexander Lisa V. Climate Change 2013 / Alexander Lisa V., Allen Simon K., Bindoff Nathaniel L. // The Physical Science Basis. — 2013. — 30 p.

АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ КОНЦЕНТРАЦИЕЙ  $\text{CO}_2$  В АТМОСФЕРЕ И ТЕМПЕРАТУРОЙ ВОЗДУХА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В УКРАИНЕ

В. И. Лялько, А. А. Апостолов, Л. А. Елистратова, И. Г. Артеменко

Проанализировано изменения содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере над территорией Украины на основании измерений прибором SCIAMACHY (космический аппарат ENVISAT) за 2003–2011 годы и данных со спутника GOSAT за 2010–2012 года. Эти

результаты были сопоставлены с температурой воздуха по наземным метеорологическим наблюдениям в Украине. При этом выявлено коррелятивные связи между изменениями содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере и температурой воздуха. Установлено, что значение концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере и температура воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ ) находятся в прямой корреляционной зависимости, что дает возможность прогнозировать изменения концентрации  $\text{CO}_2$ , имея тренд температуры и наоборот.

**Ключевые слова:** температура воздуха, концентрация  $\text{CO}_2$ , тренд, SCIAMACHY, GOSAT

ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE CONCENTRATION OF  $\text{CO}_2$  IN THE ATMOSPHERE AND TEMPERATURE OF THE AIR FOR RESEARCH AND FORECASTING OF CLIMATE CHANGE IN UKRAINE

V. I. Lyalko, A. A. Apostolov, L. A. Elistratova, I. G. Artemenko

The changes of content of  $\text{CO}_2$  in the atmosphere over the territory of Ukraine on the basis of measurements from ENVISAT/SCIAMACHY for 2003–2011 and from GOSAT for 2010–2012 have been analyzed. These results have been compared with the air temperature from ground meteorological observations in Ukraine. It is revealed the correlative relationship between changes of content of  $\text{CO}_2$  in the atmosphere and the air temperature.

It is established that value of concentration of  $\text{CO}_2$  in the atmosphere and the air temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) are in direct correlation dependence that gives the chance to predict changes of concentration of  $\text{CO}_2$ , having temperature trend and vice versa.

**Keywords:** temperature, concentration of  $\text{CO}_2$ , trend, SCIAMACHY, GOSAT

УДК 550.34:528.8.04

## Прояви аномалій хмарності на супутникових зображеннях перед сильними землетрусами

А. І. Воробйов\*, В. І. Лялько, Т. А. Мельниченко, В. М. Подорван

ДУ "Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України", Київ, Україна

Виконано вивчення проявів аномалій хмарності на супутникових зображеннях сейсмоактивних регіонів перед сильними землетрусами, які відбулись відповідно 9 листопада 2002 року, 6 квітня 2009 року і 18 жовтня 2011 року в районах міст Анапа (Росія), Аквілла (Італія) та Ван (Туреччина).

**Ключові слова:** вогнище землетрусу, модель лавинно-нестійкого утворення тріщин, прояви аномалій хмарності на супутникових зображеннях

© А. І. Воробйов, В. І. Лялько, Т. А. Мельниченко, В. М. Подорван. 2016

Найбільш розвинутою на сьогоднішній день моделлю виникнення вогнищ землетрусів є модель лавинно-нестійкого утворення тріщин (ЛНТ-модель) (Brace et al., 1966; Scholz et al., 1973; Мячкин та ін., 1975, Соболев, 1993).

У моделі ЛНТ великомасштабний розрив пов'язують із розвитком і взаємодією великої кількості тріщин зрушення в гіпоцентральної зоні вогнища землетрусу [1, 3, 4].

Цей процес включає три стадії:

- однорідне розтріскування, збільшення існуючих тріщин і утворення поля нових тріщин;
- лавинна взаємодія тріщин, досягнення критичної щільності тріщин, їхнє злиття й локалізація у вузькій зоні;
- нестійка деформація у вузькій зоні і утворення магистрального розриву (тектонічного розлому).

Таким чином, у вогнищі землетрусу відбувається розрив неперервності порід Землі під дією напружень зсуву, накопичених в процесі тектонічної деформації. Прямі виміри зрушень уздовж "берегів" магистрального розриву показали, що вогнищами ЗТР є розриви типу зсуву, а нормальна складова відносно го зсува є дуже малою [2, 5].

В результаті вивільнення накопиченої енергії відбувається розрив неперервності середовища, через який глибинні високотемпературні гази можуть прориватись в атмосферу і утворювати лінійні аномалії хмарності (ЛАХ), зокрема смуги відсутності хмарності. Довжина ЛАХ пов'язана із розмірами магистрального розриву і енергією (магнітудою) землетрусу. В процесі утворення магистрального розриву виділяється сейсмічна енергія, а над тектонічними розломами утворюються ЛАХ, які мають вигляд гряд хмарності, різних лінійних границь полів хмарності або вузьких безхмарних зон розмивання (каньйонів) [2, 5].

Аномалії хмарності значної протяжності становлять значний інтерес для прогнозу сильних землетрусів. Для виявлення ЛАХ перед сильними землетрусами ефективним може бути використання космічних знімків (КЗ) Землі, які забезпечують значні площі покриття зйомкою з періодичністю від кількох годин (супутники NOAA) до однієї доби (супутники AQUA або TERRA).

У даній роботі наведені результати вивчення проявів ЛАХ на прикладі сильних ЗТР, які відбулись в районі м. Анапа (Росія) 9 листопада 2002 р., в районі м. Aquilla (Італія) 6 квітня 2009 р., і в районі м. Ван (Туреччина) 23 жовтня 2011 р.

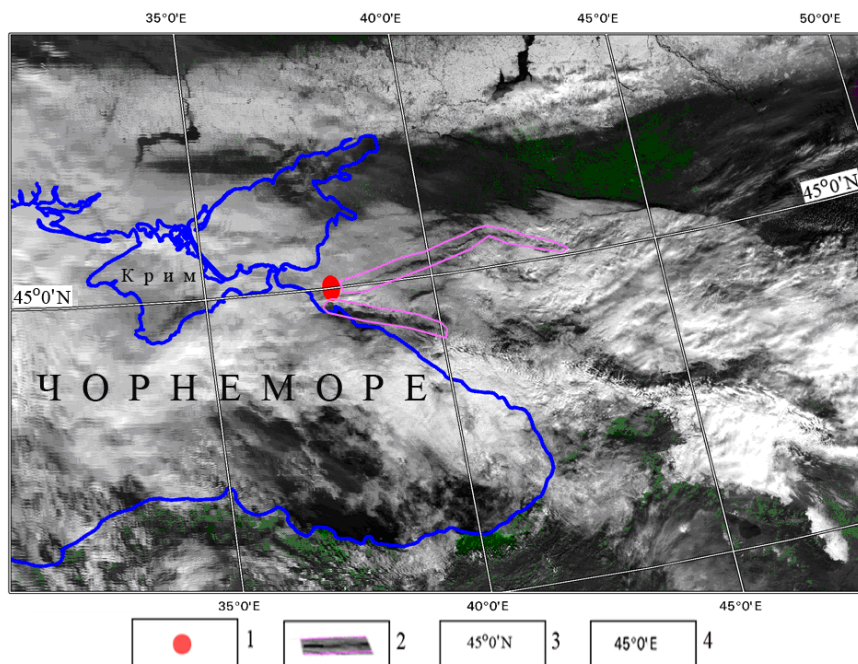
При цьому були використані супутникові зображення, отримані за допомогою сенсора MODIS. Спочатку аналізувались ряди КЗ у вигляді квік-луків, що дозволяло відібрати зображення з аномаліями хмарності за заданий період часу перед сильними або катастрофічними ЗТР.

Дослідження проявів ЛАХ перед землетрусом з магнітудою 5.7, можна продемонструвати на прикладі землетрусу, який відбувся 9 листопада 2002 р. (313 день року) в районі міста Анапа (Росія). Для досліджень були використані супутникові зображення, зареєстровані сенсором MODIS за кілька днів перед цим ЗТР.

На рис. 1 представлено КЗ, зареєстрований сенсором MODIS у 311 день 2002 року за дві доби перед землетрусом в районі міста Анапа. Після географічної прив'язки зображення, на нього було винесено положення епіцентру землетрусу у вигляді круга червоного кольору.

Аналіз рис. 1 свідчить про те, що за дві доби перед землетрусом з'явилося кілька лінійних аномалій хмарності у вигляді так званих "каньйонів" (зникнення хмарності у вузькій смузі), які до цього дня не спостерігались. На рис. 1 видно, що одна з аномалій хмарності була спрямована на місце, де потім відбувся землетрус.

\* Vorobiev@casre.kiev.ua  
Тел. +380 486 11 48



**Рис. 1.** Супутникове зображення Чорноморського регіону, зареєстроване сенсором MODIS 7 листопада (311 день 2002 року) — за дві доби перед землетрусом в районі м. Анапа (Росія).  
1 — епіцентр землетрусу; 2 — аномалії хмарності; 3 — північна широта; 4 — східна довгота

### **Аномалії хмарності перед катастрофічним землетрусом 6 квітня 2009 року в районі Aquila (Італія)**

Катастрофічний землетрус, що відбувся в районі міста Aquila 6 квітня — на 96-й день 2009 року, мав магнітуду 6.3 бала (глибина гіпоцентру була 8 км). Координати епіцентру цього ЗТР були такі: 42°33' північної широти і 13°33' східної довготи.

На рис. 2 наведено два фрагменти космічних знімків зареєстрованих сенсором MODIS у 85-й і 87-й дні 2009 року. На супутникових зображеннях (рис. 2) хрестом показано положення епіцентру цього ЗТР.

На рис. 2 видно, що у 85-й день 2009 року (за 11 діб перед ЗТР) над епіцентром майбутнього ЗТР спостерігались дві вузькі лінійні аномалії розмивання хмарності ("каньйони"), які перетинались між собою. У 87-й день характер хмарності різко змінився — аномалії хмарності стали більш широкими, але спостерігався їх перетин. На рис. 3 представлено зображення, зареєстровані сенсором MODIS у 92-й і 93-й дні 2009 року, за 4 і 5 діб відповідно перед майбутнім ЗТР.

На рис. 3 видно, що у 92-й день 2009 року в районі епіцентру майбутнього ЗТР залишалась складна хмарність і перетинання ЛАХ. На рис. 5 представлено зображення, зареєстровані у 95-й день 2009 року, за одну добу перед катастрофічним ЗТР (96-й день 2009 року).

Таким чином, аналіз матеріалів супутникових зйомок Апеннінського півострова свідчить про те, що перед катастрофічним землетрусом 6 квітня

2009 року у різній формі спостерігались ЛАХ, що підтверджує можливість їх використання для прогнозу ЗТР.

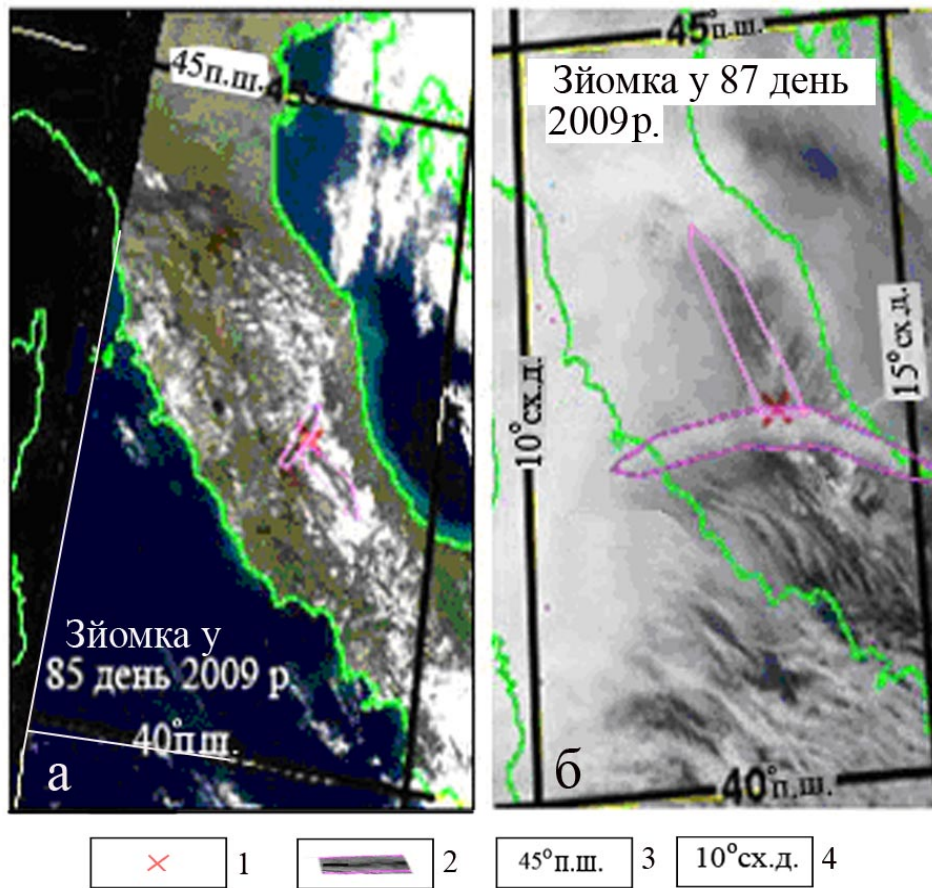
### **Аномалія хмарності перед катастрофічним землетрусом 23 жовтня 2011 року в районі озера Ван (Турція)**

Руйнівний землетрус у південно-східній провінції Туреччини Ван магнітудою 7.2, відбувся 23 жовтня 2011 року о 13 годині 41 хвилині за місцевим часом у 16 км на північний схід від міста Ван. Під час ЗТР загинуло 279 людей, 1 301 — поранено. Було зруйновано 2 262 будинки. Гіпоцентр цього землетрусу знаходився на глибині 20 км. Координати: 38.628° ПН. Ш., 43.486° СХ. Д. Перший афтершок магнітудою 4.9 цього ЗТР відбувся через 7 хвилин після основного підземного поштовху у 26 км на північний захід від оз. Ван. Гіпоцентр знаходився на глибині 2 км.

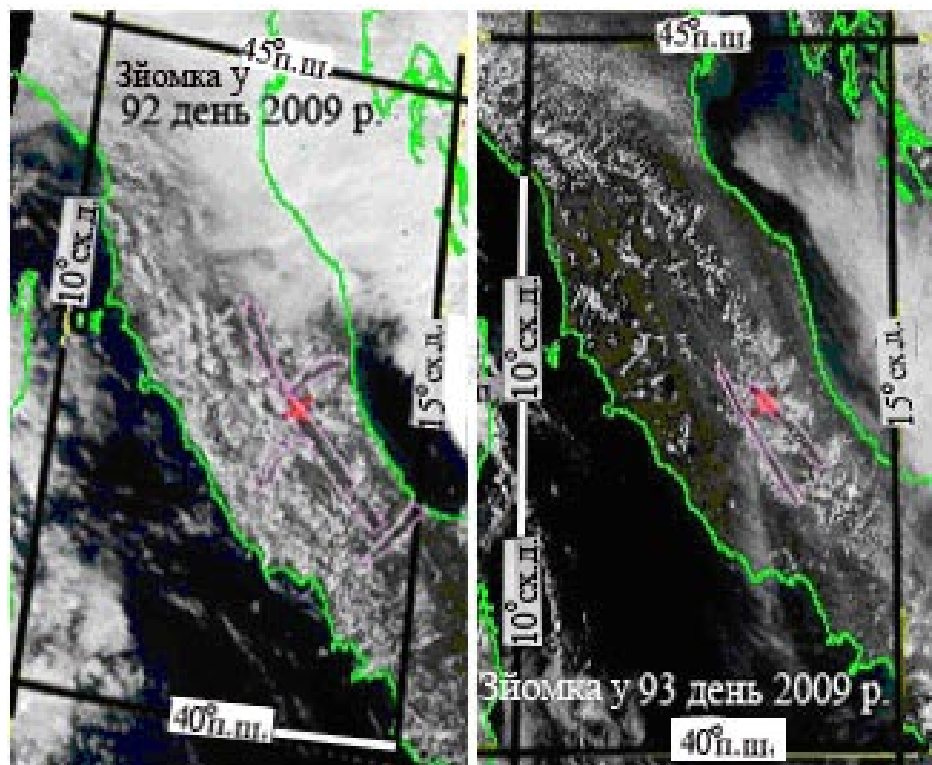
Другий афтершок магнітудою 4.8 за шкалою Ріхтера, було зафіксовано через 11 хвилин після основного землетрусу у 33 км на північний захід від озера на глибині 7 км. Самий потужний з афтершоків цього землетрусу мав магнітуду 6.0. Він відбувся 24 жовтня 2011 року о 20:45 GMT.

На рис. 4 наведено КЗ, знятий сенсором MODIS 18 жовтня 2011 року за 5 діб перед катастрофічним ЗТР.

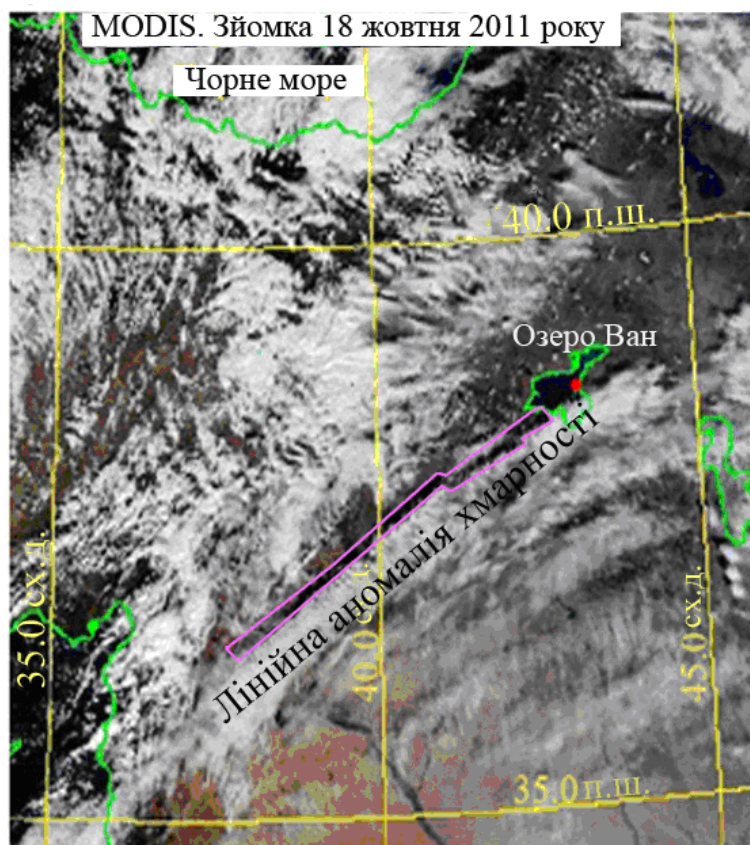
На рис. 4 фіолетовим кольором обведено ЛАХ, зареєстровану сенсором MODIS 18 жовтня 2011 року за 5 діб перед катастрофічним землетрусом,



**Рис. 2.** Аномалії хмарності, зареєстровані сенсором MODIS у 85 і 67 дні 2009 року.  
1 — епіцентр землетрусу; 2 — аномалії хмарності; 3 — північна широта; 4 — східна довгота



**Рис. 3.** Аномалії хмарності, зареєстровані сенсором MODIS у 92-й і 93-й дні 2009 р.  
Умовні позначення — див. рис. 2.



