

ISSN 2311-0902 (print)
ISSN 2616-7271 (online)

Номер 22
Issue 22

2018

УКРАЇНСЬКИЙ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ

Ukrainian Hydrometeorological Journal

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Ministry of Education and Science of Ukraine

ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Odessa State Environmental University

**У К Р А Ї Н С Ь К И Й
Г І Д Р О М Е Т Е О Р О Л О Г І Ч Н И Й
Ж У Р Н А Л**

Ukrains'kij Gidrometeorologičnij Žurnal

Ukrainian Hydrometeorological journal

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

Scientific Journal

Друкується 2 рази на рік

Issued: 2 times a year

Заснований у 2005 р.

Founded in 2005 y.

№ 22, 2018

Одеса

ТЕС

2018

Головний редактор

Ю. С. Тучковенко, д-р геогр. наук, проф.,
проректор з наукової роботи ОДЕКУ (Одеський
державний екологічний університет)

Заступники головного редактора

Н. С. Лобода, д-р геогр. наук, проф., зав. кафедри
гідроекології та водних ресурсів ОДЕКУ;
редактор розділу : Гідрологія суші,
водні ресурси, гідрохімія

Т. А. Сафранов, д-р геол.-мінер. наук, проф.,
зав. кафедри екології та охорони довкілля ОДЕКУ;
редактор розділу : Конструктивна географія і
раціональне використання природних ресурсів

В. М. Хохлов, д-р геогр. наук, проф.,
проректор з навчально-методичної роботи ОДЕКУ;
редактор розділів : Метеорологія
і кліматологія, Агриметеорологія

Члени редакційної колегії

А. А. Бакланов, д-р фіз.-мат. наук, проф. метеорології,
геофізики, ст. наук. співроб. Датського метеорологічного інституту;
асоційований проф. Інституту Нільса Бора Копенгагенського
університету (Данія); **М. А. Берлінський**, д-р геогр. наук, проф.,
зав. кафедри океанології та морського природокористування
ОДЕКУ; **В. В. Гребін**, д-р геогр. наук, проф. кафедри гідрології
та гідроекології Київського національного університету ім. Тараса
Шевченка; **С. С. Зілітінкевич**, д-р фіз.-мат. наук, проф.
метеорології, геофізики, директор з досліджень, відділ наук про
атмосферу, університет Гельсінкі; дослідницький проф., Фінський
метеорологічний інститут (Фінляндія); **С. В. Іванов**, д-р геогр.
наук, старш. наук. співроб., пров. наук. співроб. науково-дослідної
частини ОДЕКУ; **М. І. Кульбіда**, канд. геогр. наук, директор
Українського гідрометеорологічного центру, м. Київ;
О. Макарінський, PhD в географії, пров. наук. співроб.,
Австралійський інститут морських наук, дослідницький центр
"Арафура-Тімор" (Австралія); **Д. Макарінська**, PhD у геофізиці,
Служба якості води/ Відділ водних ресурсів, Департамент екології
та природних ресурсів (Австралія); **В. А. Овчарук**, д-р геогр. наук,
доцент, директор Гідрометеорологічного інституту ОДЕКУ;
А. М. Польовий, д-р геогр. наук, проф., зав. кафедри
агриметеорології та агроекології ОДЕКУ; **С. М. Степаненко**, д-р
фіз.-мат. наук, проф., ректор ОДЕКУ; **Ж. Р. Шакірзанова**, д-р
геогр. наук, проф., зав. кафедри гідрології суші ОДЕКУ.

Відповідальний секретар

О. І. Маруніч, співробітник редакційно-видавничого відділу
ОДЕКУ.

“Український гідрометеорологічний журнал” є спеціалізованим науковим виданням, в якому публікуються результати фундаментальних та прикладних наукових досліджень у напрямках “Гідрометеорологія” (метеорологія і кліматологія; агриметеорологія; гідрологія суші, водні ресурси, гідрохімія; океанологія) та “Конструктивна географія і раціональне використання природних ресурсів” Наук про Землю з метою інформування про сучасні наукові досягнення українських та зарубіжних дослідників, розвитку вищої освіти, оприлюднення результатів наукових досліджень з теоретичних та прикладних аспектів вирішення актуальних проблем у відповідних або суміжних областях науки.

Журнал призначений для науковців, науково-педагогічних працівників закладів вищої освіти, студентів, аспірантів та докторантів, фахівців у галузі природничих наук за спеціальністю Науки про Землю.

Ukrainian Hydrometeorological Journal publishes the original results of fundamental and applied research in the fields of ‘Hydrometeorology’ (Meteorology and Climatology; Agricultural Meteorology; Hydrology and Water Resources, Hydrochemistry; Oceanography) and ‘Constructive Geography and Rational Use of Natural Resources’ in the Earth Sciences. The objective of this Journal is to distribute information on modern scientific achievements of Ukrainian and foreign researchers, promote development of higher education, and publish original research works on theoretical and applied aspects of finding solution to the topical problems in both the subject and the related fields of science.

The Journal is intended to be used by lecturers of higher education institutions, students, postgraduate students, researchers and experts in the field of Natural Sciences under the speciality of Earth Sciences.

Editor-in-Chief

Yurii S. Tuchkovenko, D. Sc. in Geography, Prof.,
Vice-Rector for Research of OSENU (Odessa State
Environmental University), Ukraine

Deputies of Editor-in-Chief

Valeriy M. Khokhlov, D. Sc. in Geography, Prof.,
Vice-Rector for Educational Methodology of OSENU, Ukraine;
Editor of the sections : Meteorology and Climatology,
Agricultural Meteorology

Nataliya S. Loboda, D. Sc. in Geography, Prof.,
Head of the Department of Hydroecology
and Water Resources of OSENU, Ukraine;
Editor of the section : Hydrology,
Water Resources, Hydrochemistry

Tamerlan A. Safranov, D. Sc. in Geology and Mineralogy,
Prof., Head of the Department of Ecology and
Environmental Protection of OSENU;
Editor of the section : Constructive Geography
and Rational Use of Natural Resources