**Рис. 4.** Лінійна аномалія хмарності, зареєстрована супутниковим сенсором MODIS 18 жовтня 2011 року за 5 днів перед катастрофічним землетрусом у південно-східній частині Туреччини (в районі міста Ван). Умовні позначення — див. рис. 2.

напрямок якої орієнтований на місце катастрофічного землетрусу в районі міста Ван.

Як свідчать результати досліджень авторів у сейсмоактивних регіонах, ЛАХ спостерігаються на протязі до двох тижнів. Частіше ЛАХ проявляються за 3–7 днів перед сильними або катастрофічними землетрусами. Про це свідчать і результати вивчення ЛАХ в інших регіонах, зокрема перед рядом інших сильних землетрусів у Туреччині, а також перед катастрофічним ЗТР 11 березня 2011 року, який відбувся у Японії.

Супутниковий моніторинг з використанням метеорологічних супутників NOAA і TERRA (AQUA) для виявлення ЛАХ дозволяє прогнозувати сильні землетруси, що достатньо для оголошення і виведення населення з небезпечних районів можливих ЗТР.

## Література

1. Мячкин В. И. Процессы подготовки землетрясений / В. И. Мячкин. М.: Наука, 1978. — 232 с.
2. Морозова Л. И. Спутниковый мониторинг землетрясений / Л. И. Морозова. Владивосток: Дальнаука, 2005. — 137 с.
3. Соболев Г. А. Основы прогноза землетрясений / Г. А. Соболев. М.: Наука, 1993. — 313 с.
4. Соболев Г. А. Физика землетрясений и предвестники / Г. А. Соболев, А. В. Пономарев. М.: Наука, 2003. — 270 с.
5. Zhonghao Shou. Earthquake clouds and short term prediction. Science and Utopya 65, page 34, November 1999 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.earthquakesignals.com/zhonghao296/A010720.html>. — Назва з екрану.

## ПРОЯВЛЕНИЯ АНОМАЛИЙ ОБЛАЧНОСТИ НА СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ ПЕРЕД СИЛЬНЫМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ

А. И. Воробьев, В. И. Лялько, Т. А. Мельниченко, В. Н. Подорван

Выполнено изучение проявлений аномалий облачности на космических снимках сейсмоактивных регионов перед сильными землетрясениями, которые произошли 9 ноября 2002 года, 6 апреля 2009 года и 18 октября 2011 года в районах городов Анапа (Россия), Аквилла (Италия) и Ван (Турция).

**Ключевые слова:** очаг землетрясения, модель лавинно-неустойчивого образования трещин, проявления аномалий облачности космических снимках

DISPLAYS OF CLOUDS ANOMALIES ON THE SATELLITE IMAGES BEFORE STRONG EARTHQUAKES

A. I. Vorobiev, V. I. Ljalko, T. A. Melnichenko, V. M. Podorvan

Studying of clouds anomalies on the satellite images of seismoactive regions before strong earthquakes which have occurred accordingly on November, 9th, 2002, on April, 6th, 2009 and on October, 18th, 2011 in areas of the cities Anapa (Russia), Aqviilla (Italy) and Van (Turkey) is executed.

**Keywords:** a seismic centre, model of the avalanche -unstable formation of cracks, displays of clouds anomalies on the satellite images

УДК 551.510

## Зміни в розподілі загального вмісту озону в атмосфері над Антарктикою

А. В. Грицай<sup>1</sup>, Г. П. Міліневський<sup>1</sup>, О. М. Євтушевський<sup>1\*</sup>, А. Р. Клекочук<sup>2</sup><sup>1</sup> Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна<sup>2</sup> Австралійська антарктична служба, Кінгстон, Австралія

В роботі узагальнюються дані про зміни в зональній асиметрії антарктичного озону за супутниковими вимірюваннями 1979–2015 рр. та про їх зв'язок із параметрами атмосфери південної півкулі, одержані авторами за останнє десятиліття. Весняні рівні антарктичного озону у 2000-і–2010-і роки не показують зростання площі озонової діри, яке спостерігалося у 1980-і–1990-і роки. Стабілізацію та перші ознаки зменшення площі озонової діри вважають наслідком дії Монреальського протоколу 1987 р. з обмежень викидів озоноруйнуючих речовин в атмосферу. Довготривалі зміни вмісту озону в атмосфері над антарктичним регіоном у весняний сезон супроводжуються змінами в його асиметричному розподілі відносно південного полюса. Міжрічні міграції положення довготного мінімуму озону демонструють статистично значущий зв'язок із структурою квазістаціонарних планетарних хвиль у розподілі атмосферних параметрів. Довготривалий довготний дрейф мінімуму озону виявляє схожість із дрейфом у зональній структурі планетарних хвиль у розподілі тропосферних параметрів, а також супроводжується меридіональним зміщенням кліматичних аномалій у бік екватора. Одержані співвідношення характеризують взаємозалежність великомасштабних тропосферних та стратосферних збурень у південній півкулі у сезон озонової діри.

**Ключові слова:** загальний вміст озону, антарктична стратосфера, зональна асиметрія, квазістаціонарні планетарні хвилі, зміни клімату

© А. В. Грицай, Г. П. Міліневський, О. М. Євтушевський, А. Р. Клекочук. 2016

### Вступ

Розподіл загального вмісту озону (ЗВО) над Антарктикою стає особливо нерівномірним навесні (вересень–листопад). По-перше, з середини 1980-х років у полярній стратосфері південної півкулі щороку, починаючи з серпня, утворюється озонова діра [10] — область низьких рівнів ЗВО ( $\leq 220$  одиниць Добсона, ОД). На рис. 1 ця область обведена чорним контуром. Озонова діра формується всередині стратосферного полярного вихору — циклонічного зонального потоку, який обмежує обмін повітряних мас між середніми та високими широтами. Це сприяє зниженню температури полярної стратосфери та зростанню площі стратосферних хмар, де акумулюються хлорфторвуглеці, задіяні у хімічних реакціях з руйнування молекул озону [28]. Оскільки основна маса озону у вертикальному стовпі атмосфери припадає на стратосферні висоти 15–25 км (так зв. озоновий шар), вимірювання ЗВО характеризують переважно зміни стратосферного озону.

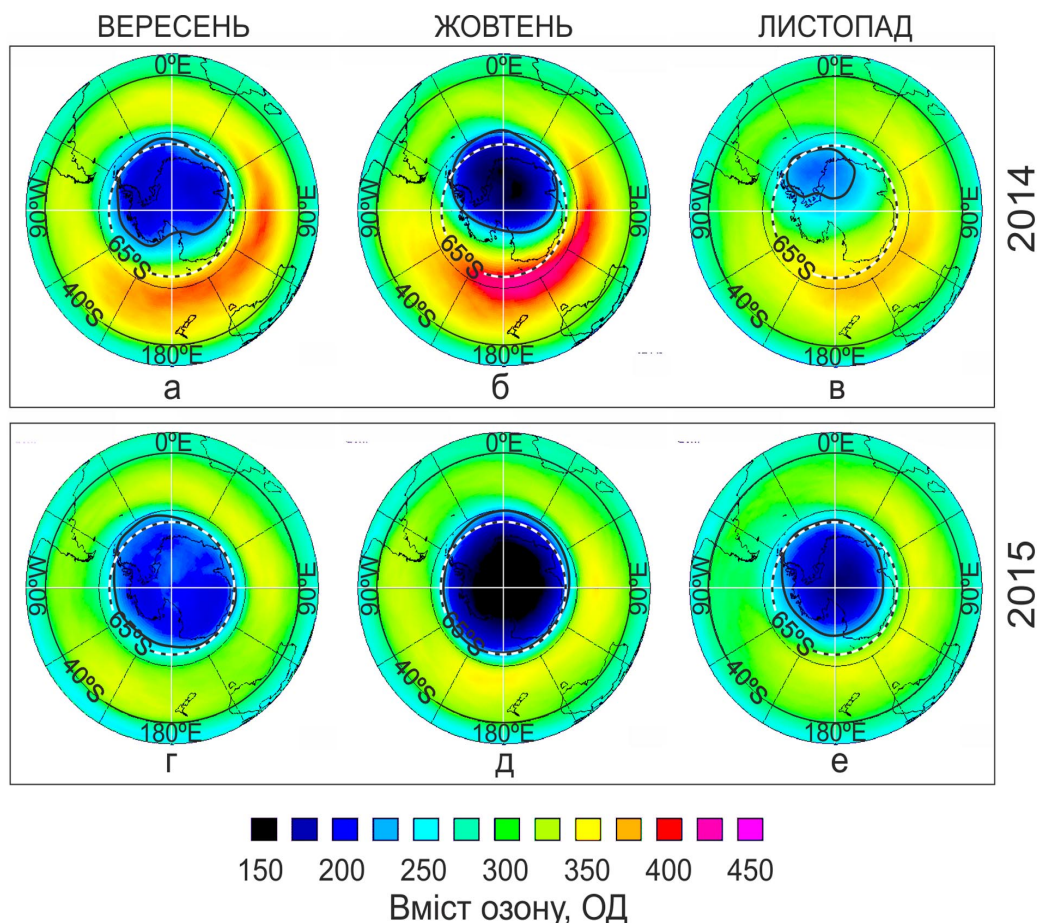
По-друге, зовні стратосферного вихору накопичуються високі рівні ЗВО (відтінки жовтого та червоного за кольоровою шкалою на рис. 1). По-третє, через збурення, спричинені планетарними хвилями, аномалії низького та високого рівнів ЗВО розташовуються асиметрично відносно південного полюса.

Як видно із положення аномалій ЗВО на рис. 1, активність планетарних хвиль була високою у 2014 р. (значна зональна асиметрія ЗВО на верхніх зображеннях) і низькою у 2015 р. (досить симетричний розподіл ЗВО на нижніх зображеннях).

З досліджень асиметрії ЗВО в антарктичному регіоні визначено, що озонова діра, як і полярний вихор, під впливом великомасштабних квазістаціонарних хвиль (КСХ) зміщуються переважно в атлантичний сектор 0–60°W [3, 19, 29, 39, 40]. Основний внесок у таке зміщення дає КСХ із зональним хвильовим числом  $m = 1$  (КСХ1). Це видно з рис. 1 на зображеннях для вересня–жовтня 2014 р., які представляють типову картину зональної асиметрії ЗВО у південній півкулі внаслідок дії КСХ1. Тому зональний мінімум ЗВО постійно реєструється в атлантичному секторі. Зональний максимум  $\sim 370$  ОД і вище розташовується у протилежному австралійському секторі (90–180°E) на середніх широтах 40–60°S (див. рис. 1, вгорі).

Таким чином, варіації асиметричного розподілу ЗВО в Антарктиці з року в рік зумовлюються поєднанням динамічних (вплив КСХ) та хімічних (озоноруйнуючі реакції) процесів. Крім значних міжрічних варіацій (див. рис. 1), існують суттєві довготривалі зміни інтенсивності та положення аномалій ЗВО в антарктичному регіоні. Останні результати вивчення озонового шару над Антарктикою свідчать про припинення зростання площі озонової

\* E-mail: o\_evtush@ukr.net



**Рис. 1.** Середньомісячний розподіл ЗВО у південній півкулі у весняні місяці вересень (а, г), жовтень (б, д) та листопад (в, е) у 2014 р. (а–в) та 2015 р. (г–е)

діри у 2000-х роках, як наслідок дії Монреальського протоколу 1987 р. з обмеження викидів хлорфторвуглеців в атмосферу [7, 25].

Важливим результатом було встановлення довготного зсуву зонального мінімуму ЗВО ( $ZVO_{\min}$ ) в атлантичному секторі. Такий зсув узгоджується з даними по структурі полярного вихору та по розподілу стратосферної температури, і відбувався він впродовж 1980-х–1990-х років в межах від південного краю Південної Америки на схід у бік гринвіцького меридіану [2, 3, 5, 12, 15, 17, 19, 29, 30]. Незалежні оцінки швидкості довготного зсуву на схід дають узгоджені, статистично значущі значення 15–20° за десятиліття [5, 29, 30].

Як можливі причини багаторічного зсуву  $ZVO_{\min}$  вказувалися зміни в тропосферних джерелах КСХ [29], у структурі та інтенсивності субтропічного тропосферного струменя [3, 14, 38], а також у концентрації самого стратосферного озону та вулканічних аерозолів [30].

Розвиток озонової діри та еволюція довготного зсуву  $ZVO_{\min}$  показують схожі тенденції з максимальною швидкістю змін у 1980-і–1990-і роки та сповільненням, припиненням і ознаками зворотних змін у 2000-і–2010-і роки [1]. Це вказує на зв'язок змін в

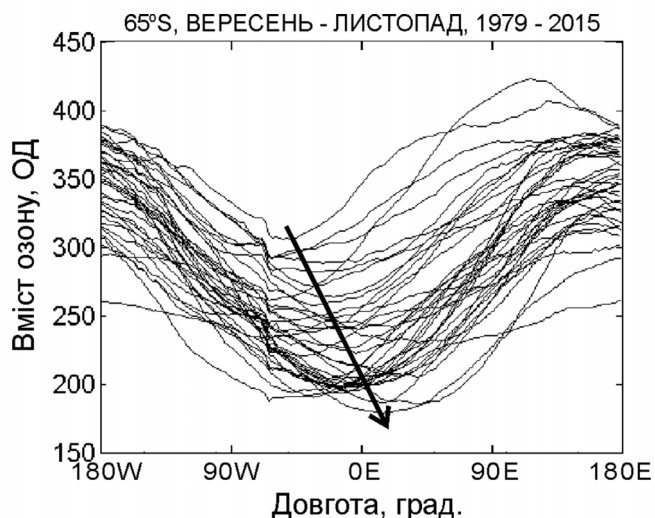
озоні із змінами в його зональній асиметрії. Зміни в озоні у нижній стратосфері визначають тепловий режим і зональну циркуляцію не лише у стратосфері, а й у тропосфері [36]. У свою чергу, варіації зональної асиметрії у температурі та швидкості вітру в нижній стратосфері можуть впливати на розповсюдження планетарних хвиль і, через зворотні зв'язки, спричинювати взаємопов'язаність змін в озоні із змінами в структурі планетарних хвиль у стратосфері і тропосфері та з регіональними змінами клімату [4, 6, 8, 26].

Моделі кліматичних змін прогнозують повільне відновлення озонового шару у південній півкулі впродовж 21-го століття [7]. Тому зональна асиметрія ЗВО, ймовірно, також зазнаватиме подальших змін і вивчення можливої її ролі в загальній циркуляції атмосфери та кліматі антарктичного регіону та південної півкулі залишатиметься актуальним. У цій роботі узагальнюються результати досліджень довготного положення  $ZVO_{\min}$ , виконаних авторами у 2005–2016 рр. [1, 2, 9, 12, 13, 17, 29] за супутниковими вимірюваннями, які здійснюються регулярно з 1979 р. Наводяться також нові дані за рядами спостережень, продовженими до 2015 р.

### Використані дані та методика аналізу

Використано середньомісячні супутникові дані з розподілу ЗВО у південній півкулі, наявні на вебсайті NASA <http://ozoneaq.gsfc.nasa.gov>. Значення ЗВО тут наведено з кроком  $1^\circ$  по широті та довготі. Дані охоплюють вимірювання Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) / Nimbus-7 (1979–1992), TOMS / Earth Probe (1996–2005) та Ozone Monitoring Instrument (OMI) / Aura (2006–2015). Пропуск у спостереженнях між роботою Nimbus-7 та Earth Probe у 1993–1995 рр. заповнено даними реаналізу Multi Sensor Reanalysis (MSR) [37], розміщеними на вебсайті <http://www.temis.nl>. Як зазначено у Вступі, зональна асиметрія ЗВО над Антарктикою найвища у весняні місяці (див. рис. 1), тому аналіз проведено з усередненням довготного розподілу ЗВО за вересень–листопад на широтах між  $50^\circ\text{S}$  та  $80^\circ\text{S}$  з кроком  $5^\circ$ . Зауважимо, що супутникові дані центровано на широтні кола  $50.5^\circ\text{S}$ ,  $55.5^\circ\text{S}$ , ...  $80.5^\circ\text{S}$ , і ми наводимо далі лише цілі значення широти.

На рис. 2 представлено криві довготного розподілу ЗВО у вересні–листопаді на широті  $65^\circ\text{S}$  (пунктирне коло на рис. 1) для кожного року за період 1979–2015 рр. Дія КСХ1, як відзначено у Вступі, спричинює виникнення зональної асиметрії ЗВО відносно південного полюса. Це й зумовлює формування одного максимуму та одного мінімуму в розподілі ЗВО вздовж широтного кола на рис. 2. Стрілкою показана



**Рис. 2.** Щорічні довготні розподіли ЗВО на широті  $65^\circ\text{S}$  у 1979–2015 рр., усереднені за вересень–листопад. Стрілка показує напрям зміни рівнів ЗВО в області зонального мінімуму ЗВО<sub>мін</sub> (зниження) та середньої довготи (зсув на схід). Доповнені результати [29]

но напрям змін із часом (упродовж 37 років) як значень ЗВО<sub>мін</sub> (зниження від 320 ОД до 180 ОД), так і довготного положення ЗВО<sub>мін</sub> (зсув на схід від  $60^\circ\text{W}$  до  $10^\circ\text{E}$ ).

В роботі представлено результати статистичного аналізу взаємозв'язків між цими параметрами, а та-

кож між довготою ЗВО<sub>мін</sub> та метеорологічними характеристиками атмосфери за даними реаналізів NCEP–NCAR (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/> [34]) та ERA-Interim (<http://www.ecmwf.int/en/research/climate-reanalysis/era-interim> [32]). Дані про площу озонової діри та дефіцит маси озону взято із вебсайту NASA 'Ozone Hole Watch' за адресою <http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/meteorology/SH.html>.

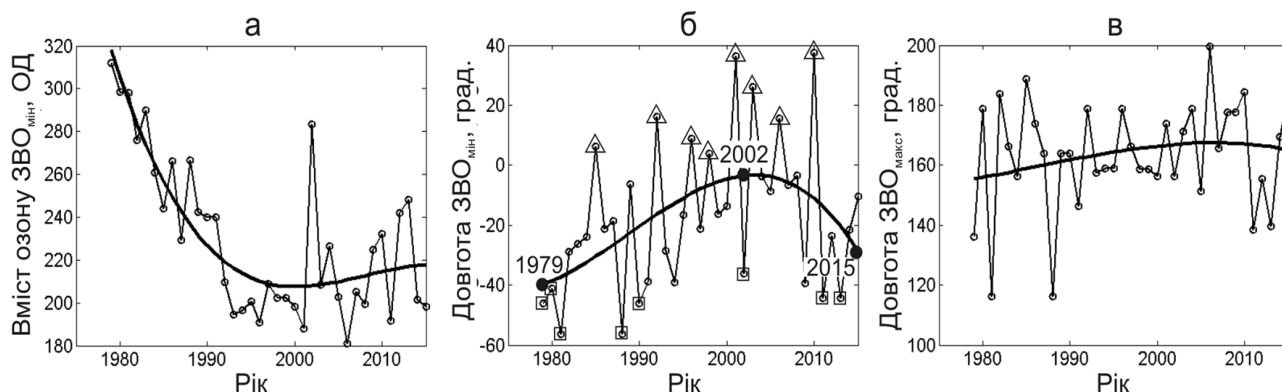
Аналіз включав використання регресійних та кореляційних співвідношень, вилучення лінійних та нелінійних трендів, а також усереднення досліджуваних параметрів за вибраними критеріями, які пояснюються далі в тексті. Оцінки статистичної значущості результатів здійснювалися за  $t$ -критерієм Стюдента. За результатами обчислень визначалися регіони, де відбуваються взаємопов'язані варіації тропосферних та стратосферних параметрів.

### Довготні зміни у структурі зональної асиметрії ЗВО

На рис. 3 показано багаторічні варіації асиметрії ЗВО на широті  $65^\circ\text{S}$ , наведені раніше в роботі [29] та продовжені до 2015 р. Широта  $65^\circ\text{S}$  розташована у крайовій області стратосферного полярного вихору та озонової діри [33] (див. пунктирне коло на рис. 1), де амплітуда КСХ уздовж широтного кола досягає максимальних значень [22, 29]. Наводяться варіації значень ЗВО<sub>мін</sub> (див. рис. 3 а), довготи ЗВО<sub>мін</sub> (див. рис. 3 б) та довготи ЗВО<sub>макс</sub> (зонального максимуму ЗВО, див. рис. 3 в).

Результат апроксимації кубічним поліномом показано жирними кривими. Хід цих кривих демонструє усереднені тенденції довготривалих змін і засвідчує, що швидке зниження середнього рівня ЗВО<sub>мін</sub> (див. рис. 3 а) та швидкий зсув його довготного положення на схід (див. рис. 3 б) сповільнюються на початку 2000-х. Далі рівні ЗВО<sub>мін</sub> мають незначний зворотний тренд (див. рис. 3 а), а довготний зсув ЗВО<sub>мін</sub> виявляє чітку зворотну тенденцію — рух на схід змінюється рухом на захід (див. рис. 3 б). Квазістаціонарний максимум ЗВО<sub>макс</sub> на широті  $65^\circ\text{S}$  демонструє незначний довготний зсув за період 1979–2015 рр. (жирна крива на рис. 3 в). Відзначимо узгодженість довготривалих тенденцій, яка особливо помітна у часовому збігові зміни напрямку трендів (2000-і роки) на рис. 3 а та 3 б. Вона вказує на взаємозв'язок між регіональними змінами вмісту стратосферного озону (представленими ЗВО<sub>мін</sub> на рис. 3 а) та змінами структури КСХ (згідно з міграціями положення ЗВО<sub>мін</sub>, див. рис. 3 б).

На рис. 3 б чорними кружками на апроксимаційній кривій позначено усереднені довготні положення ЗВО<sub>мін</sub> на початку та в кінці проаналізованого періоду, в 1979 р. та 2015 р., відповідно, а також максимальне східне його положення у 2002 р. Крайні західні (1979 р.) та східні (2002 р.) усереднені положення ЗВО<sub>мін</sub> на широтах між  $50^\circ\text{S}$  та  $80^\circ\text{S}$  показані



**Рис. 3.** Варіації усереднених за вересень–листопад значень: а — зонального мінімуму ЗВО<sub>мін</sub>, б — довготи ЗВО<sub>мін</sub> та в — довготи зонального максимуму ЗВО<sub>макс</sub>. Широта 65°S, період 1979–2015 рр. Жирні криві показують усереднення кубічним поліномом. Доповнені результати [29]

на карті південної півкулі на рис. 4 (суцільні та пунктирні криві, відповідно). Розташування ЗВО<sub>мін</sub> виділено синім кольором, а ЗВО<sub>макс</sub> — червоним. Видно, що зональний мінімум в атлантичному секторі змістився на схід на 40–60° в усій вказаній зоні, тоді як зональний максимум в австралійському секторі залишився практично незміщеним на широтах 65°S і вище та змістився на схід лише на 15–35° на субантарктичних широтах 50–60°S.

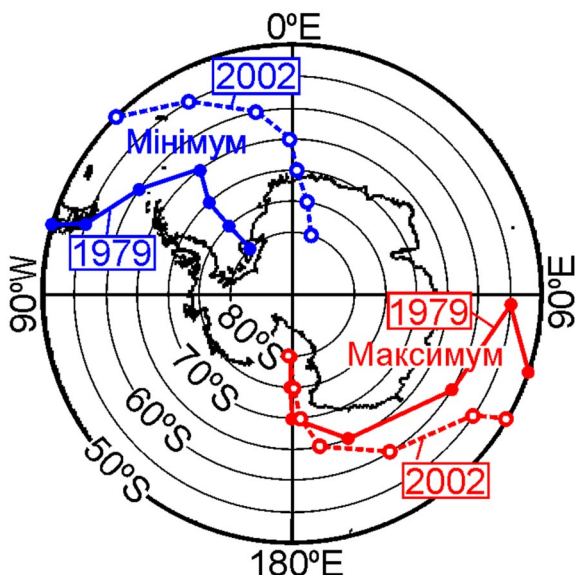
Зауважимо, що в останньому випадку лінійні тренди в області зонального максимуму є статистично незначущими через високу міжрічну змінність довготи ЗВО<sub>макс</sub> (див. рис. 3 в). Для області зонального мінімуму, як відзначено у Вступі, значення лінійних трендів є статистично значущими. Наприклад, для положень ЗВО<sub>мін</sub> на широті 65°S (див. рис. 3 б) додат-

ний лінійний тренд у 1979–2002 рр. становив  $14.4 \pm 12.5^\circ$  за десятиліття ( $p = 0.05$ ). Проте зворотний зсув ЗВО<sub>мін</sub> на захід у 2000-і–2010-і роки (див. рис. 3 б) має статистично незначущу швидкість і потрібні триваліші спостереження для отримання надійних даних.

Відносно стійке положення ЗВО<sub>макс</sub> свідчить про те, що крім домінуючої квазістаціонарної планетарної хвилі КСХ1 в розподілі ЗВО можуть бути присутні і вищі гармоніки, КСХ2 та КСХ3 [3, 29]. Дані про внесок КСХ2 у стабілізацію зонального максимуму ЗВО наведено, зокрема, в [29].

Відзначений вище зв'язок між довготривалими змінами в антарктичному озоні та структурі зональної асиметрії озону (див. рис. 3 а та 3 б) означає, що зниження рівня ЗВО<sub>мін</sub> у 1980-і–1990-і роки супроводжувалося зсувом зонального мінімуму на схід. В широтній зоні 50–80°S зсув відбувався від довгот Південної Америки та Антарктичного півострова в бік нульового меридіана (сині криві на рис. 4). Отже, впродовж двох десятиліть у цьому напрямі посилювалося ультрафіолетове (УФ) опромінення поверхні океану внаслідок зниженого поглинання сонячної УФ-радіації стратосферним озonom, що неминуче впливало на стан екосистеми цього регіону [16]. Крім того, значні міжрічні варіації довготи ЗВО<sub>мін</sub> (див. рис. 3 б) впливають на рівень доз біологічно ефективного УФ-випромінювання на півдні Південної Америки та на станціях Антарктичного півострова [23, 35].

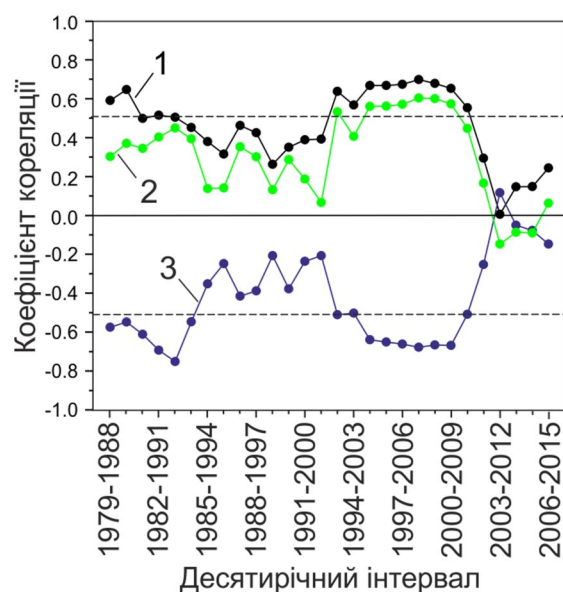
У протилежному довготному секторі, навпаки, через інтенсивніше поглинання сонячної УФ-радіації в області зонального максимуму ЗВО міжрічні міграції положення ЗВО<sub>макс</sub> визначають розташування та рівні мінімальних доз УФ-опромінення на поверхні. Це також важливий показник для балансу біопланктону у поверхневому шарі океану. Тому вивчення змінності рівнів озону та його розподілу є важливою умовою розуміння стану довкілля в антарктичному регіоні. З урахуванням прогнозованого відновлення озонового шару [7], ця проблема залишатиметься актуальною й надалі.



**Рис. 4.** Довготи зонального мінімуму ЗВО<sub>мін</sub> (сині кружки та криві) та зонального максимуму ЗВО<sub>макс</sub> (червоні кружки та криві) на семи широтних колах між 50°S та 80°S. Значення довгот для крайніх положень зональних екстремумів — західного (1979 р., суцільні криві) та східного (2002 р., пунктирні криві) — обчислено із застосуванням кубічного поліноміального усереднення часових рядів (кружки на жирній кривій на рис. 3 б). Модифіковані дані [29]

Висновок про якісний зв'язок довготривалих регіональних змін рівнів ЗВО із змінами в асиметричному розподілі ЗВО (див. рис. 3 а та 3 б) підтверджується статистично за результатами кореляційних співвідношень між варіаціями довготи ЗВО<sub>мін</sub> та характеристиками озонної діри. Такими характеристиками взято рівень ЗВО<sub>мін</sub> на широті 65°S (див. рис. 3 а), площу озонної діри та дефіцит маси озону (ДМО) у вересні–листопаді за даними <http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/meteorology/SH.html>. З аналізованих рядів даних вилучено нелінійний тренд, який проілюстровано поліноміальною апроксимацією на рис. 3 (жирні криві). Кореляція з довготою ЗВО<sub>мін</sub> становить, відповідно,  $r = -0.36$ ,  $r = 0.40$  та  $r = 0.23$ .

Тривалість використаних рядів даних  $N = 37$  років (1979–2015 рр.) означає, що рівню статистичної значущості  $p = 0.05$  ( $p = 0.01$ ) за критерієм Стюдента відповідає коефіцієнт лінійної кореляції  $r = 0.27$  ( $r = 0.39$ ). Тому кореляція виявляється статистично незначущою для ДМО ( $r = 0.23$ ), а для ЗВО<sub>мін</sub> ( $r = -0.36$ ) та площі озонної діри ( $r = 0.40$ ) статистична значущість становить  $p = 0.05$  та  $p = 0.01$ , відповідно. Загалом, невисокі значення  $r = 0.2–0.4$  для 37-річних рядів даних є наслідком змінності кореляційного зв'язку з часом. Це видно з ковзної кореляції між тими ж параметрами, виконаної з вікном 10 років (рис. 5).



**Рис. 5.** Ковзна кореляція з вікном 10 років між довготою зонального мінімуму ЗВО<sub>мін</sub> на широті 65°S та значеннями: 1 — площі озонної діри, 2 — дефіциту маси озону в антарктичній стратосфері та 3 — мінімальних рівнів ЗВО<sub>мін</sub> на широті 65°S. Використано ряди даних за вересень–листопад 1979–2015 рр. з вилученням нелінійного тренду, обчисленим із застосуванням кубічного полінома. Пунктирні прямі показують рівень статистичної значущості коефіцієнта кореляції  $p = 0.05$  для  $N = 10$  за критерієм Стюдента

Для довжини ряду  $N = 10$  статистично значущими на рівні  $p = 0.05$  за критерієм Стюдента є значення коефіцієнта кореляції  $r = \pm 0.51$  (горизонтальні пунктирні лінії на рис. 5). За межі цього рівня значення

$r$  відхиляються на початку та в другій половині часових рядів. Найбільш тривалий 18-річний період значущого кореляційного зв'язку між довготою ЗВО<sub>мін</sub> та характеристиками озонної діри припадає на 1993–2010 рр. Пізніше кореляція змінює знак, що суттєво знижує кореляційний зв'язок між рядами даних за весь розглянутий 37-річний період 1979–2015 рр. В таблиці наведено порівняння усереднених (1979–2015 рр.) та пікових (1993–2010 рр.) значень коефіцієнта кореляції.

Кореляція довготи ЗВО<sub>мін</sub> з рівнем ДМО є найнижчою в таблиці. Це може бути пов'язано з тим, що ДМО характеризує як площу, так і «глибину» озонної діри. Цей параметр визначається як загальна маса озону в мільйонах тон, втрачена у весняні місяці в області, де рівень ЗВО опускається нижче 220 ОД (<http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/meteorology/SH.html>). Тому залежність ДМО від двох параметрів вносить додаткову невизначеність у його варіації, що знижує рівень кореляційного зв'язку.

Загалом, кореляційні співвідношення на рис. 5 та в таблиці показують, що довготні міграції зміщеної відносно полюса озонної діри у весняний період тісно пов'язані з рівнем втрат стратосферного озону. Зміщення ЗВО<sub>мін</sub> на схід з високою ймовірністю означає зниження рівнів ЗВО в області зонального мінімуму ЗВО<sub>мін</sub>, збільшення площі озонної діри та зростання дефіциту маси озону в антарктичній стратосфері. Зміщення ЗВО<sub>мін</sub> на схід, таким чином, відбувається в середньому за умов слабкої активності планетарних хвиль, що має наслідком інтенсивний стратосферний полярний вихор та велику площу озонної діри. За таких умов полярний вихор та озонна діра зазвичай мають малозбурену форму та положення, як, наприклад, навесні 2015 р. (див. рис. 1, внизу), що сприяє зниженню температури в полярній стратосфері в зимові місяці та посиленому фотохімічному руйнуванню озону у весняні місяці.

Навпаки, зсув ЗВО<sub>мін</sub> на захід відбувається в умовах високої хвильової активності, що супроводжується деформацією та зміщенням озонної діри відносно полюса (як у 2014 р.; див. рис. 1, угорі), підвищенням температури полярної стратосфери та результатом зменшення площі озонної діри та втрат озону. Таку ж тенденцію засвідчив аналіз умов

Кореляція між рядами даних з вилученим поліноміальним трендом — довготою зонального мінімуму ЗВО на широті 65°S та характеристиками озонної діри у вересні–листопаді: рівнем ЗВО<sub>мін</sub> на широті 65°S, площею озонної діри та дефіцитом маси озону

|                    | 1979–2015 | 1993–2010 |
|--------------------|-----------|-----------|
| ЗВО <sub>мін</sub> |           |           |
| на широті 65°S     | – 0.36    | – 0.68    |
| Площа озонної діри | 0.40      | 0.70      |
| Дефіцит маси озону | 0.23      | 0.61      |

аномально високої хвильової активності в антарктичному регіоні у 1988 та 2002 рр. [13].

В цьому розділі якісно та кількісно охарактеризовано взаємозв'язок між змінами в структурі планетарних хвиль у розподілі антарктичного озону, представленими часовим рядом довготи  $ZVO_{\min}$  та змінами рівнів самого озону, описаними рядами  $ZVO_{\min}$ , площі озонної діри та дефіциту маси озону. Більш тісним взаємозв'язок виявився в 1990-і та 2000-і роки (див. рис. 5 та таблицю), коли озонний шар над Антарктикою досяг максимального виснаження (див., наприклад, рис. 3 а). Втім, статистично значущий кореляційний зв'язок спостерігався і в 1980-і роки (чорна та синя криві на рис. 5), коли озонна діра починала формуватися. А в останнє десятиліття, коли рівні озону в середньому суттєво не змінилися, значення  $r$  ставали близькими до нульових або набували протилежного знаку. Якщо за результатами, представленими на рис. 5, припустити існування довгоперіодичних коливань в інтенсивності зв'язків “хвиля–озон” (~ 15 років), то можна очікувати підвищення кореляції в наступному десятилітті.

Нерегулярність кореляційних співвідношень між структурою КСХ та рівнем озону (див. рис. 5) свідчить про несталий характер зв'язків “хвиля–озон” у міжрічних варіаціях. Але очевидно, що незалежно від цього існує сталий зв'язок між довготривалими змінами, визначеними за ходом поліноміальних трендів (див. рис. 3 а та 3 б). У першому випадку зіставляються аномалії — щорічні відхилення параметрів у двох рядах даних відносно їх усередненого ходу. При цьому кореляції показують, наскільки узгоджено з року в рік варіюють весняні аномалії в озоні у відгук на аномалії КСХ.

У другому випадку зіставляються усереднені тенденції, які характеризують повільні зміни базового стану системи [18]. Повільна модифікація стратосферної циркуляції (швидкості зонального вітру та температури у нижній стратосфері), викликана прогресуючими втратами озону, спричинює зміни в умовах розповсюдження планетарних хвиль [4, 6, 8, 26]. Ці зміни можуть позначатися і на структурі КСХ у вигляді спостережуваного довготного зсуву  $ZVO_{\min}$  в зонально асиметричному розподілі  $ZVO$ .

Виявлена відмінність у зв'язках “хвиля – озон” на міжрічних та десятирічних часових масштабах означає і відмінність задіяних механізмів, які потребують додаткового вивчення. Загалом, кореляційні співвідношення не вказують, яка із змінних є незалежною, а яка залежною. Проте, з наведених у цьому розділі результатів та спираючись на сучасне розуміння процесів в антарктичному озоні можна припустити, що існують як прямі впливи атмосферної динаміки (активності КСХ) на інтенсивність втрат озону “хвиля – озон”, так і зворотні впливи змін в озонному шарі на розповсюдження та структуру КСХ “озон – хвиля”. Прямі впливи краще виявляються у співвідношеннях аномалій (вища/нижча ак-

тивність КСХ — більша/менша асиметрія озонної діри — зсув  $ZVO_{\min}$  на захід/схід — вищий/нижчий рівень озону; див. рис. 1 та рис. 5). Зворотні впливи ілюструються співвідношенням середніх тенденцій: саме довготривалі зміни в озоні (див. рис. 3 а) можуть бути причиною довготного зсуву у структурі КСХ (див. рис. 3 б).

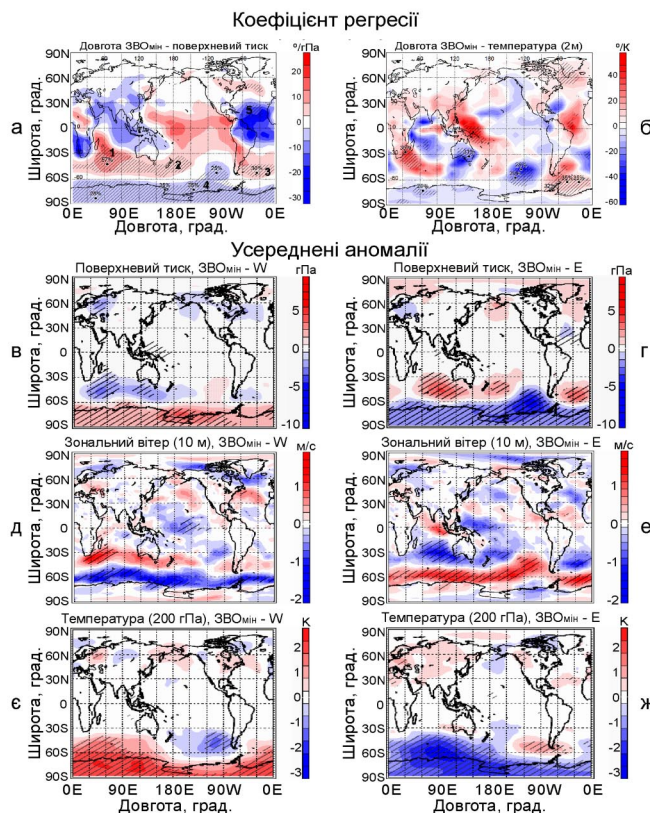
На можливість зворотних зв'язків між озonom та планетарними хвилями в умовах зонально асиметричного розподілу озону із, відповідно, зонально асиметричним нагріванням нижньої стратосфери вказують результати моделювання [4, 6]. Тому, зважаючи на тримісячне усереднення корельованих параметрів, реалізація прямих та зворотних впливів за схемою “хвиля–озон–хвиля” досить вірогідна. Необхідні подальші дослідження спостережних даних та модельні експерименти для відтворення причинно-наслідкових зв'язків у перебігу динамічних та хімічних процесів в антарктичній стратосфері. Зокрема, доречним є аналіз часової затримки в процесах взаємодії “тропосфера–стратосфера–тропосфера”. Такий підхід дозволив, наприклад, ототожнити роль весняної озонної діри у змінах тропосферної циркуляції та клімату у літні місяці [27].