Members of the Editorial Board

Alexander A. Baklanov, D. Sc. in Physics and Mathematics, Prof. of
Meteorology, Geophysics, Senior Scientist / Project Leader at Danish
Meteorological Institute, Research Department; Adjoint Professor at the
Niels Bohr Institute of the University of Copenhagen, Denmark;
Mykola A. Berlinskyi, D. Sc. in Geography, Prof., Head of the
Department of Oceanography and Marine Nature Management of
OSENU, Ukraine; **Vasyl V. Grebin**, D. Sc. in Geography, Prof. of the
Department of Hydrology and Hydroecology of Taras Shevchenko
National University of Kyiv, Ukraine; **Sergiy V. Ivanov**, D. Sc. in
Geography, Senior Researcher, Lead Researcher of the Research
Division of OSENU, Ukraine; **Mykola I. Kulbida**, PhD in Geography,
Director of Ukrainian Hydrometeorological Centre, Kyiv, Ukraine; **Oleg
Makarynskyy**, PhD in Geography, Lead Researcher, Australian
Institute of Marine Science, Arafura Timor Research Facility, Australia;
Dina Makarynska, PhD in Geophysics, Aquatic Health Unit / Water
Resources Division, Department of Environment and Natural Resources,
Australia; **Valeriya A. Ovcharuk**, D. Sc. in Geography, Assoc. Prof.,
Director of the Hydrometeorological Institute of OSENU, Ukraine;
Anatolii M. Polovyi, D. Sc. in Geography, Prof., Head of the
Department of Agrometeorology and Agroecology of OSENU, Ukraine;
Zhanetta R. Shakhirzanova, D. Sc. in Geography, Prof., Head of the
Department of Land Hydrology of OSENU, Ukraine; **Sergiy M. Stepanenko**, D. Sc. in Physics and Mathematics, Prof.,
Rector of OSENU, Ukraine; **Sergej S. Zilitinkevich**, D. Sc. in Physics
and Mathematics, Prof. of Geophysics, Meteorology; Director of
Research, Division of Atmospheric Sciences, University of Helsinki;
Research Professor, Finnish Meteorological Institute, Finland.

Executive Secretary

Oleksandra I. Marunych, Officer of the Editorial and Publishing
Department of OSENU.



ЗМІСТ

CONTENTS

Метеорологія і кліматологія

Meteorology and Climatology

- Грушевський О. М., Міщенко Н. М., Мансарлійський В. Ф., Бурцева В. М.* Про можливості діагнозу і прогнозу глибокої конвекції в оперативній діяльності **5** *Hrushevskiy O. M., Mishchenko N. M., Mansarliyskiy V. F., Burtseva V. M.* On the opportunities of diagnosis and forecast of deep convection during operational activity
- Івус Г. П., Гончарова Л. Д., Косолапова Н. І.* Просторово-часовий розподіл атмосферних опадів на території Одеської області на початку ХХІ століття **16** *Ivus H. P., Goncharova L. D., Kosolapova N. I.* Spatio-temporal distribution of atmospheric precipitation in the Odesa Region at the beginning of the 21st century
- Івус Г. П., Озимко Р. Р., Агайар Е. В., Міщенко Н. М., Семергей-Чумаченко А. Б.* Циркуляційні умови формування сильних опадів на Закарпатті взимку **28** *Ivus H. P., Ozymko R. R., Agayar E. V., Mishchenko N. M., Semerhei-Chumachenko A. B.* Circulation conditions of winter time heavy precipitation formation in Transcarpathia
- Мартазинова В. Ф., Щеглов А. А.* Характер екстремальних осадков начала ХХІ столетия на территории Украины **36** *Martazinova V. F., Shcheglov O.* Nature of extreme precipitation over Ukraine in the 21st century
- Савчук С. В., Ювченко Н. М., Тимофеев В. Є.* Районування України по впливу екстремальних значень максимальної температури повітря у теплий та холодний періоди року **46** *Savchuk S. V., Yuvchenko N. N., Timofeev V. E.* Regionalization of Ukraine based on the influence of extreme values of maximum air temperature during warm and cold periods of the year
- Сліже М. О.* Порівняльний аналіз повторюваності суховіїв в Україні в середині ХХ і на початку ХХІ століття **57** *Slizhe M. O.* Comparative analysis of frequency of dry winds occurrence in Ukraine in the mid-20th century and at the beginning of the 21st century

Агрометеорологія

Agricultural Meteorology

- Кривобок А. А., Кривошеин А. О., Адаменко Т. І.* Особенности технологической адаптации системы CGMS для мониторинга сельскохозяйственных посевов в Украине **64** *Kryvobok O. A., Kryvoshein O. O., Adamenko T. I.* Peculiarities of technological adaptation of the CGMS system for agricultural crops monitoring in Ukraine

Гідрологія суші, водні ресурси, гідрохімія

Hydrology, Water Resources, Hydrochemistry

- Шакірзанова Ж. Р., Бойко В. М., Гопцій М. В., Тодорова О. І., Докус А. О., Сербова З. Ф., Швець Н. М.* Метод прогностичної оцінки характеристик максимального стоку річок басейну Дніпра у весняний період року **80** *Shakirzanova Zh. R., Boyko V. M., Goptsiy M. V., Todorova E. I., Dokus A. A., Serbova Z. F., Shvets N. N.* Method of forecasting assessment of the maximum runoff characteristics of the Dnipro Basin's rivers in spring season

Океанологія

Oceanography

- Гаврилюк Р. В., Ювченко Н. М.* Згінно-нагінні коливання рівня моря в портах Южний і Чорноморськ та оцінка можливості їх прогнозування **100** *Gavrilyuk R. V., Yuvchenko N. M.* Wind-induced sea level fluctuations at Yuzhnyi and Chornomorsk sea ports and evaluation of the possibility of their forecast
- Іванов С. В., Рубан І. Г., Тучковенко Ю. С.* Преимущества использования атмосферной мезомасштабной модели Harmonie для воспроизведения динамики вод в прибрежных районах моря **107** *Ivanov S. V., Ruban I. G., Tuchkovenko Yu. S.* Advantages of using the Harmonie atmospheric mesoscale model for simulating water dynamics in offshore area

- Щупцов О. А.* Перспективи обміну морською технологією в галузі еколого-океанологічних досліджень 115 *Shchypstov O. A.* Prospects of exchange of marine technology in the field of ecological and oceanological research