В наступні десятиліття з поступовим зникненням озонної діри фактор озону (“озон–хвиля”) менше позначатиметься на систематичному довготному зсуві  $ZVO_{\min}$ . Проте триватимуть кліматичні зміни внаслідок підвищення концентрації парникових газів, яке в моделях показує зсув на схід у структурі стратосферних КСХ [37]. Зміна знаку багаторічного тренду довготи  $ZVO_{\min}$  на початку 2000-х (див. рис. 3 б) може виявитися тимчасовою. Зсув на схід, який ми пов'язуємо з розвитком озонної діри та охолодженням нижньої стратосфери у 1980-і–1990-і роки, після відновлення озонного шару може поновитися вже як ефект парникових газів, збільшення концентрації яких у тропосфері також викликає охолодження нижньої стратосфери [7].

### **Зв'язок варіацій довготи $ZVO_{\min}$ з метеорологічними параметрами**

Для виявлення тропосферних аномалій, які могли б бути пов'язаними зі змінами асиметрії в  $ZVO$ , отримано кількісні співвідношення між довготою  $ZVO_{\min}$  та тиском, температурою і зональним вітром за даними реаналізу ERA-Interim (рис. 6). Використано часові ряди аномалій довготи  $ZVO_{\min}$ , усереднених для субантарктичної зони широт 55–70°S (див. рис. 4), яка охоплює переважно водну поверхню.

На рис. 6 а та 6 б показано розподіл коефіцієнта регресії між аномаліями довготи  $ZVO_{\min}$  та аномаліями поверхневого тиску і приповерхневої температури на висоті 2 м, відповідно. Просторове розділення 10°×10° по довготі та широті. Заштриховані ділян-



**Рис. 6.** Розподіл коефіцієнта регресії між аномаліями довготи зонального мінімуму ЗВО, усередненими на широтах 55–70°S, та аномаліями поверхневого тиску (а) і приповерхневої температури (б). Заштриховані ділянки показують статистичну значущість коефіцієнта регресії на рівні  $p = 0.05$  за оцінками  $t$ -критерію Стюдента у кожному елементі координатної сітки розміром  $10^\circ \times 10^\circ$ . Аномалії поверхневого тиску (в, г), зонального вітру поблизу поверхні (д, е) та температури нижньої стратосфери (є, ж), усереднені для крайніх західних (в, д, е) та крайніх східних (г, є, ж) положень ЗВО<sub>мін</sub>. Заштриховані ділянки на (в–ж) показують значущість аномалій на рівні  $p = 0.05$  за порівнянням із їх стандартним відхиленням у кожному елементі координатної сітки. За даними [16]

ки показують значення коефіцієнта регресії, статистично значущі на рівні  $p = 0.05$ , а цифрами від 1 до 5 на рис. 6 а позначено елементи координатної сітки, де спостерігаються пікові значення коефіцієнта регресії.

Розподіл коефіцієнта регресії на рис. 6 а показує переважно зонально орієнтовану структуру з аномаліями протилежного знаку в середніх та високих широтах. Загалом, така структура відтворює вигляд Південної кільцевої моди (ПКМ), властивої для кліматичних характеристик південної півкулі [36]. Від'ємні (позитивні) значення коефіцієнта регресії у високих (середніх) широтах на рис. 6 а свідчать про те, що зсув ЗВО<sub>мін</sub> на схід супроводжується зниженням (зростанням) тиску, що відповідає відхиленню індексу ПКМ у бік позитивних значень — позитивній полярності ПКМ. Зниження температури на широтах вище 60°S (див. рис. 6 б) також узгоджуються з позитивною полярністю ПКМ. Таким чином, результати, представлені на рис. 6 а та б показують, що міжрічні варіації довготи ЗВО<sub>мін</sub> пов'язані зі станом атмосфери поблизу поверхні.

Звернемо увагу на розподіл коефіцієнта кореляції в середніх широтах південної півкулі. Тут видно три регіональні аномалії, позначені на рис. 6 а цифрами 1, 2 та 3, а також три максимуми та три мінімуми на рис. 6 б. Ці середньширотні аномалії свідчать про зв'язок зональної асиметрії в озоні із зонально асиметричною складовою атмосферної циркуляції у тропосфері південної півкулі. Найбільш вираженою ця складова стає у зимовий та весняний сезони, виявляючи структуру квазістаціонарної хвилі із зональним хвильовим числом  $m = 3$  — КСХЗ [11, 21]. Схожа структура спостерігається також у подібних розподілах коефіцієнта регресії для меридіонального та вертикального вітру (див. [9]).

Для аналізу інших можливих ефектів довготного зсуву ЗВО<sub>мін</sub> було застосоване вибіркове усереднення метеопараметрів [9]. На рис. 6 в–ж показано атмосферні аномалії, одержані шляхом усереднення метеопараметрів для випадків граничних довготних відхилень положення ЗВО<sub>мін</sub>. Вибрано по вісім крайніх західних (ЗВО<sub>мін</sub> — W) та крайніх східних (ЗВО<sub>мін</sub> — E) положень, позначених на рис. 3 прямокутними та трикутними символами. При цьому, як і для регресії на рис. 6 а та б, взято усереднені довготи ЗВО<sub>мін</sub> у зоні 55–70°S. Усереднені аномалії метеопараметрів визначено відносно їх середнього кліматологічного рівня за 1979–2014 рр. На рис. 6 в та б г показано розподіл аномалій поверхневого тиску для вибірок ЗВО<sub>мін</sub> — W та ЗВО<sub>мін</sub> — E, відповідно.

Як і в розподілі коефіцієнта регресії між довготою ЗВО<sub>мін</sub> та поверхневим тиском на рис. 6 а, аномалії поверхневого тиску є зонально орієнтованими з протилежним знаком у середніх та високих широтах південної півкулі. Це свідчить про зв'язок варіацій довготи ЗВО<sub>мін</sub> з варіаціями кільцевої моди. При переході від західних до східних положень ЗВО<sub>мін</sub> тиск у полярних широтах знижується (позитивні аномалії на рис. 6 в змінюються на від'ємні на рис. 6 г). Зворотною є полярність аномалій у середніх широтах. Схожість із рис. 6 а є і в тому, що середньширотні аномалії поверхневого тиску зосереджуються у трьох максимумах, підтверджуючи зв'язок довготного зсуву ЗВО<sub>мін</sub> із структурою КСХЗ в середньширотній тропосфері. Важливо підкреслити, що при переході від західних положень ЗВО<sub>мін</sub> — W до східних положень ЗВО<sub>мін</sub> — E всі три позитивні аномалії поверхневого тиску (див. рис. 6 г) зміщуються на схід на 30–60°S відносно від'ємних (див. рис. 6 в).

Чітка зональна орієнтація спостерігається і в розподілі аномалій приповерхневого зонального вітру на висоті 10 м (U10), усереднених для вибірок ЗВО<sub>мін</sub> — W та ЗВО<sub>мін</sub> — E (див. рис. 6 д та е, відповідно). При переході від крайніх західних (див. рис. 6 д) до крайніх східних (див. рис. 6 е) положень ЗВО<sub>мін</sub> знак аномалій U10 у субантарктичній зоні (навколо ~60°S) змінюється з від'ємного на позитивний. Це вказує на зростання швидкості зонального вітру в тропосфері при зміщенні ЗВО<sub>мін</sub> на схід, що

узгоджується з позитивним трендом індекса ПКМ. Аномалії U10 у середніх широтах виглядають менш рівномірно розподіленими по довготі, ніж у високих широтах, хоча регулярна структура типу зональної хвилі КСХ3, як на рис. 6 а–6 г, тут не спостерігається.

На рис. 6 є та 6 ж показано аномалії температури на рівні тиску 200 гПа (Т 200; 12 км) для вибірок  $ZBO_{\min}$  — W та  $ZBO_{\min}$  — E, відповідно. Рівень тиску 200 гПа відповідає верхній тропосфері у тропіках та нижній стратосфері у позатропічних широтах. Він використовується для аналізу процесів міжширотної взаємодії в атмосфері [21]. На рис. 6 є та 6 ж добре видно структуру зональної хвилі КСХ1, яка охоплює нижню стратосферу у всій позатропічній зоні південної півкулі. Це загалом узгоджується із механізмом вертикального розповсюдження планетарних хвиль, згідно з яким у стратосферу проникають лише найдовші хвилі [24, 40]. Розподіл аномалій Т 200 у структурі КСХ1 вказує на зонально асиметричне охолодження нижньої стратосфери при зсуві  $ZBO_{\min}$  на схід, причому охолоджується переважно східна півкуля (див. рис. 6 ж).

В той же час, результати рис. 6 в–6 ж свідчать про те, що перебудова в зональній асиметрії ЗВО відбувається на фоні існуючого розподілу орографії у південній півкулі. Співвідношення водної та континентальної поверхні у південній півкулі тісно пов'язане із структурою квазістаціонарних планетарних хвиль, регіональним кліматом та атмосферною циркуляцією. Як видно з рис. 6 в та 6 г, структура КСХ3 в розподілі середньоширотних аномалій поверхневого тиску відтворює довготну структуру рельєфу південної півкулі з трьома континентами (Африка, Австралія та Південна Америка), розділеними водними басейнами трьох океанів (Індійського, Тихого та Атлантичного).

У свою чергу, з рис. 6 д та 6 е можна зробити висновки, що зональна циркуляція в субантарктичній зоні відбувається безперешкодно над поверхнею Індійського та Тихого океанів. Але у західній півкулі існує меридіональний бар'єр на межі між Тихим та Атлантичним океанами, створений Південною Америкою та Антарктичним півостровом. Якщо в середніх широтах орографія сприяє генерації КСХ3, то в субантарктичній зоні вона дає внесок у формування структури КСХ1. В області меридіонального бар'єра зональний вітер зазнає меридіональних збурень, що сприяє кращому міжширотному обміну повітряних мас та їх нагріванню при посиленні зональної циркуляції (позитивна температурна аномалія Т200 в середніх широтах навколо 90°W при зсуві  $ZBO_{\min}$  на схід, див. рис. 6 ж). Посилення зонального вітру над східною півкулею, навпаки, перешкоджає меридіональному обміну, і стратосферне повітря залишається більш ізольованим, ніж над західною, що призводить до сильнішого його охолодження (від'ємна аномалія Т 200 між 0°E та 180°E, див. рис. 6 ж). На широтах вище 60°S охолодження охоплює

всю полярну нижню стратосферу (див. рис. 6 ж), у відповідності із трендом індекса ПКМ, як зазначено вище, хоча в розподілі інтенсивності аномалій Т 200 і тут зберігається структура КСХ1.

Важливо відзначити, що, як і в структурі КСХ3 у середньоширотній тропосфері (див. рис. 6 в та 6 г), у структурі КСХ1 в нижній стратосфері також спостерігається зсув на схід (див. рис. 6 є та 6 ж). Отже, при зміщенні  $ZBO_{\min}$  від крайніх західних до крайніх східних положень як тропосферні, так і стратосферні аномалії показують узгоджений довготний зсув на схід. Оскільки довготривалі зміни в зональній асиметрії ЗВО ми відносимо до виснаження озонового шару над Антарктикою (див. рис. 3 а та 3 б), можна зробити висновок, що структура КСХ в розподілі тропосферних та стратосферних параметрів змінюється узгоджено з втратами антарктичного озону. Варто зауважити, що орографія та температурні контрасти між водною та континентальною поверхнями, загалом, є просторово фіксованими джерелами планетарних хвиль. Та обставина, що стаціонарні джерела атмосферних збурень генерують квазістаціонарні хвилі, зумовлюється взаємодією хвиль із середовищем, середній стан якого зазнає змін. Дає внесок також певна змінність положень теплових джерел генерації планетарних хвиль на поверхні океанів.

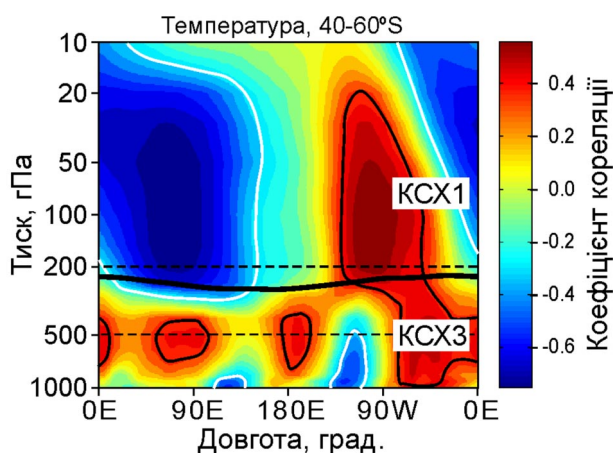
Наведені в цьому розділі результати ілюструють як зміни в розподілі температури нижньої стратосфери при зонально асиметричному руйнуванні озону можуть супроводжуватися змінами у структурі КСХ при їх розповсюдженні із тропосфери у стратосферу. Особливого значення набувають зміни в розподілі тропосферних аномалій, оскільки вони визначають регіональні кліматичні зміни. Так, зсув на схід аномалій поверхневого тиску в середніх широтах південної півкулі (див. рис. 6 в та 6 г) відчутно позначається на режимах регіональної циркуляції та на температурі повітря у середньоширотних ділянках Африки, Австралії та Південної Америки [9]. Як відзначено в попередньому розділі, тісний зв'язок цих процесів із довготою  $ZBO_{\min}$  дозволяє припустити, що тут мають місце прояви зворотних зв'язків “озон–хвиля”. Нижче ці тенденції розглянуто більш докладно.

### **Зміни в зональній асиметрії ЗВО та регіональні зміни клімату**

В розподілі значущих позитивних та негативних аномалій коефіцієнта кореляції видно чітке розмежування домінуючих структур КСХ3 в тропосфері та КСХ1 в стратосфері — відповідно, нижче та вище тропопаузи (жирна крива на рис. 7). На прикладах для окремих висотних рівнів це було зрозуміло з попереднього розділу (див. рис. 6). Структура КСХ1 в стратосфері показує, що міжрічні варіації положень  $ZBO_{\min}$  корелюють із зо-

нально-асиметричними варіаціями температури повітря з піковими значеннями  $r = \pm 0.7$ . Із збільшенням довготи ЗВО<sub>мін</sub> зростає температура у західній півкулі (60–130°W) і знижується навколо гринвіцького меридіана та у східній півкулі (60°W–150°E). Схожий розподіл усереднених аномалій температури у нижній стратосфері спостерігався при крайніх східних положеннях ЗВО<sub>мін</sub> (Т 200 на рис. 6 ж).

Одночасно зростає температура у тропосфері в трьох максимумах коефіцієнта кореляції ( $r = 0.3–0.6$ ), як елементах структури КСХЗ, локалізованих в середньому на висотах  $\sim 5$  км (500 гПа, нижня пунктирна лінія на рис. 7). Їх довготне розташування припадає на регіони Індійського, Тихого та Атлантичного океанів. Лише в останньому випадку в області Антарктичного півострова та Південної Америки статистично значуща додатна кореляція досягає поверхні. Значущими на поверхні є також два мінімуми кореляції у структурі КСХЗ — поблизу Австралії ( $\sim 120^\circ\text{E}$ ) та в центральній частині Тихого океану ( $\sim 130^\circ\text{W}$ ). Це означає тісний зв'язок кліматичних змін у цих регіонах з довготним зсувом мінімуму ЗВО.

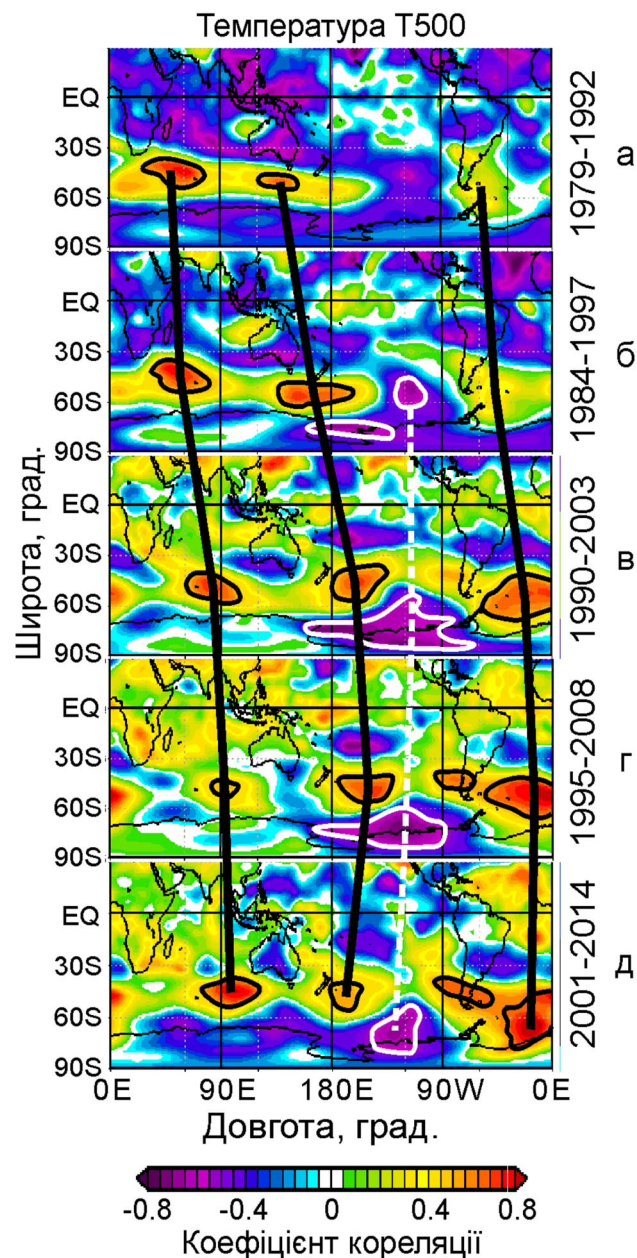


**Рис. 7.** Вертикальний розподіл кореляції між довготою ЗВО<sub>мін</sub> на широті 65°S та температурою повітря, усередненою в зоні 40–60°S за вересень–листопад, 1979–2015 рр. Контурами обведено значення  $r = \pm 0.3$ , статистично значущі на рівні  $p = 0.05$ . Жирною кривою нанесено усереднене положення тропопаузи для весняного сезону у вказаний період. Пунктирними горизонтальними лініями показано рівні тиску 200 гПа та 500 гПа в нижній стратосфері та середній тропосфері, відповідно. Модифіковані дані [9]

Цікаво відзначити вертикальний розподіл полярності кореляції. У східній півкулі тропосферні й стратосферні аномалії значень  $r$  мають протилежний знак, тоді як у західній півкулі переважають аномалії одного знаку — позитивні (рис. 7). Така особливість є важливою з точки зору дослідження прямих та зворотних зв'язків в умовах взаємозалежних кліматичних змін у тропосфері та стратосфері [3, 20, 26, 27, 36, 38].

Враховуючи результати, представлені на рис. 7, для аналізу зв'язків між довготривалими змінами в

асиметрії ЗВО та регіональними змінами клімату в південній півкулі вибрано температуру повітря у середній тропосфері на рівні тиску 500 гПа (Т 500). Вертикальне розташування цього рівня тиску позначено нижньою пунктирною лінією на рис. 7. Використано дані реаналізу NCEP–NCAR. На рис. 8 показано довготривалі зміни в розподілі кореляції між положенням ЗВО<sub>мін</sub> на широті 65°S та полем Т 500 в інтервалі широт 30°N–90°S. Показано результати обчислень для п'яти 14-річних інтервалів з кроком у



**Рис. 8.** Розподіл коефіцієнта кореляції між довготою ЗВО<sub>мін</sub> на широті 65°S та температурою середньої тропосфери на рівні тиску 500 гПа (Т500). Усереднено для вересня–листопада, інтервал широт 30°N–90°S. Представлено 5 послідовних 14-річних інтервалів з кроком 5–6 років. Контурами позначено ділянки статистично значущої кореляції ( $p = 0.05$ ). Жирними лініями показано довготний зсув додатних аномалій кореляції у структурі КСХЗ, а білою пунктирною лінією позначено середнє положення від'ємної аномалії. За даними [9]

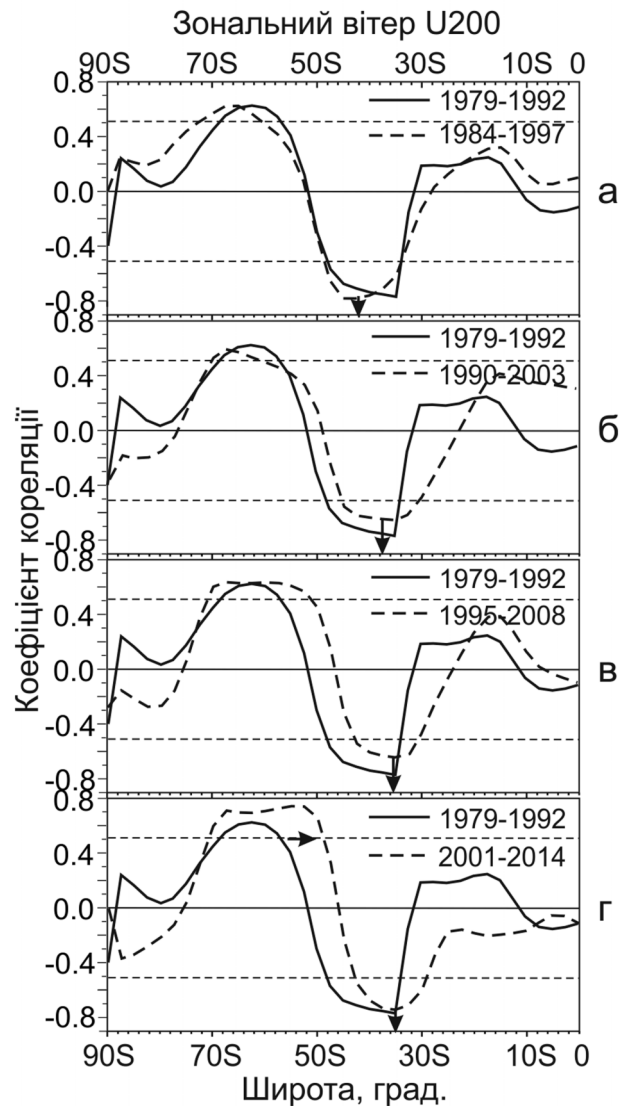
5–6 років. При вказаній довжині часових рядів та з урахуванням автокореляції рівню значущості  $p = 0.05$  відповідають значення  $r = \pm 0.5$  (чорні та білі контури для позитивних та від'ємних аномалій кореляції, відповідно).

Видно, що максимуми кореляції ( $r = 0.7–0.8$ , чорні контури) зміщуються на схід між 1979–1992 та 1990–2003 рр. на 30–60 градусів (жирна крива на рис. 8 а–8 в). Далі, у 1995–2008 та 2001–2014 рр. (див. рис. 8 г та 8 д, відповідно), вони залишаються в середньому у крайньому східному положенні. У положенні центрального максимуму кореляції над Тихим океаном спостерігається зміщення у протилежному напрямі, на захід (див. рис. 8 д). Значуща від'ємна аномалія в розподілі кореляції, яка представлена мінімумом значень  $r < -0.5$  в тихоокеанічному секторі, зберігає практично незмінним своє середнє довготне положення (білі контури та біла пунктирна лінія на рис. 8). Втім, її довготна та широтна протяжності від'ємної аномалії суттєво змінюються упродовж 1979–2014 рр.

Найбільших розмірів від'ємна аномалія досягає у 1990–2003 рр. (див. рис. 8 в), коли екстремальних значень набувають характеристики озонної діри (див. рис. 3 а та 3 б; див. також [7, 25]). Варто відзначити, що від'ємна аномалія простягається до полярних широт і за своїм середнім положенням розташовується в області квазістаціонарного циклону в морі Амундсена, відомого як “полюс змінності” в субантарктичних широтах [31]. Отже, згідно з рис. 8, температурні зміни в області цього циклону перебувають у тісному кореляційному зв'язку із варіаціями положення зонального мінімуму озону. Це також є важливим свідченням взаємозалежності змін в асиметрії озону та регіональних змін клімату у південній півкулі.

Важливими є не лише довготні, а й широтні зміни в характеристиках атмосферної циркуляції у південній півкулі, які можуть бути пов'язаними із змінами в зональній асиметрії в розподілі озону. Проаналізовано меридіональний розподіл кореляції для такої ж послідовності часових інтервалів, як на рис. 8, але для усередненого по довготі (0–360°E) зонального вітру в нижній стратосфері південної півкулі (200 гПа, U200). Вертикальне розташування рівня тиску 200 гПа відносно тропопаузи у зоні 40–60°S позначено верхньою пунктирною лінією на рис. 7. На рис. 9 показано послідовні зміни меридіонального профілю кореляції.

Статистично значущими є додатна кореляція в субантарктичних широтах та від'ємна кореляція у середніх широтах. Це видно із відхилень меридіональних профілів за межі  $r = \pm 0.5$  ( $p = 0.05$ , горизонтальні пунктирні лінії на рис. 9). З такого широтного розподілу додатної та від'ємної кореляції знову впливає зв'язок варіацій довготи ЗВО<sub>мін</sub> із варіаціями кільцевої моди, як було відзначено за результатами рис. 6: відхилення положення ЗВО<sub>мін</sub> на схід по-



**Рис. 9.** Меридіональний розподіл коефіцієнта кореляції між довготою ЗВО<sub>мін</sub> на широті 65°S та зональним вітром у нижній стратосфері південної півкулі на рівні тиску 200 гПа (U200) за вересень–листопад. Представлена та ж послідовність часових інтервалів, що й на рис. 8. Суцільні криві на кожному з графіків (а–г) показують меридіональний профіль кореляції для початкового часового інтервалу (1979–1992 рр.), а пунктирні криві — відносне зміщення профілів у наступні інтервали. Пунктирними горизонтальними лініями позначено рівні значущої додатної та від'ємної кореляції ( $p = 0.05$ )

єднується із посиленням вітру U200 навколо Антарктиди та його ослабленням у середніх широтах, тобто з відхиленням індексу ПКМ у позитивну полярність. Проте у довготривалій зміні зв'язків ЗВО<sub>мін</sub> — ПКМ меридіональні профілі кореляції виявляють нову особливість.

Пунктирні криві на рис. 9 засвідчують поступове зміщення меридіонального профілю кореляції в бік екватора упродовж 1984–2014 рр. відносно його початкового положення у 1979–1992 рр., нанесеного суцільною кривою на кожному з рис. 9 а–г. Це помітно як із широтного положення мінімуму кореляції (вертикальні стрілки), так і з розширення до екватора максимуму кореляції

(горизонтальна стрілка) при майже незмінному положенні його полярного краю. Обидві складові зміщення меридіонального профілю кореляції в бік екватора близькі за величиною і становлять 7–8° по широті. Така ж картина зміщення отримана і для зонального вітру в тропосфері на рівні тиску 500 гПа (U500, не показано). Характерно, що зміщення відбувалося переважно впродовж другого та третього часових інтервалів (1990–2003 та 1995–2008 рр., див. рис. 9 б та 9 в). За часом це узгоджується з максимальним зменшенням рівнів антарктичного озону та крайнім східним положенням зонального мінімуму озону (див. рис. 3 а та 3 б). За останній інтервал 2001–2014 рр. (рис. 9 г) положення профілю не зазнає помітних змін і не показує зворотного зміщення, як це спостерігалося у випадках регіональних аномалій кореляції в тропосфері (див. рис. 8 д) та тренду довготи ЗВО<sub>мін</sub> (див. рис. 3 б).

Загалом, саме тенденція зміщення в бік екватора є новою для співвідношення між антарктичним озonom та кільцевою модою. Відомо, що тренд індексу ПКМ у бік додатної полярності у літні місяці поєднується не лише із посиленням зонального струменевого потоку, а й із його зміщенням у бік полюса [27]. Цю тенденцію пов'язують із сезонним опусканням у тропосферу холодної стратосферної аномалії, спричиненої весняними втратами озону над Антарктикою. Максимальний її вплив на зональну циркуляцію у тропосфері та на індекс ПКМ настає у літній сезон, причому довготривале зміщення зонального потоку в бік полюса викликає значний перерозподіл температури та опадів у південній півкулі у літні місяці [27]. Схожих змін у структурі ПКМ та кліматі південної півкулі у весняний сезон не відзначалося. Їх, здавалося б, і не слід було очікувати, враховуючи відсутність довготривалого тренду індексу ПКМ у весняні місяці, на відміну від літніх (рис. 10 а та 10 б, відповідно). Проте результати рис. 9 показують, що статистично значущий зв'язок антарктичного озону з меридіональним перерозподілом структури ПКМ навесні існує, але виявляється він не за змінами рівнів антарктичного озону (які причетні до літніх кліматичних ефектів), а за змінами в його просторовому розподілі.

Отже, результати цього розділу показують, що міжрічні варіації довготи ЗВО<sub>мін</sub> у весняний сезон супроводжуються варіаціями температури повітря у тропосфері із структурою зональної хвилі КСХ3 та в стратосфері із структурою КСХ1 (рис. 7). Довготривалі зміни довготи ЗВО<sub>мін</sub>, у свою чергу, пов'язані не лише із довготним зміщенням атмосферних аномалій (рис. 8), а й із широтним перерозподілом у структурі зональної циркуляції (рис. 9).

Відзначимо, що зв'язки довготи ЗВО<sub>мін</sub> з аномаліями в розподілі атмосферних характеристик виявляють схожу меридіональну структуру і в тропосфері, і в стратосфері (типу ПКМ, рис. 6 та рис. 9). Важливо підкреслити, що ці результати отримані для

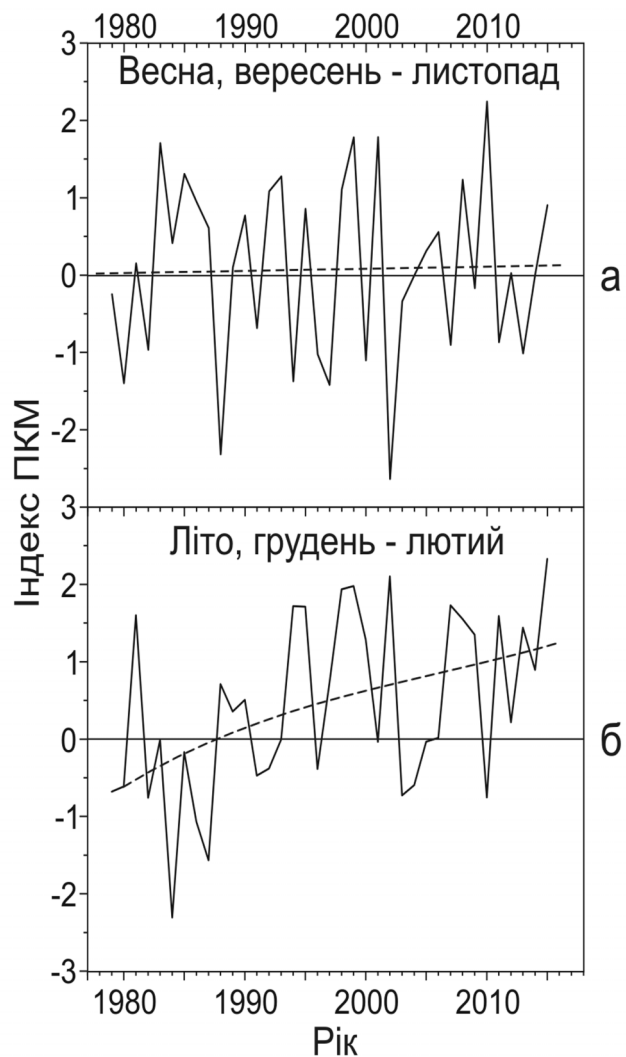


Рис. 10. Міжрічні варіації (суцільні криві) та довготривалі тренди (пунктирні лінії) індексу Південної кільцевої моди у весняний (а) та літній (б) сезони

весняних місяців. Тому довготривалі довготні зміщення ЗВО<sub>мін</sub> можуть супроводжуватися помітним широтним зсувом кліматичних аномалій у тропосфері південної півкулі навесні. У подальших дослідженнях доцільно продовжити докладний аналіз таких зв'язків.

## Висновки

В роботі узагальнено результати досліджень розподілу загального вмісту озону над Антарктикою (зокрема, змін в його асиметрії відносно південного полюса), одержаних авторами в останнє десятиліття. Показано, що існують статистично значущі зв'язки між змінами у структурі квазістаціонарних хвиль в розподілі ЗВО та в розподілі атмосферних параметрів у стратосфері та в тропосфері. Ці зв'язки простежуються як у міжрічних варіаціях, так і в довготривалих змінах упродовж більше ніж трьох останніх десятиліть.

Важливим висновком із представлених результатів є взаємозалежність змін в озоні та регіональних кліматичних змін у південній півкулі у весняні місяці. Характерною ознакою виявлених зв'язків є присутність зональної структури, властивої Південній кільцевій моді. Крім того, структура квазістаціонарної планетарної хвилі КСХ1 у стратосфері варіює у значній мірі узгоджено ( $r=0.5-0.8$ ) із структурою КСХ3 в тропосфері. Визначено регіони, де тропосферні та поверхневі параметри показують найбільш тісний зв'язок із змінами в озоновому шарі.

Хоча результати не дають вичерпної відповіді на те, в якому напрямі можуть відбуватися переважачі впливи (з тропосфери у стратосферу, чи із стратосфери у тропосферу), на сезонних масштабах (для весни у південній півкулі, вересень–листопад) проілюстровано можливість поєднання прямих зв'язків “хвиля–озон” та зворотних “озон–хвиля”. Оскільки антарктичний озон зазнаватиме подальших змін упродовж наступних десятиліть (зокрема, очікуваного за даними моделювання відновлення озонового шару), виявлені взаємозв'язки й надалі впливатимуть на стан атмосфери південної півкулі і становитимуть значний інтерес для дослідників кліматичних змін.

## Література

1. Грицай А. В. Прекращение сдвига на восток минимума в зональном распределении антарктического озона как следствие восстановления озонового слоя / А. В. Грицай, Г. П. Милиневский, А. Р. Клекочук // Материалы конференции “Мониторинг состояния природной среды Антарктики и обеспечение деятельности национальных экспедиций”. — Минск: Экоперспектива, 2014. — С. 154–159.
2. Розподіл озону в Антарктиці за даними 30-літніх супутникових спостережень / А. В. Грицай [та ін.] // Космічна наука і технологія. — 2010. — Т. 16, № 1. — С. 20–27.
3. Agosta E. A. Austral spring stratospheric and tropospheric circulation interannual variability / E. A. Agosta, P. O. Canziani // J. Climate. — 2011. — Vol. 24. — P. 2629–2647.
4. Albers J. R. Pathways for communicating the effects of stratospheric ozone to the polar vortex: Role of zonally asymmetric ozone / J. R. Albers, T. N. Nathan // J. Atmos. Sci. — 2012. — Vol. 69. — P. 785–801.
5. Changes in the polar vortex: Effects on Antarctic total ozone observations at various stations / B. Hassler, G. E. Bodeker, S. Solomon, P. J. Young // Geophys. Res. Lett. — 2011. — Vol. 38. — L01805, doi:10.1029/2010GL045542.
6. Crook J. A. Sensitivity of Southern Hemisphere climate to zonal asymmetry in ozone / J. A. Crook, N. P. Gillett, S. P. E. Keeley // Geophys. Res. Lett. — 2008. — Vol. 35. — L07806, doi:10.1029/2007GL032698.
7. Dameris M. Update on polar ozone: Past, present, and future. Chapter 3 in Scientific Assessment of Ozone Depletion, 2014 / M. Dameris, S. Godin-Beekmann // Global Ozone Research and Monitoring Project. — World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 2014. — Report No. 55.
8. Effect of zonal asymmetries in stratospheric ozone on simulated Southern Hemisphere climate trends / D. W. Waugh, L. Oman, P. A. Newman [et al.] // Geophys. Res. Lett. — 2009. — Vol. 36. — L18701, doi:10.1029/2009GL040419.
9. Evolution of the eastward shift in the quasi-stationary minimum of the Antarctic total ozone column / A. Grytsai [et al.] // Atmos. Chem. Phys. Discuss. — 2016. — 25 p. — doi:10.5194/acp-2016-537.
10. Farman J. C. Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClOx/NOx interaction / J. C. Farman, B. G. Gardiner, J. D. Shanklin // Nature. — 1985. — Vol. 315. — P. 207–210.
11. Fogt R. L. Seasonal zonal asymmetries in the Southern Annular Mode and their impact on regional temperature anomalies / R. L. Fogt, J. M. Jones, J. Renwick // J. Climate. — 2012. — Vol. 25. — P. 6253–6270.
12. Grytsai A. Planetary wave peculiarities in Antarctic ozone distribution during 1979–2008 / A. Grytsai // Int. J. Remote Sens. — 2011. — Vol. 32. — P. 3139–3152.
13. Grytsai A. V. Anomalous quasi-stationary planetary waves over the Antarctic region in 1988 and 2002 / A. V. Grytsai, O. M. Evtushevsky, G. P. Milinevsky // Ann. Geophys. — 2008. — Vol. 26. — P. 1101–1108.
14. Hio Y. Interannual variations of planetary waves in the Southern Hemisphere stratosphere / Y. Hio, I. Hirota // J. Meteorol. Soc. Jap. — 2002. — Vol. 80. — P. 1013–1027.
15. Huth R. Classification of hemispheric monthly mean stratospheric potential vorticity fields / R. Huth, P. O. Canziani // Ann. Geophys. — 2003. — Vol. 21. — P. 805–817.
16. Impact of climate change on Antarctic krill / H. Flores, A. Atkinson, S. Kawaguchi [et al.] // Marine Ecology Progress Series (MEPS). — 2012. — Vol. 458. — P. 1–19.
17. Interannual variability of planetary waves in the ozone layer at 65° S / A. Grytsai, Z. Grytsai, A. Evtushevsky, G. Milinevsky // Int. J. Remote Sens. — 2005. — Vol. 26. — P. 3377–3387.
18. Lin P. Impact of tropical SST on stratospheric planetary waves in the Southern Hemisphere / P. Lin, Q. Fu, D. L. Hartmann // J. Climate. — 2012. — Vol. 25. — P. 5030–5046.
19. Malanca F. E. Trends evolution of ozone between 1980 and 2000 at midlatitudes over the Southern Hemisphere: Decadal differences in trends / F. E. Malanca, P. O. Canziani, G. A. Arguello // J. Geophys. Res. — 2005. — Vol. 110. — D05102, doi:10.1029/2004JD004977.
20. Marshall G. J. Trends in the Southern Annular Mode from observations and reanalyses / G. J. Marshall // J. Climate. — 2003. — Vol. 16. — P. 4134–4143.
21. Mo K. C. The Pacific-South American modes and tropical convection during the Southern Hemisphere winter / K. C. Mo, R. W. Higgins // Mon. Wea. Rev. — 1998. — Vol. 126. — P. 1581–1596.
22. Ozone zonal asymmetry and planetary wave characteri-