Конструктивна географія і раціональне використання природних ресурсів

Constructive Geography and Rational Use of Natural Resources

- Приходько В. Ю., Сафранов Т. А., Шанина Т. П.* Сравнительная оценка различных методов обращения с твердыми бытовыми отходами по величине эмиссии парниковых газов 124 *Prykhodko V. Yu., Safranov T. A., Shanina T. P.* Comparative assessment of different municipal solid waste treatment methods based on greenhouse gases emission values
- Чугай А. В., Деревенська О. В.* Оцінка рівня забруднення вод озера Ялпуг як об'єкта рибогосподарського призначення 133 *Chugai A. V., Derevenska O. V.* Estimation of pollution level of lake Yalpuh as an object of fishing purpose

УДК:551.509:551.558.1

ПРО МОЖЛИВОСТІ ДІАГНОЗУ І ПРОГНОЗУ ГЛИБОКОЇ КОНВЕКЦІЇ В ОПЕРАТИВНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ

О. М. Грушевський¹, Н. М. Міщенко¹,
В. Ф. Мансарлійський¹, В. М. Бурцева²

¹Одеський державний екологічний університет,

вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, minatami@ukr.net

²АМСЦ, Кривий Ріг, вул. Отто Брозовського, 83, Кривий Ріг, Дніпропетровська, 50086, ukdr@i.ua

На прикладі розвитку конвективного шторму в липні 2017 року у м. Кривий Ріг розглядається структура кількісних характеристик атмосфери при глибокій конвекції та пропонуються підходи до прогнозування інтенсивних конвективних явищ.

Аналіз параметрів конвекції для різних типів апроксимації підйому повітряної частинки дав змогу врахувати характеристики шару перемішування і його вплив на формування найбільш сприятливих для конвекції умов.

Залучення прогностичних даних чисельного моделювання дозволяє визначити напрямок розвитку процесу з необхідною завчасністю. За прогностичними даними профілю вітру, інтенсивності адвекції температури та питомої вологи повітря визначена тенденція змін чинників, що зумовлюють збільшення інтенсивності конвекції та її глибини.

Ключові слова: конвекція, параметри конвекції, індекси нестійкості, конвективні явища, апроксимація, підйом частинки.

ВСТУП

Прогноз конвективних явищ, які у переважній більшості є небезпечними для різних галузей економіки, у тому числі авіаційних перевезень, завжди привертая особливу увагу дослідників. Це зумовлено, насамперед, тим, що з ними пов'язані найбільші збитки, які зумовлюються погодними умовами.

Зупинимось на головних особливостях прогнозу конвективних явищ у оперативній діяльності. Загальновідомо, що вони ґрунтуються на прогнозуванні сприятливих для конвекції умов, які на цей час вивчені досить добре. Проте при прогнозуванні конвективних явищ підсіточного масштабу (шквали, мікропориви, смерчі) синоптик відчуває труднощі через те, що всі загально-вживані методики не дають відповіді де і коли саме виникне конвективне явище. Проблема вирішується за допомогою радіолокаційних спостережень, проте питання забезпеченості радіолокаторами оперативних метеопідрозділів і прийнятної для споживача завчасності попередження (для прикладу, американська метеослужба за останні 10 років досягла збільшення завчасності попередження смерчу з 6 до 15 хвилин) залишаються відкритими.

Вести мову про прямі ефективні методи прогнозування конвективних явищ підсіточного масштабу у вітчизняній оперативній практиці

поки що передчасно. Саме тому, будь-яке розширення можливостей прогнозування умов, сприятливих для розвитку глибокої конвекції, є досить затребуваним у оперативних метеопідрозділах.

Метою цього дослідження є обґрунтування методики ідентифікації та прогнозування метеорологічних умов, які «сигналізують» про високий потенціал розвитку конвективних явищ, що зумовлюють руйнівні наслідки.

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

На цей час існує значна кількість методів прогнозу кожного з явищ, зумовлених конвекцією [1-5]. Суттєві успіхи у цьому напрямку досягнуто і у чисельному моделюванні конвекції та її складових, де існує різноманіття схем параметризації, що входять до атмосферних моделей (наприклад, схеми Аракави-Шуберта, Каїна-Фрітша, ансамбль Грела-Девені, ансамбль Грела 3D тощо).

Кожен з цих методів і схем, цілком природно, має свої переваги і недоліки, проте, розглядаючи ефективність їх використання у оперативній практиці головну увагу, насамперед, необхідно приділити таким факторам як доступність вихідних даних, наявність необхідного обладнання для ведення розрахунків та ефективність їх результатів у створенні кінцевого формулювання

прогнозу з необхідною для споживача завчасністю.

Протягом останнього десятиліття у оперативній практиці закордонних метеослужб і наукових установ, наприклад [4, 6], набуло поширення використання кількісних характеристик конвекції (температурно-вологісних параметрів, індексів зсуву, стандартних рівнів конвекції та розширених параметрів), які, у переважній більшості випадків, є емпіричними [2]. Їх критеріальні значення помітно варіюються у різних джерелах і спеціалізованих програмних забезпеченнях (наприклад, RAOB, SHARPr), що вносить певні непорозуміння у методику формулювання прогнозу. У вітчизняній оперативній практиці досвід застосування зазначених кількісних характеристик та нових методик досить обмежений через вкрай низькі темпи впровадження відповідного програмного забезпечення, верифікації і адаптації критеріальних значень параметрів, тому будь-який досвід у цьому напрямку для території України (особливо для прогнозування погодних явищ, які спричиняють матеріальні збитки) є актуальною задачею.

ОПИС І АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

В якості вихідних даних використовувалися карти приземного аналізу та баричної топографії за 00 та 12 UTC 28.07.2017 р., дані чисельного моделювання (GFS) з просторовим розділенням $0,25^\circ \times 0,25^\circ$, дані радіозондування за 12 UTC 28.07.2017 р. на ст. Кривий Ріг.

Перед розглядом причин, що зумовили виникнення низки конвективних явищ і часткові помилки в прогнозі зазначимо, що важливим моментом аналізу будуть не лише висновки з того спектру метеорологічної інформації, яка є доступною у оперативній роботі вітчизняних метеопідрозділів, а й низки параметрів конвекції при різних схемах її апроксимації, які широко застосовуються у метеослужбах країн Євросоюзу та США.

Погодні умови пункту прогнозу у другій половині дня 28.07.17 зумовлювалися впливом теплового сектору циклону з мінімальним тиском над центром України, який рухався з південного сходу на північний захід. Характерною особливістю синоптичної ситуації є наявність у теплому секторі циклону осередків злив, які синоптики традиційно (хоча і неправильно) пояснюють наявністю фронту оклюзії. В період з 12.00 до 15.20 год. за місцевим часом на ст. Кривий Ріг відзначалися гроза та злива, а у Долгинцевському районі міста градом та проходженням смерчу

на 16 вулицях було пошкоджено дахи 81 житлового будинку та 12 господарчих споруд, газопровод та лінії електропередач, повалено 35 дерев, залишилися без електропостачання 22 населених пункти районів міста [7].

Аналіз можливості розвитку конвекції та пов'язаних з нею явищ починається з оцінки синоптиком типу стратифікації атмосфери, який, як впливає з рис. 1, був нестійким. Зауважимо, що перевагою прогнозиста у цьому випадку була наявність зондування за 12 UTC, коли поточний стан атмосфери точніше відображує потенціал розвитку конвекції.

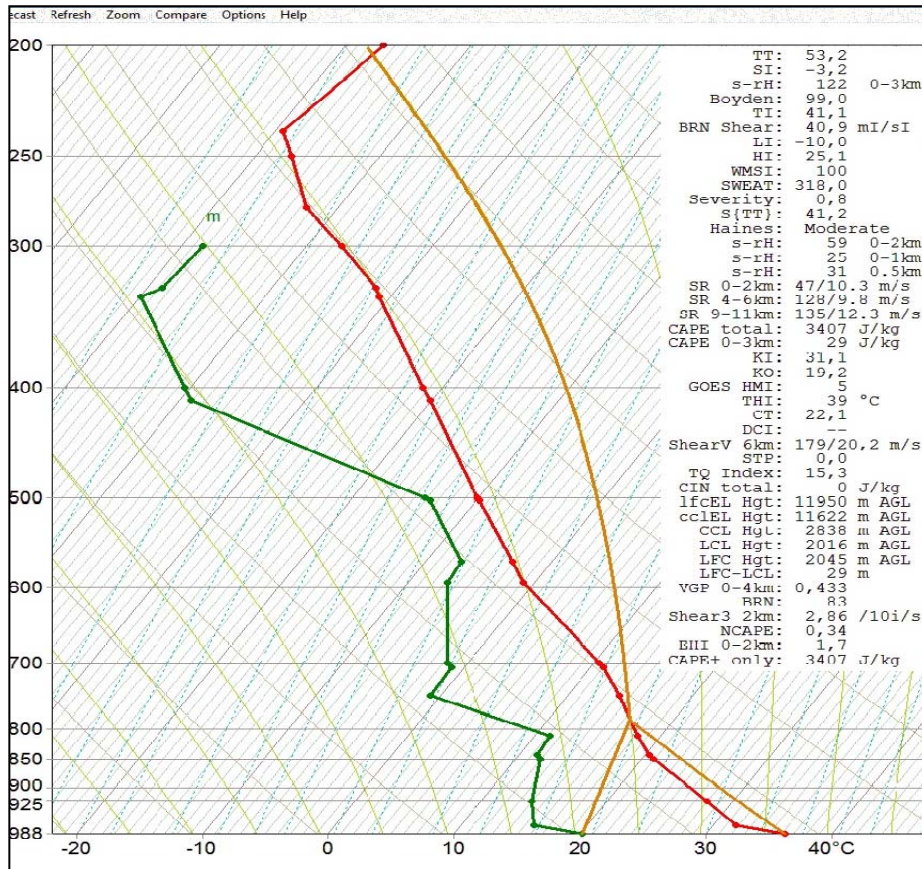
Отже, нестійка стратифікація зі значною площею енергії нестійкості при значенні $CAPE = 3407$ Дж/кг за даними АРМ синоптика та значенням $KI = 31,1$ дають підстави прогнозувати такі явища як гроза та злива, навіть незважаючи на значні дефіцити вологи у шарі конвекції (за винятком прошарку між рівнями 600 та 500 гПа).

Зазначимо, що те значення *Convective Available Potential Energy* (скорочено *CAPE*), яке надходить у АРМ синоптика, має відношення до так званого *Surface Based CAPE* (скорочено *SBCAPE*), коли вважається, що значення температури повітря і температури точки роси біля поверхні землі обираються у якості вихідних характеристик для частинки, що буде підійматися до рівня конвекції. Або, якщо вужче, *SBCAPE* – це *CAPE*, який одержується, якщо зазначена частинка саме те, що втягується у висхідний потік.

Проте з оперативної практики добре відомо, що початкові характеристики частинки (особливо у денні години) будуть реалістичнішими, коли вони осереднені у нижньому, найбільш перемішаному шарі, глибина якого коливається у часі і просторі. Таке осереднення робить нашу апроксимацію більш «фізичною», через те, що характеристики частинки будуть змінюватися разом з її проходженням через граничний шар атмосфери. Ця апроксимація підйому частинки реалізується через розрахунок *Mean-Layer CAPE (MLCAPE)* та низки інших кількісних характеристик конвекції, які від нього залежать. Зазначений підхід зумовлює зменшення *SBCAPE* та певну зміну решти характеристик (наприклад, *LCL (Lifted Condensation Level)*, *LFC (Level of Free Convection)*, *LCL-LFC*, *CIN (Convective Inhibition)*, *LI (Lifted Index)*, *TI (Thompson Index)*), але дозволяє досягнути осереднення метеовеличин по глибині граничного шару, моделюючи таким чином ефекти втягування. Отже, з урахуванням денного прогріву,

часу утворення смерчу та низки інших конвективних явищ у післяполуденні години ми у подальших викладках порівнюватимемо кількісні характеристики конвекції при двох (*SB* та *ML*)

типах підйому, зважаючи на те, що застосування наближення *MostUnstable (MU)* у цьому випадку є тотожним *SB* (табл. 1).



a)