- zation during Antarctic spring / I. Ialongo, V. Sofieva, N. Kalakoski [et al.] // *Atmos. Chem. Phys.* — 2012. — Vol. 12. — P. 2603–2614.
23. Prediction of erythemally effective UVB radiation by means of nonlinear regression model / K. Laska, P. Prosek, L. Budik [et al.] // *Environmetrics.* — 2009. — Vol. 20. — DOI: 10.1002/env.968.
  24. Quintanar A. I. Quasi-stationary waves in the Southern Hemisphere. Part I: Observational data / A. I. Quintanar, C. R. Mechoso // *J. Climate.* — 1995. — Vol. 8. — P. 2659–2672.
  25. Salby M. Rebound of Antarctic ozone / M. Salby, E. Titova, L. Deschamps // *Geophys. Res. Lett.* — 2011. — Vol. 38. — L09702, doi:10.1029/2011GL047266.
  26. Sensitivity of climate to dynamically consistent zonal asymmetries in ozone / N. P. Gillett [et al.] // *Geophys. Res. Lett.* — 2009. — Vol. 36. — L10809, doi:10.1029/2009GL037246.
  27. Signatures of the Antarctic ozone hole in Southern Hemisphere surface climate change / D. W. Thompson [et al.] // *Nature Geoscience.* — 2011. — Vol. 4. — P. 741–749.
  28. Solomon S. Stratospheric ozone depletion: a review of concepts and history / S. Solomon // *Rev. Geophys.* — 1999. — Vol. 37. — P. 275–316.
  29. Structure and long-term change in the zonal asymmetry in Antarctic total ozone during spring / A. V. Grytsai [et al.] // *Ann. Geophys.* — 2007. — Vol. 25. — P. 361–374.
  30. Temperature trend patterns in Southern Hemisphere high latitudes: Novel indicators of stratospheric change / P. Lin, Q. Fu, S. Solomon, J. M. Wallace // *J. Climate.* — 2010. — Vol. 23. — P. 4264–4280.
  31. The Amundsen Sea low / J. Turner [et al.] // *Int. J. Climatol.* — 2013. — Vol. 33. — P. 1818–1829.
  32. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system / D. P. Dee [et al.] // *Q. J. Roy. Meteorol. Soc.* — 2011. — Vol. 137. — P. 553–597.
  33. The existence of the edge region of the Antarctic stratospheric vortex / H. K. Roscoe [et al.] // *J. Geophys. Res.* — 2012. — Vol. 117. — D04301, doi:10.1029/2011JD015940.
  34. The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis Project / E. Kalnay [et al.] // *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* — 1996. — Vol. 77. — P. 1057–1072.
  35. The regime of total and biologically effective ultraviolet radiation at Vernadsky Station (Argentine Islands, Antarctica) and the impact of ozone and cloudiness in 2002 and 2003 / P. Prosek, K. Laska, M. Budikova, G. Milinevsky // *Czech Geography at the Dawn of the Millenium.* — Olomous: Czech Geographic Society, Palacky University in Olomous, 2004. — P. 211–223.
  36. Thompson D. W. J. Annular modes in the extratropical circulation. Part I: Month-to-month variability / D. W. J. Thompson, J. Wallace // *J. Climate.* — 2000. — Vol. 13. — P. 1000–1016.
  37. van der A R. J. Multi sensor reanalysis of total ozone / R. J. van der A, M. A. F. Allaart, H. J. Eskes // *Atmos. Chem. Phys.* — 2010. — Vol. 10. — P. 11277–11294.
  38. Wang L. Southern Hemisphere stationary wave response to changes of ozone and greenhouse gases / L. Wang, P. J. Kushner, D. W. Waugh // *J. Climate.* — 2013. — Vol. 26. — P. 10205–10217.
  39. Waugh D. W. Climatology of Arctic and Antarctic polar vortices using elliptical diagnostics / D. W. Waugh, W. J. Randel // *J. Atmos. Sci.* — 1999. — Vol. 56. — P. 1594–1613.
  40. Wirth V. Quasi-stationary planetary waves in total ozone and their correlation with lower stratospheric temperature / V. Wirth // *J. Geophys. Res.* — 1993. — Vol. 98. — P. 8873–8882.

#### ІЗМЕНЕННЯ В РАСПРЕДЕЛЕНИИ ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ОЗОНА В АТМОСФЕРЕ НАД АНТАРКТИКОЙ

А. В. Грицай, Г. П. Милиневский, А. М. Евтушевский, А. Р. Клекочук

В работе обобщены данные об изменениях зональной асимметрии антарктического озона по спутниковым измерениям 1979–2016 гг. и об их связи с параметрами атмосферы южного полушария, полученные авторами в последнее десятилетие. Весенние уровни антарктического озона в 2000-е–2010-е годы не показывают возрастания площади озоновой дыры, наблюдавшегося в 1980-е–1990-е годы. Стабилизацию и первые признаки уменьшения площади озоновой дыры считают следствием действия Монреальского протокола 1987 г. по ограничению выбросов озоноразрушающих веществ в атмосферу. Долговременные изменения содержания озона в атмосфере над антарктическим регионом в весенний сезон сопровождаются изменениями в его асимметричном распределении относительно южного полюса. Межгодовые миграции положения долготного минимума озона демонстрируют статистически значимую связь со структурой квазистационарных планетарных волн в распределении атмосферных параметров. Долговременный долготный дрейф минимума озона выявляет схожесть с дрейфом в зональной структуре планетарных волн в распределении тропосферных параметров, а также сопровождается меридиональным смещением климатических аномалий в сторону экватора. Полученные соотношения характеризуют взаимозависимость крупномасштабных тропосферных и стратосферных возмущений в южном полушарии в сезон озоновой дыры.

**Ключевые слова:** общее содержание озона, антарктическая стратосфера, зональная асимметрия, квазистационарные планетарные волны, изменения климата

#### CHANGES IN THE TOTAL OZONE DISTRIBUTION IN THE ATMOSPHERE OVER ANTARCTICA

A. V. Grytsai, G. P. Milinevsky, A. R. Klekociuk, O. M. Evtushevsky

The data obtained by the authors during the last decade from satellite measurements in 1979–2016 and related to changes in zonal asymmetry of the Antarctic ozone and to their coupling with atmospheric parameters in the Southern Hemisphere are summarized in this work. The spring levels of the Antarctic ozone in 2000s–2010s do not show increase of the ozone hole size

observed in 1980s–1990s. Stabilization and the first evidence of the ozone hole area decrease are considered as consequence of Montreal Protocol 1987 on restriction of emissions of ozone depleted substances into the atmosphere. Long-term changes of total ozone content in atmosphere over the Antarctic region in spring are accompanied by changes in its asymmetric distribution relatively the South Pole. Interannual variations of the longitudinal ozone minimum position demonstrate statistically significant relation to structure of the quasi-stationary planetary waves in distribution of atmospheric parameters. Long-term longitudinal shift of the ozone minimum is similar to shift in zonal structure of planetary waves in the tropospheric parameter distribution and is also accompanied by meridional displacement of the climatic anomalies toward the equator. The obtained relationships characterize interdependence between the large-scale tropospheric and stratospheric disturbances in the Southern Hemisphere during the ozone hole season.

**Keywords:** total ozone content, Antarctic stratosphere, zonal asymmetry, quasi-stationary planetary waves, climate changes

УДК 551.1:551.7(477)

## Початковий етап геологічного розвитку континентальної земної кори на території України в Докатархей–Археї

С. М. Єсіпович \*

ДУ “Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України”, Київ, Україна

В розвиток класичної ідеї формування зачатків континентальної земної кори на ооїдно-кільцевому етапі розвитку планети, побудована схема кільцевих структур території України. В практичному плані розвиваються уявлення тектоноконцентрів О. Б. Гінтова, як структури стабільних ядер та мобільного кільцевого обрамлення. Привертається увага до зон перетину-накладання тектоноконцентрів, як особливих геодинамічних областей земної кори.

**Ключові слова:** класична ідея, ооїдно-кільцевий, формування, континентальна земна кора, тектоноконцентр, перетин-накладання, геодинамічний

© С. М. Єсіпович. 2016

Сьогодні переважна більшість геологів, які займаються пошуками родовищ корисних копалин, сходяться на думці, що останні концентруються в певних мобільних зонах земної кори. Різняться тільки підходи до виділення таких зон та визначення їх геодинамічної активності — були активні раніше, активні зараз, активні весь час.

Наведемо два приклади: родовища міді в районі озера Верхнє (США) та ураново-золоторудні поклади Вітватерсранду (ПАР). Кристали міді відкладені в кристалічних породах архею, пласти яких розміщені майже вертикально, а уран та золото добувають з конгломератів, що заповнюють архейський грабен. Обидві області родовищ характеризуються високою сучасною геодинамічною активністю — виділення та вибухи вуглеводневих газів, причому в Африці їх майже на порядок більше. Зафіксовані також включення рідких та газоподібних вуглеводнів в кристалах кальциту віком середнього протерозою. Це може свідчити про геодинамічну активність даних ділянок весь час — з моменту їхнього утворення. Саме тому ми починаємо вивчення історії розвитку території України з первинного її етапу — докатархей-архейського.

В роботі [4] обґрунтовано розвиток поверхні планети та виділено первинний етап формування континентів — ооїдно-кільцевий в часовому відрізку 4818–2554 млн. років.

Куполи раннього докембрію Українського щита (УЩ), на думку В. А. Рябенка [6] формувалися в умовах розм'якшеного стану кори, протягом єдиного періоду розвитку ранньодокембрійської геосинклінальної зони — від нагромадження до консолідації. Це були первинні осередки мігматизації, ізометрична форма яких пояснюється слабкою латеральною

розчленованістю первинної земної кори й малою диференційованістю рельєфу.

У роботі [5] стверджується, що вік нижньої частини порід кряжа Зверева Алданського щита дорівнює 4500–4580 млн. років, тобто близький до віку Місячної кори. Це дозволило авторам роботи [3] висловити думку про те, що катархей басейну ріки Сутам і кряжа Зверева являє собою релікт базальтової земної кори “місячного” етапу розвитку, коли гранітний прошарок ще не сформувався.

Ідею “нуклеарів” М. З. Глухівського, Є. В. Павловського [3] купольно-ооїдних структур Л. Й. Салопа [7, 8] розвиває О. Б. Гінтов, у роботах [1, 2]:

1. Хімічний склад основних порід Бузької серії УЩ і басейну ріки Сутам ідентичний.
2. Термін для пояснення великих кільцевих структур Землі (ВКСЗ) повинен відображати вирішальну роль у їхньому формуванні тектонічних рухів і кільцеву або концентричну їхню будову. Він пропонує їх називати **т е к т о н і ч н и й к о н ц е н т р** або **т е к т о н о к о н ц е н т р**.
3. Тектонічні сили **к у п о л о у т в о р е н н я** могли проявлятися при необхідних умовах пластичності середовища, які існували в археї та ще раніше. *У ранньому протерозої земна кора вже реагувала на напруги, в основному, як крихке тіло.*

Ідея стабільного ядра та рухомого кільця є дуже продуктивною в науковому плані, оскільки дозволяє досліджувати розвиток тектоноконцентру (ТКЦ) в геодинамічному плані, особливо в режимах тектонічних циклів — розширення та стиснення. Це реально показано на території Євразії та Африки [2]. На території України обґрунтовано та показано два ТКЦ — Північно-Український та Південно-Український, які розміщені в західній частині території України. В даній статті виділений та показаний загальний каркас ТКЦ території України, обмежений територіальними кордонами. На відміну від О. Б. Гінтова,

\* Тел. +380 44 486 84 21

Online ISSN 2313-2132

ми показували тільки загальний контур ТКЦ, по гравітаційним аномаліям рухливої зони — внутрішньої або зовнішньої. Отже виділено такі ТКЦ: Чернігівський, Кіровоградський, Придніпровський, Лозоватинський, Західно-Приазовський, Східно-Приазовський, Північно-Донбаський, Харківський, Сумсько-Білгородський, Конотопський. В принципі Харківський та Сумсько-Білгородський ТКЦ можуть скласти один складний ТКЦ, подібний до Придніпровського (рис.)

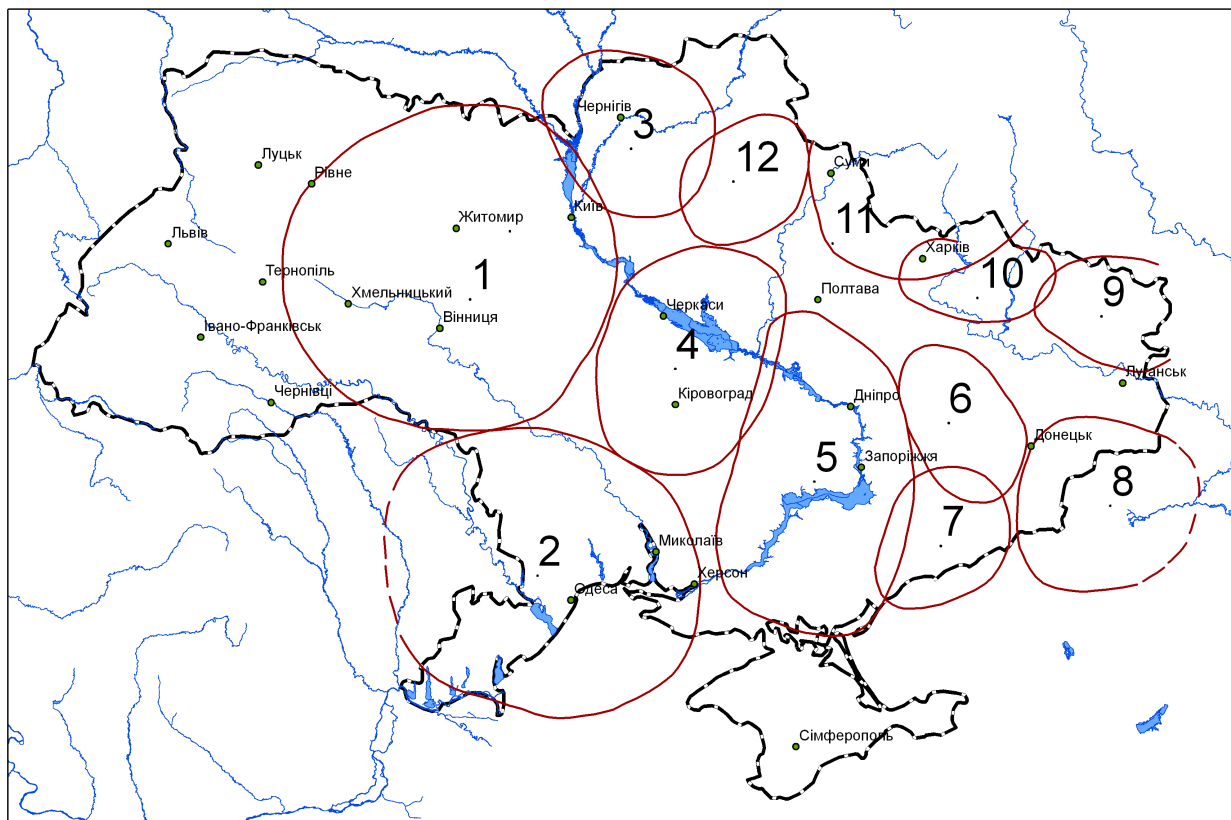
Перші два ТКЦ показані в редакції О. Б. Гінтова [2], і ми про них говорити не будемо.

**Чернігівський ТКЦ** розміщений в межах Брагінсько-Лоевського виступу, який відділяє Дніпровський грабен від Прип'ятської западини [4]. Він має невелику зону перекриття (в межах Київського моря) з Північно-Українським ТКЦ, а північно-західна ділянка мобільного кільця проходить по східній шовно-рифтогенній зоні Прип'ятської западини. Ця зона незвично вигнута саме від западини.

**Кіровоградський ТКЦ** займає область Кіровоградського блоку УЩ та розміщений між Північно-Українським, Південно-Українським, Придніпровським тектоноконцентрами та Дніпровсько-Донецькою западиною. З першими двома ТКЦ Кіровоградський має дотичні контакти, а з третім перетинається, формуючи складно побудовану Кри-

ворізько-Кременчуцьку зону. Більше того, антиклінальна зона П'ятихатського валу, детально описана Г. І. Каляєвим [9], і яка, на наш погляд, явно не вписується в тектонічні форми Середньопридніпровського блоку, може бути частиною кільцевого валу Кіровоградського ТКЦ. В роботі [4] було обгрунтовано, що абревіатура Дніпровсько-Донецька западина є невірною по своїй суті, бо ми спостерігаємо Донбаську складчасту споруду та западину типу грабен, який розміщений між Лозоватинським виступом та Брагінсько-Лоевською перемичкою. Він був названий Дніпровським, що є не дуже вдалою назвою, оскільки Дніпро протікає хоча і субпаралельно, але досить далеко на південному заході. Краще цей грабен називати Ніжинсько-Полтавським. Він обмежується Північною та Південною шовними рифтогенними зонами, і західний фрагмент Південної ШРЗ обмежує Кіровоградський ТКЦ на півночі.

**Придніпровський ТКЦ** розміщений в межах Середньопридніпровського блоку УЩ, детально описаного Г. І. Каляєвим, (1972). На півночі границя його проходить по східному фрагменту Південної ШРЗ та є достатньо складною через власне складну внутрішню будову самого тектоноконцентру. Західна та Східна зони замикання ТКЦ перекриваються з Кіровоградським та Західно-Приазовським ТКЦ, формуючи відомі Криворізько-Кременчуцьку та



Принципова схема тектоноконцентрів України (1, 2 — Північно та Південноукраїнський; 3 — Чернігівський; 4 — Кіровоградський; 5 — Придніпровський; 6 — Лозоватинський; 7, 8 — Західно та Східно Приазовський; 9 — Північно-Донбаський; 10 — Харківський; 11 — Сумсько-Білгородський; 12 — Конотопський)

Орехово-Павлоградську смуги, замикаючись в районі Перекопського перешийку Кримського півострова. Північно-східний фрагмент ТКЦ дотично межує з Лозоватинським ТКЦ.

**Лозоватинський ТКЦ** розміщений в межах одніменного блоку, описаного в роботі [4], що відділяє складчастий Донбас від Ніжинсько-Полтавського грабену. Він межує на заході з Придніпровським ТКЦ, на півдні перекривається (в межах Консько-Ялинської западини) із Західно-Приазовським ТКЦ, дотично межує зі Східно-Приазовським ТКЦ та підпирає складчастий Донбас з півдня.

**Західно-Приазовський ТКЦ** розміщений на заході Приазовського блоку УЩ. На заході та півночі він перекривається з Придніпровським та Лозоватинським ТКЦ, на сході межує зі Східно-Приазовським тектоноконцентром і замикається на півдні в межах північної перикліналі Азовського валу.

**Східно-Приазовський ТКЦ** розміщений на сході Приазовського блоку УЩ. На півночі він підпирає геосинклінальну зону складчастого Донбасу, на заході дотично межує з Лозоватинським та Західно-Приазовським ТКЦ і на півдні проходить в межах Північно-Азовського прогину.