Level	Pres (mb)	CAPE (layer)	CAPE (total)	Meters (AGL)	Meters (MSL)
1	988	0.0	0	0	100
2	950	0.0	0	353	453
3	900	0.0	0	831	931
4	850	0.0	0	1333	1433
5	800	0.0	0	1854	1954
6	750	3.6	4	2404	2504
7	700	24.6	28	2983	3083
8	650	68.3	96	3588	3688
9	600	129.6	226	4241	4341
10	550	191.3	417	4931	5031
11	500	243.0	660	5677	5777
12	450	303.4	964	6474	6574
13	400	368.1	1332	7360	7460
14	350	441.6	1774	8326	8426
15	300	529.5	2303	9417	9517
16	250	681.7	2985	10616	10716
17	200	422.2	3407	12037	12137
18	150	0.0	3407	13862	13962
19	100	0.0	3407	16433	16533

b)

Рис. 1 – Аерологічна діаграма (a) та лістинг індексу CAPE (б) за 12 UTC 28.07.2017 р. на ст. Кривий Ріг (33791)

Таблиця 1 – Параметри конвекції, індекси нестійкості та стандартні рівні конвекції, розраховані у апроксимаціях *SBCAPE*, *MUCAPE* та *MLCAPE* (програме забезпечення RAOB) за 12 UTC 28.07.2017 р. на ст. Кривий Ріг (33791)

Significant Indices & Parameter Comparisons				

Lift type = LFC		Virtual correction = no		
=====				
	SB	MU	ML	
	SFC-Based	Most-Unstable	Mean-Layer	
	988 mb	988 mb	938 mb	
=====				
CAPE Plus(+)	3407	3407	1196	J/kg
CAPE 0-3km	29	29	0	J/kg
CIN Total	0	0	-142	J/kg
NCAPE	0,34*	0,34*	0,16*	
LI	-10*	-10*	-4	
TI	41,1*	41,1*	35,1*	
DCI	0	0	0	
BRN	83	83	29	
MVV	83	83	49	m/s
EHI 0-2km	1,7	1,7	0,6	
VGP 0-4km	0,433	0,433	0,257	
Craven 0-6km	-	-	24	
EL(lfc) Hgt	11950	11950	11167	m, AGL
LFC Hgt	2045*	2045*	3551	m, AGL
LCL Hgt	2016	2016	2281	m, AGL
LFC-LCL	29*	29*	1269	m

* indicates that data meets 'high' threshold values, if they exist in the Severe Weather Parameter Table (F12).

Результати розрахунку параметрів (ця ж таблиця), які залежать від типу підйому, у переважній більшості сигналізують нам про небезпеку утворення конвективних явищ (особливо при *SB* підйомі). Це підтверджується розрахунком повного переліку параметрів конвекції для *SB* наближення, де 24 з 49 параметрів вказують на сильний потенціал розвитку конвекції (табл. 2а).

Урахування часу утворення смерчу та інших конвективних явищ, як зазначалося вище, спонукає нас до аналізу параметрів конвекції для *ML* типу підйому, оскільки використання розглянутої вище апроксимації є доцільним для незбуреного («мілкого») граничного шару атмосфери і збільшує імовірність помилки «хибної тривоги».

Головним нюансом коректного застосування *ML* типу апроксимації підйому частинки є визначення товщини шару перемішування ΔH_{ML} від якого суттєво залежить подальший

розрахунок низки інших характеристик.

У табл. 2б наведені дані розрахунку при $\Delta H_{ML} = 100$ гПа, які враховують середні температурно-вологісні характеристики нижнього 100 - гектопаскального шару. Їх аналіз не дає змоги остаточно прийняти рішення про розвиток максимально інтенсивного конвективного шторму, оскільки на сильний потенціал конвекції вказують лише 16 з 48 параметрів.

Звернемо увагу на інший, принциповий для розвитку глибокої конвекції момент. Значення глибини шару змішування 100 гПа відповідає значенню $CIN \approx 140$ Дж/кг, що повністю унеможливує її розвиток. Зважаючи на те, що наше завдання є більш вузьким і детальним – визначити маркери, які б вказували нам на імовірність виникнення смерчу, факт наявності якого ми знаємо *aposteriori*, застосуємо обернений підхід.

Таблиця 2 – Параметри конвекції за даними радіозондування 28.07.2017 р. 12 UTC на ст. Кривий Ріг (33791) для *SB* (а) та *ML* (б) при $\Delta H_{ML} = 100$ мб типів підйому.

а)

б)

Parameter	Weak	Moderate	Strong	Parameter	Weak	Moderate	Strong
200 mb Wind Speed (kt)		62		200 mb Wind Speed (kt) (0+360) Dir:180		62	
500 mb Wind Speed (kt)			52	500 mb Wind Speed (kt) (0+360) Dir:165			52
700 mb Wind Speed (kt)			39	700 mb Wind Speed (kt) (0+360) Dir:135			39
700 mb Dewpoint Depression (C)			12,0	700 mb Dewpoint Depression (C)			12,0
850 mb Wind Speed (kt)	19			850 mb Wind Speed (kt) (0+360) Dir:135	19		
850 mb Dewpoint (C)		12,0		850 mb Dewpoint (C)		12,0	
700 - 500 mb lapse rate (C/km)		-7,6		700 - 500 mb lapse rate (C/km)		-7,6	
Boydén Index		97,9		Boydén Index		99,0	
BRN - Bulk Richardson No.			83	BRN - Bulk Richardson No.		29	
BRN Shear (m ² /s ²)			40,9	BRN Shear (m ² /s ²)			40,9
CAP Strength			0,1	CAP Strength	3,4		
CAPE 0-3 km, AGL	29			CAPE 0-3 km, AGL	0		
CAPE Total			3407	CAPE Total		1054	
Craven SigSvr Parameter (mixed-layer lift)		24		Craven SigSvr Parameter (mixed-layer lift)		24	
CT - Cross Totals		22,1		CT - Cross Totals		22,1	
DCAPE 6,0 km, AGL			1258	DCAPE 6,0 km, AGL			1258
Delta Theta-e (ePT)			29,4	Delta Theta-e (ePT)			29,4
EHI - Energy Helicity Index	1,7			EHI - Energy Helicity Index	0,6		
GOES HMI (Hybrid Microburst Index)	5			GOES HMI (Hybrid Microburst Index)	5		
Hail (cm)			0,64	Hail (cm)			0,64
Heat Burst Index	189			Heat Burst Index	476		
HI - Humidity Index			25,1	HI - Humidity Index			25,1
JI - Jefferson Index		30		JI - Jefferson Index		30	
K Index		31,1		K Index		31,1	
KO Index			-19,2	KO Index			-19,2
LFC-LCL height (m)			29	LFC-LCL height (m)		1269	
LFC - Level of Free Convection (mb)			782	LFC - Level of Free Convection (mb)		654	
LI - Lifted Index			-10,0	LI - Lifted Index		-4,0	
MDPI - Microburst Day Potential Index		1,0		MDPI - Microburst Day Potential Index		1,0	
NCAPE (Normalized CAPE)			0,34	NCAPE (Normalized CAPE)			0,16
S Index		41,2		S Index		41,2	
SCP - Supercell Composite Parameter	2,8			SCP - Supercell Composite Parameter	2,8		
Severity - Thunderstorm Severity Index			0,8	Severity - Thunderstorm Severity Index		2,3	
SHIP - Significant Hail Parameter		1,4		SHIP - Significant Hail Parameter		1,4	
SI - Showalter Index		-3,2		SI - Showalter Index		-3,2	
srH - storm-relative Helicity (0-3 km)		120		srH - storm-relative Helicity (0-3 km)		122	
STP - Significant Tornado Parameter		-0,1		STP - Significant Tornado Parameter		-0,1	
Surface Dewpoint (C)			20,2	Surface Dewpoint (C)			20,2
SWEAT Index		318,0		SWEAT Index		318,0	
T2 Gust (kt)			60	T2 Gust (kt)			60
TI - Thompson Index			41	TI - Thompson Index			35
TQ Index		15		TQ Index		15	
TT - Total Totals		53,2		TT - Total Totals		53,2	
VGP - Vorticity Generation Parameter			0,433	VGP - Vorticity Generation Parameter			0,257
VT - Vertical Totals			31,1	VT - Vertical Totals			31,1
Waterspout Index		14		Waterspout Index			
WBZ - WetBulb Zero Hgt (ft,AGL) *		12117		WBZ - WetBulb Zero Hgt (ft,AGL) *		12117	
Windex (kt)			69	Windex (kt)			69
WMSI - Wet Microburst Severity Index			100	WMSI - Wet Microburst Severity Index		35	
Weighted Category Totals:	10	15	24	Weighted Category Totals:	10	22	16

Його суть полягатиме у тому, що ми задамо не рекомендовану глибину шару перемішування (50 або 100 гПа), а визначимо його значення, які зумовлюють найбільш сприятливі для розвитку глибокої конвекції значення *CIN*.

Графік такої залежності, представлений на рис. 2, вказує на те, що коридор найбільш сприятливих значень *CIN* (від 20 до 60 Дж/кг) формується при значеннях $\Delta H_{ML} = 10 \div 20$ мб. Таким чином, усвідомлюючи деяку «штучність» нашого підходу, ми реалізуємо найбільш «катастрофічний» сценарій в умовах *ML* типу підйому.

З лістингу значень параметрів конвекції для *ML* типу підйому при $\Delta H_{ML} = 20$ гПа (табл. 3) видно,

що поряд зі збільшенням кількості параметрів конвекції, що вказують на сильний потенціал розвитку конвекції (18 проти 16), значення деяких з них (*MLCAPE*, *MLCIN*, *MLLFC - LCL*, *MLLI*, *MLTI*) виходять на межу діапазонів критеріальних значень, що сигналізують про можливість утворення інтенсивної грозової діяльності.

Утворення зон інтенсивної конвекції має супроводжуватися специфічним полем вітру, вертикальні профілі якого мають формувати шари зсуву, які генерують різні типи конвекції, і визначають напрямок руху конвективного шторму.

Переміщення штормів у вітчизняній практиці традиційно прогнозується за напрямком і швид-

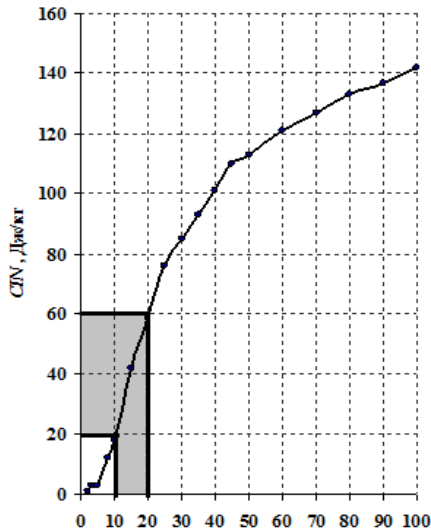


Рис. 2 – Залежність CIN від ΔH_{ML} у шарі нижче рівня вільної конвекції LFC за даними радіозондування атмосфери за 12 СГЧ 28.07.2017 р. (ст. Кривий Ріг (33791)): Область з сірою заливкою позначає інтервал значень товщини шару перемішування найбільш сприятливих значень CIN для виникнення глибокої конвекції.

кістю провідного потоку на середньому рівні тропосфери або характеристиками середнього у шарі 0-6 км вітру.

Не зупиняючись на недоліках такого підходу, застосуємо для прогнозу переміщення шторму найбільш поширений донедавна метод, відомий під аббревіатурою 30R75 [2] (оскільки швидкість середнього вітру у шарі 0-6 км перевищує 15 м/с) та метод Бункерса, алгоритм якого детально викладений в [3].

Перед цим представимо траєкторію руху смерчу в районі м. Кривий Ріг (рис. 3), з якої видно, що вектор руху смерчу був спрямований квазімеридіонально (з азимутом руху $\approx 350^\circ$).

Результати прогнозу вектору руху шторму за цими методами наведені на рис. 4, з якого видно, що напрямок руху шторму точніше прогнозується за методом Бункерса.

Незважаючи на те, що загальні результати розрахунків за різними підходами вказують на можливість утворення низки конвективних явищ, зауважимо, що підстав для прийняття синоптиком рішення про можливість утворення таких явищ як шквали і смерчі недостатньо.

Саме тому, окрім розглянутих вище розрахунків необхідно врахувати динаміку розвитку процесу, що реалізується з використанням даних чисельного моделювання, часове розділення яких (3 год.) хоча і є грубим для процесів підсїточного масштабу, проте дозволяє принаймні сформуванню наближену оцінку напрямку розвитку процесу.