**Північно-Донбаський, Харківський, Сумсько-Білгородський та Конотопський ТКЦ** обмежують з північного сходу геосинклінальну зону Донбасу та Ніжинсько-Полтавський грабен, які заповнені фанерозойськими відкладами. Всі перелічені ТКЦ розміщені на схилі Воронезького Кристалічного Масиву. Показовим є Сумсько-Білгородський, який за характерною структурою аномального гравітаційного поля дуже схожий на Придніпровський. Дотично до Сумсько-Білгородського та перекриваючись із Чернігівським дуже чітко виділяється Конотопський ТКЦ, маркуючи зону переходу від Брагінсько-Лоевського виступу до Ніжинсько-Полтавського грабену та захоплюючи його частину.

Всі виділені тектоноконцентри, крім останнього, дуже комфортно обмежують геосинклінальну зону Донбасу та Ніжинсько-Полтавського грабену. Безумовно, це тільки перший етап виділення загальних контурів первинних кільцевих структур України на Докатархей-Архейському етапі в часовому інтервалі 4818–2554 млн. років, який формувався протягом п'яти глобальних галактичних циклів [4]. В подальшому буде визначено їхню внутрішню будову, як це зроблено О. Б. Гінтовим для Північно-Українського ТКЦ. Особливо цікавою та важливою ця робота буде для Кіровоградського, Придніпровського та Приазовського ТКЦ, де зафіксовані специфічні аномалії геофізичних полів та накопичений колосальний об'єм геологічної інформації.

Очевидно також, що просторовий об'єм регіональних досліджень треба розширити, включивши “безгранітні масиви” внутрішніх морів, Панонську та

Прикаспійську западини, що були сформовані на попередньому геотектонічному етапі в часовому інтервалі 7082–4818 млн. років.

## Висновки

- Побудовано каркас ооїдно—кільцевих структур (тектоноконцентрів) території України для Докатархей-Архейського етапу її геологічного розвитку.
- Оскільки тектоноконцентри виділялись за аномальним гравітаційним полем України з врахуванням класичних геологічних уявлень, залишається реальна можливість вибудувати їх внутрішню структуру на основі циклічного розвитку геологічних формацій в просторі та часі.
- Особливу увагу при пошуках корисних копалин буде привертати вивчення історії розвитку мобільних (рухомих) кілець тектоноконцентрів різних рангів та зони їх перекриття. При цьому необхідно використовувати не тільки геофізичні дослідження, а перш за все аерокосмічні в самому широкому їх сенсі, оскільки саме останні надають інформацію про сучасну геодинаміку поверхні планети.

## Література

1. Гинтов О. Б. Кольцевые структуры докембрия Украины / О. Б. Гинтов // — М.: Геотектоника, 1973, №5, — С. 65–74.
2. Гинтов О. Б. Структуры континентальной земной коры на ранних этапах ее развития / О. Б. Гинтов // — К.: “Наукова думка”, 1978. — 164 с.
3. Глуховский М. З. К проблемам ранних стадий развития Земли / М. З. Глуховский, Е. В. Павловский. — М.: Геотектоника, 1973, №2. — С. 3–8.
4. Єсипович С. М. Історія планети Земля — пульсуючий розвиток під дією космічного пресингу [Електронний ресурс]: монографія: С. М. Єсипович; ДУ Наук. центр аерокосміч. досл. Землі Інст-ту геолог. наук НАН України.— Електрон. дані (1 файл) / — К., 2015.— 190 с. — Інтернет-портал “Research Gate”. Режим доступу: [http://www.researchgate.net/profile/Stanislaw\\_Yesypovych/publications](http://www.researchgate.net/profile/Stanislaw_Yesypovych/publications). — Назва з екрану. — Дата звернення: 05.09.2016.
5. Последовательность геологических процессов в южном обрамлении Алданского щита и геохронологические данные / В. А. Глебовицкий [и др.] // Абсолютный возраст докембрийских пород СССР. — М.: 1965. — С. 103–135.
6. Рябенко В. А. Об особенностях архейской складчатости УЩ / В. А. Рябенко // Проблемы осадочной геологии докембрия, вып. 2.— М.: Недра, 1967, — С. 189–193.
7. Салоп Л. И. Докембрий Африки / Л. И. Салоп // — Л.: Недра, 1977. — 304 с.
8. Салоп Л. И. Геологическое развитие Земли в докембрии / Л. И. Салоп // — Л.: Недра, 1982. — С. 210.
9. Тектоніка Українського щита / Г. І. Каляєв [та ін.] // — К.: “Наукова думка”, 1972, 300 с.

НАЧАЛЬНЫЙ ЭТАП ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ НА ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ В ДОКАТАРХЕЙ-АРХЕЕ.

С. М. Єсипович.

В развитие классической идеи формирования зародышей континентальной земной коры на ооидно-кольцевом этапе развития планеты, построена схема кольцевых структур территории Украины. В практическом плане развиваются представления о тектоноконцентрах О. Б. Гинтова, как структуры стабильных ядер и мобильного кольцевого обрамления. Обращается внимание на зоны пересечения-наложения тектоноконцентров, как особенных геодинамических областей земной коры.

Ключевые слова: классическая идея, ооидно-кольцевой, формирование, континентальная земная кора, тектоноконцентр, пересечение-наложение, геодинамический

THE INITIAL STAGE OF GEOLOGICAL DEVELOPMENT OF THE CONTINENTAL EARTH'S CRUST IN THE TERRITORY OF UKRAINE IN DOKATARHEY-ARCHEAN

S. M. Jesypovych

This paper contains a diagram of ring structures within the territory of Ukraine from the point of view of the classical idea elaboration on forming the dawn of continental crust on the ooidno-ring stage of planet evolution. This diagram is a development of O.B. Gintov concept about tectonic co-centers as structures with stable nuclei and mobile ring frames. The attention draws to intersection/overlay zones, as critical geodynamic areas of the Earth's crust.

Keywords: classical idea, ooidno-ring, forming, continental Earth's crust, tectonic co-centers, intersection/overlay, geodynamica



## International Workshop Under Patronage of National Commission of Ukraine for UNESCO

### Strategy for Reducing Risks from Disasters at World Heritage Properties

**Dates:** 01.09.-1.12.2016; 01.09.-1.12.2017; 01.09.-1.12.2018

**Location:** National Conservation Area “Sophia of Kyiv”

**Address:** Ukraine, Kiev 01001, 24 Volodymyrska St., National Conservation Area “Sophia of Kyiv”, Tel.: +380 (044) 278-26-20; e-mail: [sophia.kievsk@gmail.com](mailto:sophia.kievsk@gmail.com)

**Venue:** National Preserve St. Sophia Cathedral, Kiev, st. Volodymyrska, 24, tel.: +380 (044) 278-26-20; E-mail: [sophia.kievsk@gmail.com](mailto:sophia.kievsk@gmail.com)

#### Call for applications

Deadline: 01.09.2016

#### Organisers

National Conservation Area “Sophia of Kyiv  
National Kyiv-Pechersk Historical and Cultural  
Preserve”

Charitable Organization “Charitable Fund St. Sophia”

#### Project concept

- I. Purpose of the project
- II. World Heritage Sites in Ukraine (7)
- III. Range of risks to World Heritage Sites
- IV. Scientific Program
- V. Program participants
- VI. Date and place of the event
- VII. Expected results

#### Reasons of the Workshop

The range of critical risks to World Heritage in Ukraine

#### Benefits of participating in the Workshop

- Getting information about the critical risk for each object of Heritage.
- Getting interdisciplinary training for professionals involved in the conservation of World Heritage to conduct comprehensive risk assessments, vulnerability analysis of heritage from various hazards, as well as development plans for disaster risk management of their facilities.

#### Target audience Workshop

- The management of all architectural-historical and cultural preserves
- Managers Heritage organizations, local authorities and the public
- Representatives of State and Local Heritage
- Experts research, design and production organiza-

tions monument protection profile

#### The main forms of implementing the Scientific Program

Video lectures, interactive workshops online, Web conferencing, video conferencing.

#### Working languages

Ukrainian, English

#### Cost of participation

The cost of participation will be specified in Bulletin 2 (September, 2016)

#### The application to be put

1. Please complete the application form, which is below, and send it along with your personal statement by e-mail to:

[fund.saintsophia.kyiv@gmail.com](mailto:fund.saintsophia.kyiv@gmail.com)

2. From the applicants are asked to provide text (maximum 700 words), including a brief description:

- Previous experience (if any), collision with an emergency situation that prompted an immediate response to protect heritage / OR / if you are in a risk area, describe the risks to which your heritage always suffers.
- The reasons for interest in Workshop: what the applicant hopes to learn from it and how it will benefit the applicant and his / her institution and country.

#### Strategy for Reducing Risks from Disasters at World Heritage Properties

##### *I. Purpose of the project:*

- Implementation of modern international experience to address reducing risks from disasters at World Heritage sites, namely: providing interdisciplinary training for all participants involved in the preservation of World Heritage in conducting comprehensive risk assessments, vulnerability analysis heritage sites from various hazards, as well as the development of management plans based heritage management plan risk from disasters for its facilities.
- The theme of the project is consistent with the recommendations of UNESCO, WHC-07 / 31.COM / 7.2: Strategy for Reducing Risks from Disasters at World Heritage properties (Strategy on Disaster Risk Reduction at World Heritage sites).

• Purpose of the project agrees with the recommendations of UNESCO on the objectives and priorities for action (see. Table 1. Paragraph 2. “Using knowledge, innovation and education to create a culture of disaster prevention at World Heritage sites. Raising educational materials and teaching methods (guidelines and manuals, materials, case studies, glossaries and classifications), their wide dissemination among decision-makers and managers Heritage organizations, local authorities and the general public”).

## *II. World Heritage Sites in Ukraine (7)*

[https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_World\\_Heritage\\_Sites\\_in\\_Ukraine](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_World_Heritage_Sites_in_Ukraine)

### *Cultural:*

1. Kiev.Saint-Sophia Cathedral and Related Monastic Buildings. Kiev Pechersk Lavra (1990).
2. Lviv - the Ensemble of the Historic Centre (1998).
3. Residence of Bukovinian and Dalmatian Metropolitans. Chernivtsi (2011).
4. Struve Geodetic Arc. Khmelnytsky and Odessa Oblasts of Ukraine, Estonia, Belarus, Finland, Latvia, Lithuania, Norway, Moldova, Russia, Sweden (2005).
5. Wooden tserkvas of Carpathian region in Poland and Ukraine. Ivano-Frankivsky Oblast, Lviv Oblast, Zakarpattia Oblast of Ukraine, Poland (2013)
6. Ancient City of Tauric Chersonese and its Chora. Crimea (2013).

### *Natural:*

1. Primeval Beech Forests of the Carpathians and the Ancient Beech Forests of Germany (Ukraine, Germany, Slovakia) (2007- Time listed, 2011 – Extension)

## *II. Range of risks to World Heritage Sites*

1. Kiev.Saint-Sophia Cathedral and Related Monastic Buildings. Kiev Pechersk Lavra (1990).

A. General factors negative impact on the heritage  
<http://whc.unesco.org/en/soc/3301>

Factors identified in 2015.

- Shortcomings new development
- Disadvantages regulatory framework of Heritage
- Shortcomings in the management of Heritage
- Disadvantages of management and of heritage management plan.

Factors identified in earlier reports.

- Pressure of urban development
- The threat of right-bank panorama of the historic landscape area on the Dnieper due to high-rise buildings
- The lack of legal protection mechanisms and planning area mechanisms
- Absence of control and coordination mechanisms between all stakeholders, including urban municipality

**B. Note the World Heritage Committee set out in the Decision 39 COM 7B.85 during of Session 39, 2015.**

## **Application form for participation in**

International Workshop

Under Patronage of National Commission of Ukraine for UNESCO  
Strategy for Reducing Risks from Disasters at World Heritage Properties

### I Candidate:

- Name and family name \_\_\_\_\_
  - Citizenship \_\_\_\_\_
  - Gender (Male /Female) \_\_\_\_\_
  - Name of the Institution \_\_\_\_\_
  - Post address \_\_\_\_\_
  - Telephone (office, home), fax, e-mail \_\_\_\_\_
- Education II
- Specialty \_\_\_\_\_
  - Qualification \_\_\_\_\_

### III Professional activity

- Position (from ... to ...), name of organization, responsibility \_\_\_\_\_

Previous activities (from ... to ...) name of the organization responsible \_\_\_\_\_

Signature of candidate .... Date .....

Project concept  
International Workshop

**85. Kiev: Saint-Sophia Cathedral and Related Monastic Buildings, Kiev-Pechersk Lavra (Ukraine) (C 527 bis). Decision: 39 COM 7B.85**

<http://whc.unesco.org/archive/2015/whc15-39com-19-en.pdf>

Decision: 39 COM 7B.85

The World Heritage Committee,

1. Having examined Document WHC-15/39.COM/7B,

2. Recalling Decision 38 COM 7B.33, adopted at its 38th session (Doha, 2014),

3. Takes note of the measures taken by the State Party to implement the previous decisions of the World Heritage Committee;

4. Acknowledges the steps taken by the State Party to develop legal measures for the protection of the property including the moratorium on construction projects in the buffer zone and urges the State Party to adopt all relevant legal documents, regulations and measures specified in its previous decisions to support the implementation of the World Heritage Convention and prevent any potential threat to the property's Outstanding Universal Value (OUV);

5. Requests the State Party to reduce the height of non-conforming and dissonant buildings in the buffer zone of the property which threaten and/or have negative impact on the OUV of the property, by means of demolishing the already constructed stories to the level of neighbouring historical buildings in accordance with its previous decisions;

6. Expresses its concern about the reconstruction of the lost buildings undertaken at the property that can potentially erode its conditions of authenticity and requests the State Party to submit to the World Heritage Centre, in conformity with Paragraph 172 of the Operational Guidelines, technical details, including Heritage Impact Assessments (HIAs), for all proposed projects that may threaten the OUV of the property;

7. Also requests the State Party to submit to the World Heritage Centre, by 1 December 2015, an electronic and printed copy of the draft management plan of the property revised, in conformity with the ICOMOS recommendations, for review by the Advisory Bodies;

8. Further requests the State Party to submit to the World Heritage Centre, by 1 February 2016, an updated report, including a 1-page executive summary, on the state of conservation of the property and the implementation of the above, for examination by the World Heritage Committee at its 40th session in 2016.

**C. The essence of the environmental risk to objects of cultural heritage in urban areas of Kyiv.**

<http://new.sophiakievskia.org/sites/default/files/18-11-2013eng.pdf>

• The essence of the geo-ecological risk to cultural heritage in the urban area. Cultural heritage sites in many historical towns are in a heavy urban surrounding, where they are constantly influenced by new and old buildings, transport highways as well as underground municipal infrastructures. For example, the right-bank ridge of the Kyiv heights where the most important cultural heritage sites are located.

• The geo-ecological risk is inherent in the territories of other historic cities of Ukraine, the natural features of which provoke the development of the numerous zones of the geodynamic tensions that induce development of dangerous processes in a geological environment.

• The main geological risk factors are: the manifestation of the endogenous (seismicity, modern tectonic movements of the earth's crust, the displacement of the medium along the faults of the crystalline basement) and the exogenous (erosion, shifts and surface subsidence) processes that are under anthropogenic influences on urban infrastructure have a destructive character.

\* Contemporary processes of natural, natural and man-made processes, and the results of human activity are the main factors of the geological risks posed by the emergence and aggravation of the problem of preservation of cultural heritage and technosphere urban areas.

**2. Lviv - the Ensemble of the Historic Centre (1998).**

**A. General factors negative impact on the heritage**

<http://whc.unesco.org/en/soc/3299>

Factors identified in 2015.

- Shortcomings new development
- Disadvantages of management and of heritage management plan.
- The problems of solid waste remove.

Factors identified in earlier reports.

- The construction of new buildings in the Historic Centre
- The lack of significant existing planning documents for building
- Inadequate infrastructure, including systems of sewage

**B. Note the World Heritage Committee set out in the Decision 39 COM 7B.84 during of Session 39, 2015.**

<http://whc.unesco.org/archive/2015/whc15-39com-19-en.pdf>

**84. L'viv – the Ensemble of the Historic Centre (Ukraine) (C 865bis)**

Decision: 39 COM 7B.84

The World Heritage Committee,

1. Having examined Document WHC-15/39.COM/7B,

2. Recalling Decision 37 COM 7B.113 adopted at the 37th session (Phnom Penh, 2013),

3. Welcomes the efforts made by the State Party to improve the protection of all components of the property and its buffer zone and requests it to sustain these efforts and to secure the necessary resources and to adopt regulatory regimes thus ensuring that no inappropriate developments or deterioration of the heritage buildings which could constitute a threat to the property and its buffer zone, will take place;

4. Also requests the State Party to finalize, as soon as possible, the Management Plan for the property, including details of the protective measures provided in its regulatory regimes, and to submit it to the World Heritage Centre, for review by the Advisory Bodies;

5. Notes the number of proposed projects and reiterates its request to the State Party to submit to the World Heritage Centre, in conformity with Paragraph 172 of the Operational Guidelines, details of all major developments and conservation works within the property and its buffer zone, with appropriate Heritage Impact Assessments (HIAs), for review by the Advisory Bodies;

6. Also notes the ICOMOS technical review of the regeneration programme of the ancient Jewish quarter and invites the State Party to implement ICOMOS recommendations and, more particularly, to develop a detailed urban master plan and a conservation plan of the Jewish quarter;

7. Further requests the State Party to submit to the World Heritage Centre, by 1 December 2016, an updated report, including a 1-page executive summary, on the state of conservation of the property and the implementation of the above.

### **3. Residence of Bukovinian and Dalmatian Metropolitans (2011).**

*A. General factors negative impact on the heritage*

<http://whc.unesco.org/uploads/nominations/1330.pdf>

- Pressure of urban development
- \* Environmental pollution
- The risk of natural disasters
- Overloading residents of settlements within the territory of the facility and buffer zone
  - Groundwater
  - Impact of tourism / visitors /
  - \* Seismic danger
  - \* Fire danger

### **4. Struve Geodetic Arc (2005)**

*A. General factors negative impact on the heritage*

<http://whc.unesco.org/archive/periodicreporting/EUR/cycle02/section2/groupb/1187.pdf>

- Pressure Industrial. commercial, housing development areas

- Contamination of sea water and air
- Biological resource use, land conversion, plant
- Extraction of natural resources, development of quarries
- Impact of tourism / leisure visitors
- Illegal activities, intentional destruction of heritage, military training, military actions, terrorism

### **5. Wooden tserkvas of Carpathian region in Poland and Ukraine (2013).**

*A. General factors negative impact on the heritage*  
[http://whc.unesco.org/archive/advisory\\_body\\_evaluation/1424.pdf](http://whc.unesco.org/archive/advisory_body_evaluation/1424.pdf)

- The risk of storms and flooding, vulnerability of roofs and foundations.
- The risk of erosion of the slopes
- High risk of fires.
- Lack of adequate fire detection and provision of electricity.
- High risk of cracking in all areas and rooms, lack of proper security alarm.
- Risk and vulnerability icons of interiors.