Таблиця 3 – Те ж саме, що у табл. 2б, але при $\Delta H_{ML} = 20$ мб.

Parameter	Weak	Moderate	Strong
200 mb Wind Speed (kt)			
500 mb Wind Speed (kt)			
700 mb Wind Speed (kt)			
700 mb Dewpoint Depression (C)			12,0
850 mb Wind Speed (kt)			
850 mb Dewpoint (C)		12,0	
700 - 500 mb lapse rate (C/km)		-7,6	
Boydex Index		99,0	
BRN - Bulk Richardson No.			50
BRN Shear (m^2/s^2)			40,9
CAP Strength	2,1		
CAPE 0-3 km, AGL	0		
CAPE Total		1980	
Craven SigSvr Parameter (mixed-layer lift)			2037
CT - Cross Totals		22,1	
DCAPE 6,0 km, AGL			1258
Delta Theta-e (ePT)			29,4
EHI - Energy Helicity Index			101,3
GOES HMI (Hybrid Microburst Index)	5		
Hail (cm)			0,64
Heat Burst Index	476		
HI - Humidity Index			25,1
JI - Jefferson Index		30	
K Index		31,1	
KO Index			-19,2
LFC-LCL height (m)		963	
LFC - Level of Free Convection (mb)		692	
LI - Lifted Index			-6,0
MDPI - Microburst Day Potential Index		1,0	
NCAPE (Normalized CAPE)			0,24
S Index		41,2	
SCP - Supercell Composite Parameter			
Severity - Thunderstorm Severity Index	51,3		
SHIP - Significant Hail Parameter	0,1		
SI - Showalter Index		-3,2	
srH - storm-relative Helicity (0-3 km)	-5550		
STP - Significant Tornado Parameter	0,4		
Surface Dewpoint (C)			20,2
SWEAT Index	228,0		
T2 Gust (kt)			60
TI - Thompson Index			37
TQ Index		15	
TT - Total Totals		53,2	
VGP - Vorticity Generation Parameter			0,335
VT - Vertical Totals			31,1
Waterspout Index			
WBZ - WetBulb Zero Hgt (ft,AGL) *	12117		
Windex (kt)			69
WMSI - Wet Microburst Severity Index		60	
Weighted Category Totals:	10	15	18

Якщо припустити наявність області CIN нижче рівня вільної конвекції (що було показано вище), то іншою складовою для «вибухової» конвекції є адвекція вологи у нижньому шарі атмосфери, яка є «паливом» для неї. На рис. 5 наведені прогностичні дані про інтенсивність адвекції вологи на основних ізобаричних поверхнях для вузла регулярної сітки, найближчого до ст. Кривий Ріг ($48,00^\circ$ пн. ш., $33,25^\circ$ сх. д.), з яких видно, що протягом першої половини дня у нижньому кілометровому шарі спостерігалася адвекція вологого повітря.

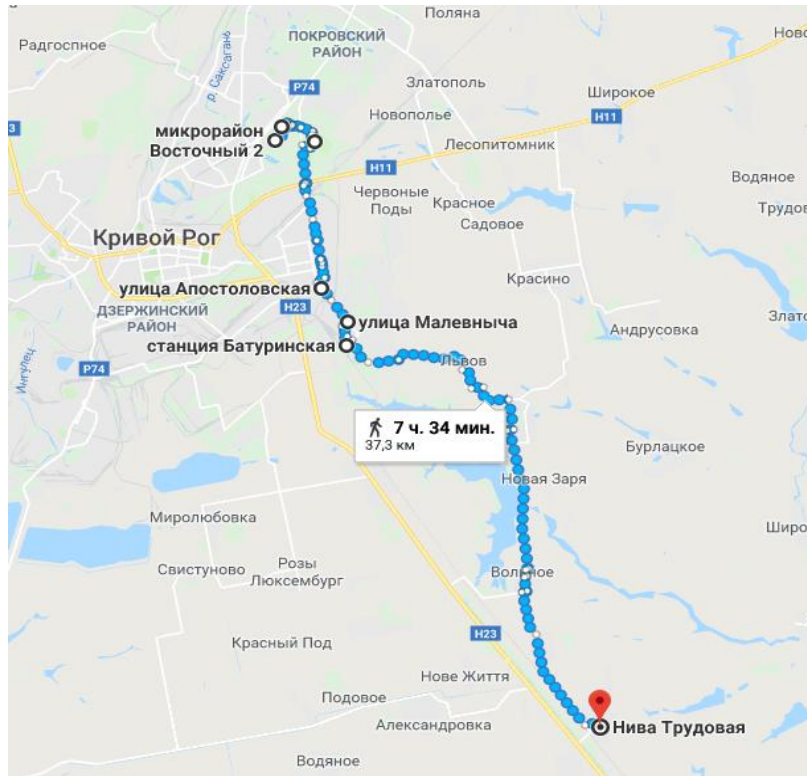


Рис. 3 – Траєкторія руху смерчу 28.07.2017 р. (товста лінія)