### **6. Ancient City of Tauric Chersonese and its Chora (2013).**

*A. General factors negative impact on the heritage*  
<http://whc.unesco.org/archive/periodicreporting/EUR/cycle02/section2/groupb/1411.pdf>

- \* Buildings and Development of Housing
- \* Shortcomings of ground transport infrastructure
- \* Impacts of tourism / visitor / recreation
- \* Storms
- \* Sudden ecological or geological events
- \* Earthquake
- \* Erosion and siltation/ deposition
- \* Fire (wildfires)
- \* Low impact research / monitoring activities

### **Natural:**

1. Primeval Beech Forests of the Carpathians and the Ancient Beech Forests of Germany (Ukraine, Germany, Slovakia) (N 1133bis) (2007)

*A. General factors negative impact on the heritage*  
<http://whc.unesco.org/en/soc/3244>

Factors affecting the property in 2015\*

- Commercial hunting
  - Forestry/wood production
  - Management systems/ management plan
- Factors affecting the property in previous report
- Lack of integrated Management Plan (in progress)
  - Lack of transnational research and monitoring plans (in progress)

- Need for capacity building (in progress)
- Inadequate regulation and management of uses and activities (logging and hunting) in the Slovak part of the property

**B. Note the World Heritage Committee set out in the Decision 39 COM 7B.19 during of Session 39, 2015.**

<http://whc.unesco.org/archive/2015/whc15-39com-19-en.pdf>

**19. Primeval Beech Forests of the Carpathians and the Ancient Beech Forests of Germany (Ukraine, Germany, Slovakia) (N 1133bis)**

Decision: 39 COM 7B.19

The World Heritage Committee,

1. Having examined Document WHC-15/39.COM/7B,
2. Recalling Decision 38 COM 7B.75, adopted at its 38th session (Doha, 2014),
3. Commends the States Parties of Germany, Slovakia and Ukraine for their cooperation concerning the protection and management of the property and for signing the Joint Declaration of Intent and encourages the States Parties to continue their efforts;
4. Welcomes the progress achieved by the State Party of Slovakia towards enhancing cooperation between relevant Ministries responsible for the management of Slovak components of the property, but notes with concern that an integrated management framework for the Slovak components of the property is still lacking and that forest management plans providing for logging apply to some areas within the property boundaries;
5. Endorses the recommendations of the 2014 reactive monitoring mission and requests the State Party of Slovakia to implement them;
6. Also requests the State Party of Slovakia to ensure that no logging operations take place within the property's boundaries until this issue is resolved through the development, in consultation with the States Parties of Germany and Ukraine, of an integrated management framework for the Slovak components of the property, focused on nature conservation and taking into account all international designations, such as World Heritage property, Biosphere Reserve and European Diploma;
7. Notes that the current delineation of the Slovak components of the property does not provide for adequate protection of the property's Outstanding Universal Value (OUV) and further requests the State Party of Slovakia to develop a proposal for boundary modification of its components, in close cooperation with the States Parties of Germany and Ukraine, as well as other States Parties who are currently preparing a proposal for an extension of the property;
8. Takes note of the State Party of Slovakia's intention to invite a joint World Heritage Centre/IUCN Advisory mission to provide advice on the management of the Slovak components of the property and on the development of a proposal for boundary modification;
9. Requests furthermore the State Party of Slovakia to submit to the World Heritage Centre, by 1 December 2016, an updated report, including a 1-page executive summary, on the state of conservation of the property and the

implementation of the above, for examination by the World Heritage Committee at its 41st session in 2017.

**IV. Scientific Pprogram**

*Set of lectures for the period 2015-2018 covers the following areas:*

- The World Heritage Resource Manual Series.  
<http://whc.unesco.org/en/activities/630/>  
*Laura Frank (UNESCO), Vesna Vujicic-Lugassy (UNESCO).*
- Managing Disaster Risks for World Heritage.  
<http://whc.unesco.org/en/managing-disaster-risks/>  
*Francesco Bandarin Director, UNESCO World Heritage Centre.*
- The Risk Map of Cultural Heritage.  
<http://www.uni.net/aec/riskmap/english.htm>  
*Pproject promoted by the Istituto Centrale per il Restauro (ICR). Italy.*
- \* Multi-Agency Response to The Shoreline Aspects of The Groundind of The Napoli (Italy).  
[http://www.devon.gov.uk/multi\\_agency\\_debrief\\_v5.0.pdf](http://www.devon.gov.uk/multi_agency_debrief_v5.0.pdf)  
*Multy – Agency Response to the shoreline. Aspects of the grounding of the MSC Napoli.*
- \* Good practice examples for disaster risk reduction in Cuban Agriculture.  
[http://www.preventionweb.net/files/14838\\_ak233e001.pdf](http://www.preventionweb.net/files/14838_ak233e001.pdf)  
*The Food and Agriculture Organization of the United Nations.*
- \* National Action Plan for Disaster Risk Management 2008 – 2018.  
[http://www.pacificdisaster.net/m/show\\_article.jsp?id=5610](http://www.pacificdisaster.net/m/show_article.jsp?id=5610)  
*National Task Force for Disaster Risk Management and the Office of the Chief Secretary ; Government of the Republic of the Marshall Islands.*
- District Disaster Risk Management Planning. Guidelines.  
[http://www.ndma.gov.pk/Docs/District\\_Provincial\\_Guidelines/District%20Planning%20Guidelines.pdf](http://www.ndma.gov.pk/Docs/District_Provincial_Guidelines/District%20Planning%20Guidelines.pdf)  
*National Disaster Management Authority, Pakistan.*
- Model for a National Disaster Management Structure, Preparedness Plan, and Supporting Legislation.  
[http://www.preventionweb.net/files/5142\\_US01MH840-Ft.pdf](http://www.preventionweb.net/files/5142_US01MH840-Ft.pdf)  
*Disasrers Management Training Program. Project IGAD countries are Djibouti, Eritrea, Ethiopia, Kenya, Somalia, Sudan, and Uganda.*
- United Nations Disaster Management Training Programme. Inventory of Training Projects Related to Crisis and Disaster Management .  
<http://indianstrategicknowledgeonline.com/web/DISASTER%20MGT%20TRG.pdf>  
*Inventory of Training Projects Related to Crisis and*

*Disasters Management. OCHA - United Nations Civil – Military Co-operation – CIMIC. ONU – Palais des Nations, 1211 Geneva 10 Switzerland.*

- Bruce R. Lindsay, Coordinato Congressional Research Service. Federal Emergency Management: A Brief Introduction.

November 30, 2012

<https://www.fas.org/sgp/crs/homesec/R42845.pdf>

*Analyst in American National Government.*

- Managing Cultural World Heritage (2013).

<http://whc.unesco.org/en/managing-cultural-world-heritage/>

*Gamini Wijesuriya, ICCROM, Jane Thompson, ICCROM Consultant, Christopher Young.*

- Management Plans for World Heritage Sites. A practical guide.

[https://www.unesco.de/fileadmin/medien/Dokumente/Bibliothek/Management\\_Plan\\_for\\_World\\_Heritage\\_Sites.pdf](https://www.unesco.de/fileadmin/medien/Dokumente/Bibliothek/Management_Plan_for_World_Heritage_Sites.pdf)

*Birgitta Ringbeck. German Commission for UNESCO.*

- The Old and New Towns of Edinburgh World Heritage Site. Management Plan 2011-2016.

[http://www.ewht.org.uk/uploads/downloads/WHS\\_Management\\_Plan%202011.pdf](http://www.ewht.org.uk/uploads/downloads/WHS_Management_Plan%202011.pdf)

*The Joint ICOMOS / UNESCO Mission to Edinburgh.*

*Fiona Hyslop MSP, Cabinet Secretary for Culture and External Affairs. The Right Honourable George Grubb, Lord Lieutenant and Lord Provost of Edinburgh. Professor Charles McKean, Chairman Edinburgh World Heritage Trust.*

- The City of Bath. World Heritage Site. Management Plan 2010-2016.

<http://www.bathworldheritage.org.uk/management-plan>

*Bath & North East Somerset Council.*

- Engineering Geology: promote traditional knowledge and associated practices in the protection Of UNESCO World Heritage Sites

<http://www.iaeg.info/iaeg2014/wp-content/uploads/presentation/18/margottini/Player.html>

*Claudio Margottini, Vice President -International Consortium on Landslides (Kyoto Univ.-Japan)- ISPRAServ. Geologico d'Italia- UNESCO.*

- Managing Natural World Heritage.

<http://whc.unesco.org/en/managing-natural-world-heritage/>

*Sue Stolton and Nigel Dudley, Equilibrium Research and IUCN World Commission on Protected Areas (WCPA) with Peter Shadie, Odonata Consulting and IUCN Senior Advisor World Heritage*

- Primeval Beech Forests of the Carpathians and the Ancient Beech Forests of Germany. Overview.

<http://whc.unesco.org/en/list/1133>

<http://cbr.nature.org.ua/whc/whc.htm>

## V. Participants of the program

Experts and management team of architectural and historic, historical and cultural reserves of Ukraine, representatives of State and Local Cultural Heritage of historic cities in Ukraine, experts of research, design and production organizations, executives of local and central authorities, professors and scholars engineering universities, graduate students.

## VI. Dates and place of the event

Dates 2016-2018,

Venue: National Preserve St. Sophia Cathedral, Kiev, st. Volodymyrska, 24, tel.: +380 (044) 278-26-20; E-mail: sophia.kievsk@gmail.com

## VII. Expected results

Increasing the level of scientific and technological research and studies design solutions to address the key challenges to reduce risks from disasters at World Heritage Sites.

*Honorary President of the Charitable organization  
“Charitable Fund of Saint Sofia”*

*Ph.D., Corresponding Member of Construction Academy of Ukraine,  
Honorary Member of the Ukrainian Committee of ICOMOS, UNESCO  
Yu. Maslov, Ph.D.*

## ПРАВИЛА ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ АВТОРІВ

Дані Правила складено на основі “Вимог ВАК до наукової статті, опублікованої у фаховому виданні” (<http://lib.exdat.com/docs/740/index-3150.html>) а також “Положення про електронні наукові фахові видання” (<http://vak.org.ua/fv/>).

**Представлення рукописів.** Рукописи надсилають до редакції в електронному вигляді за адресою: [o.kudriashov@ujrs.org.ua](mailto:o.kudriashov@ujrs.org.ua). До рукопису додають акт експертизи установи де виконана робота, відомості про авторів (ім'я, по-батькові, прізвище, посада, науковий ступінь та вчене звання, повна офіційна назва установи, адреса, телефон та електронна адреса відповідального автора), а також “Авторську згоду” за підписом відповідального автора (скан у форматі JPEG або PDF) (Додаток).

**Загальні вимоги.** Стаття може бути написана українською, російською або англійською мовами і повинна мати резюме (abstract), а також ключові слова (keywords). Анотація повинна висвітлювати результати досліджень а не перелік питань, що розглядаються у статті. Рекомендується розбити матеріал статті на розділи (вступ, висновки і т. ін.). У кінці рукопису розміщують список використаних джерел, а після нього — назву статті, ініціали та прізвища авторів, резюме та ключові слова двома мовами, (російською та англійською, українською та англійською, українською та російською, відповідно до мови статті).

**Оформлення рукопису.** Формат документу — Word 97–2003. Текст форматують *без переносів, абзацних відступів та інтервалів до та після рядка*. Формат графічних додатків — TIFF, розрізнення (фактичне!) 300 dpi/inch у форматі документа. Формат документу — A4.

### Структура рукопису:

- УДК
- Назва статті
- Ініціали та прізвище автора (авторів)
- Повна офіційна назва установи (установ) де виконано роботу, місто, країна (якщо автори працюють у різних установах *перед* назвою установи та *після* прізвища автора ставлять однакову цифру (верхній індекс)
- Електронна адреса та/або тел./факс відповідального автора. Перед нею та після прізвища відповідального автора ставлять астериск (зірочку)
- Резюме мовою статті (слово “Резюме” не пишуть)
- Ключові слова мовою статті
- Знак авторського права, ініціали та прізвища авторів. Рік
- Текст статті
- Список літератури (“Література”)
- Назва статті, ініціали та прізвища авторів, резюме, а також ключові слова двома мовами окрім мови статті (мається на увазі, що йдеться про три мови: українську, російську та англійську)

**Текст.** Якщо Ви пишете українською мовою зверніть увагу на відмінювання прізвищ які закінчуються на приголосний або **о**. Адже жіночі прізвища не відмінюються, а чоловічі обов'язково відмінюються.

**Формули** набирайте у редакторі Microsoft Equation і не вставляйте їх у текст як зображення. Будь ласка, не користуйтеся програмою Math Type.

**Таблиці.** Треба всіляко прагнути аби таблиці мали книжну орієнтацію. Формат таблиць — MS Word..

**Ілюстрації** (знімки, діаграми, схеми) вмонтовують у документ Word і представляють їх *окремими файлами* у форматі TIFF. Розрізнення — 300 dpi/inch у масштабі публікації. Рисунки повинні мати умовні позначення, наприклад, у вигляді прямокутників з цифрою поруч. *Назву рисунка та пояснювальні надписи треба винести у текст.*

**Література.** Список літератури складають відповідно до ДСТУ ГОСТ 7.1:2006.

Посилання на літературне джерело подають у квадратних дужках. У дужках вказують порядковий номер роботи, яку включено у список джерел.

*Список літератури складають за абеткою (алфавітом).*

## ДОДАТОК

### Авторська згода

Автори, направляючи рукопис у редакцію Українського журналу дистанційного зондування Землі, погоджуються з тим, що редакції передаються права на захист і використання рукопису (журналу переданого до редакції матеріалу, в т. ч. такі охоронювані об'єкти авторського права як фотографії автора, рисунки, схеми, таблиці тощо), в тому числі на відтворення у пресі та мережі Інтернет, на поширення, на переклад рукопису на будь-які мови, експорту та імпорту примірників журналу зі статтею авторів з метою розповсюдження, на доведення до загального відома. Зазначені вище права автори передають редакції без обмеження терміну і на території всіх країн світу без обмеження в т. ч. на території України.

Автори гарантують наявність у них виняткових прав на використання переданого редакції матеріалу. Редакція не несе відповідальності перед третіми особами за порушення даних авторами гарантій. За Авторами залишається право використання їх опублікованого матеріалу, його фрагментів і частин в особистих, у тому числі наукових і освітянських цілях. Права на рукопис вважаються переданими Авторами редакції з моменту підписання до друку випуску журналу, в якому він публікується. Передрук матеріалів, опублікованих у журналі, іншими фізичними та юридичними особами можливий тільки зі згоди редакції, з обов'язковим зазначенням випуску журналу, в якому було опубліковано матеріал.

*Я, (відповідальний автор), підтверджую, що я достатньою мірою брав участь у розробці концепції/дизайну цієї роботи, аналізі даних, а також написанні рукопису для прийняття відповідальності за це. Я ознайомлений з остаточним варіантом рукопису і затвердив його для публікації. Жодного рукопису з аналогічним змістом не було опубліковано під моїм авторством і не розглядається для публікації в інших виданнях. Я також ознайомлений з вищенаведеними умовами опублікування рукопису та приймаю їх.*

*Дата, підпис*

## ПРАВИЛА И РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ АВТОРОВ

Данные Правила составлены на основе “Требований ВАК Украины к научной статье, опубликованной в научном издании” (<http://lib.exdat.com/docs/740/index-3150.html>), а также “Положения об электронных научных изданиях” (<http://vak.org.ua/fv/>).

Редакция рассматривает и принимает материалы на украинском, русском и английском языках с соблюдением авторских прав и этических норм научной публикации.

**Представление рукописей.** Рукописи представляют в редакцию в электронном виде по адресу: [o.kudriashov@ujrs.org.ua](mailto:o.kudriashov@ujrs.org.ua).

К рукописи прилагается акт экспертизы учреждения, где выполнена работа, сведения об авторах (учреждения, должности, научные степени и ученые звания), а также “Авторское соглашение” за подписью ответственного автора (скан в формате JPEG/PDF см. Приложение).

**Общие требования.** Статья может быть написана на украинском, русском или английском языках и должна иметь резюме (abstract), а также ключевые слова (keywords). Аннотация должна содержать основные результаты исследований, а не перечень вопросов, рассмотренных в статье. Рекомендуется разбить материал статьи на разделы (введение, выводы и т. д.). В конце рукописи размещают список использованной литературы, а после него — название статьи, инициалы и фамилии авторов, резюме и ключевые слова на двух языках (русском и английском, украинском и английском, или на украинском и русском, соответственно языку, на котором написана статья).

**Оформление рукописи.** Формат документа — Word-97–2003. Формат графических приложений — TIFF, разрешение — 300 dpi/inch. Размер страницы — A4. Текст форматируют *без переносов, аб-*

*защных отступов, выступов и интервалов до и после строки.*

### Структура рукописи

- УДК
  - Название статьи (желательно без аббревиатур)
  - Инициалы и фамилия автора (авторов)
  - Официальное название учреждения (учреждений) где выполнена работа, город, страна
- Если авторы работают в разных учреждениях, *перед* названием учреждения и *после* фамилии ставят одинаковую цифру (верхний индекс)
- Электронный адрес или тел/факс ответственного автора. Перед ним и после фамилии ставят астериск (звездочку)
  - Резюме на языке статьи (слово “Резюме” не пишут)
  - Ключевые слова на языке статьи
  - © (знак авторского права), инициалы и фамилии автора/авторов. Год
  - Текст статьи
  - Список литературы (“Литература”)
  - Название статьи, инициалы и фамилии авторов, резюме (abstract), а также ключевые слова на двух языках (русском и английском; русском и украинском, украинском и английском соответственно).

**Таблицы, формулы.** Формат таблиц в тексте — MS Word. Формулы следует набирать в редакторе *Microsoft Equation* и не вставлять их в текст в виде изображений.

Пожалуйста, не набирайте формулы в программе Math Type.

**Иллюстрации.** Иллюстрации (снимки, схемы, диаграммы) вмонтируют в документ Word и представляют *отдельными файлами* в формате TIFF с разрешением не меньшим 300 dpi/inch в масштабе публикации. Рисунки должны иметь условные зна-

ки — например в виде “кирпичиков” с цифрой справа. *Название рисунка и легенду нужно вынести в текст.*

**Литература.** Список литературы составляют в соответствии с ДСТУ ГОСТ 7.1:2006. Ссылки на ли-

тературный источник в тексте подают в квадратных скобках. Список литературы делают *по алфавиту*. В алфавитном порядке сначала идут источники на русском и украинском языках, а после — на иных языках — в порядке латинского алфавита.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### **Авторское соглашение (документ должен быть подписан ответственным автором публикации)**

Авторы, направляя рукопись в редакцию “Украинского журнала дистанционного зондирования Земли”, соглашаются с тем, что редакции передаются права на защиту и использование рукописи (переданного в редакцию журнала материала, в т. ч. такие охраняемые объекты авторского права как фотографии автора, рисунки, схемы, таблицы и т. д.), в том числе на воспроизведение в печати и в сети Интернет; на распространение; на перевод рукописи на любые языки; экспорта и импорта экземпляров журнала статье авторов с целью распространения, на доведение до всеобщего сведения. Указанные выше права авторы передают редакции без ограничения срока их действия и на территории всех стран мира без ограничения, в т. ч. на территории Украины. Авторы гарантируют наличие у них исключительных прав на использование переданного редакции материала. Редакция не несет ответственности перед третьими лицами за нарушение данных авторами гарантий. За авторами сохраняется право использования опубликованного материала, его фрагментов и частей в личных, в том числе научных и образовательных целях. Права на рукопись считаются переданными авторами редакции с момента подписания в печать выпуска журнала, в котором он публикуется. Перепечатка материалов, опубликованных в журнале, другими физическими и юридическими лицами возможно только с согласия редакции, с обязательным указанием выпуска журнала, в котором был опубликован материал.

*Я, (ответственный автор), подтверждаю, что я в достаточной степени участвовал в разработке концепции/дизайна этой работы, анализе данных, а также написании рукописи для принятия ответственности за это. Я ознакомлен с окончательным вариантом рукописи и утвердил его для публикации. Ни одна рукопись с аналогичным содержанием не была опубликована под моим авторством и не рассматривается для публикации в других изданиях. Я также ознакомлен с вышеуказанными условиями опубликования рукописи и принимаю их.*

*Дата, подпись*