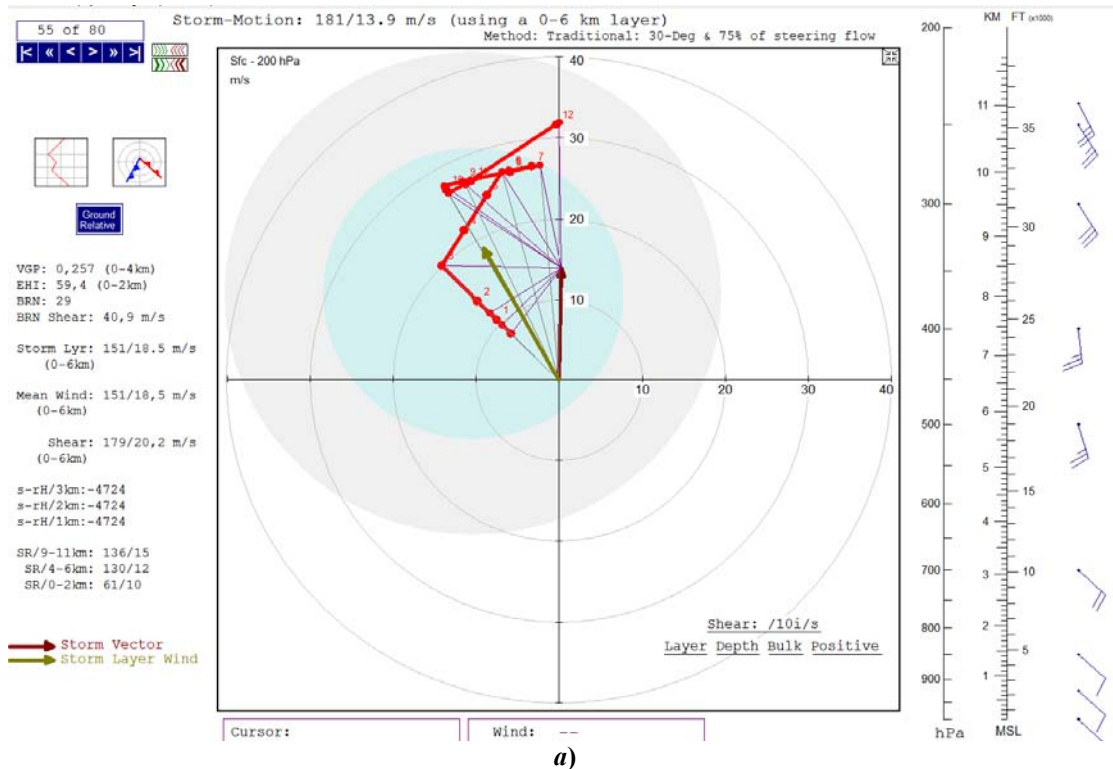


Рис. 4 – Розрахунок вектору руху конвективного шторму за методами 30R75 (а) та Бункерса (б).

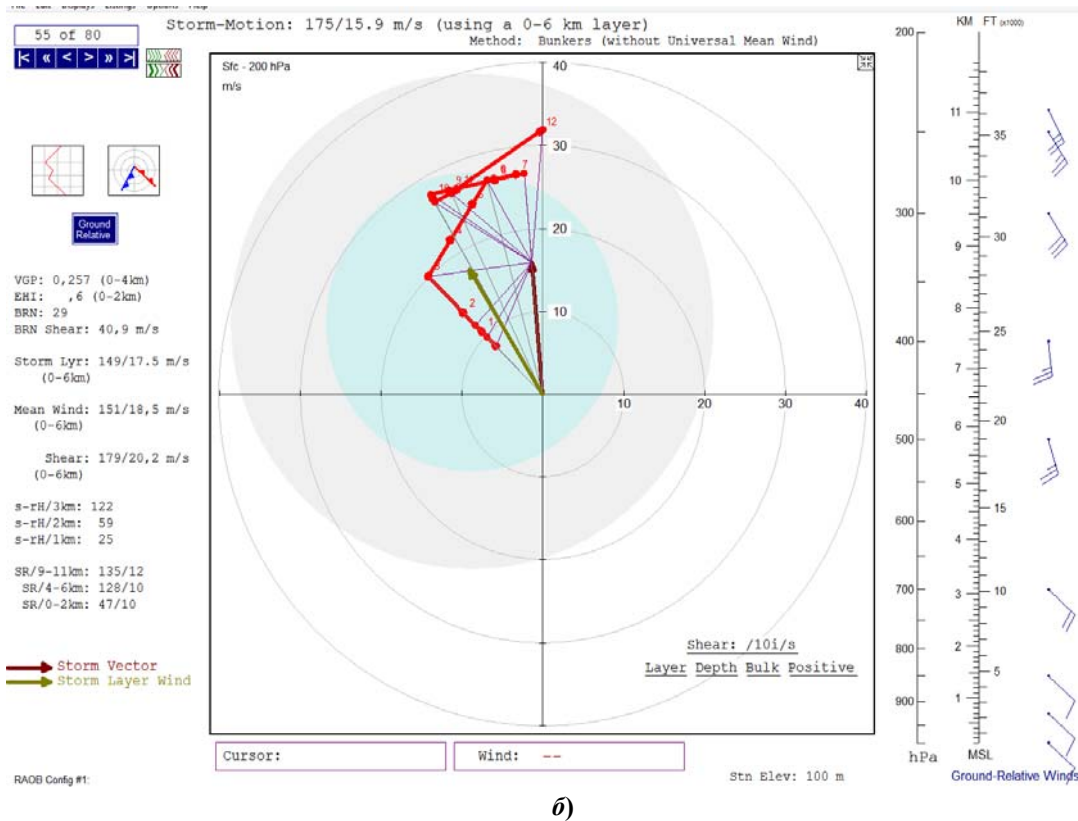


Рис. 4 – Закінчення

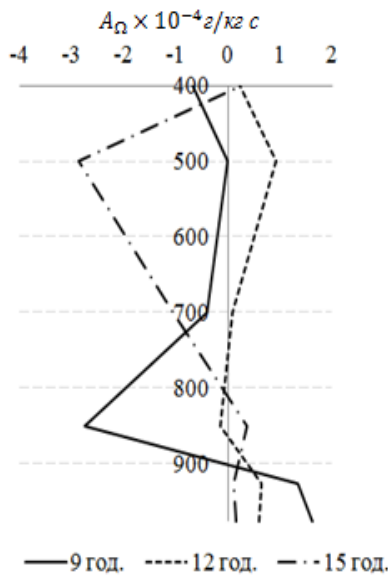


Рис. 5 – Вертикальні профілі адвекції питомої вологи ($A \times 10^{-4} \text{ г/кг·с}$) за 9, 12 та 15 UTC 28.07.2017 на стандартних ізобаричних поверхнях для вузла РСТ з координатами 47,50°пн.ш., 33,25°сх.д. (за даними GFS).

Разом з інтенсивним прогрівом повітря біля поверхні землі (за даними щоденника погоди з 22,4 °C у 06 год. до 34,0 °C у 12 год.) це створює

вало додаткові умови для розвитку глибокої конвекції.

Розглянемо динаміку зміни профілів вітру протягом першої половини дня з метою оцінки тенденції зміни параметру SRH_{0-3} (Storm Relative Helicity), який характеризує спіральність висхідного потоку.

У якості вихідних даних для його розрахунку використаємо прогностичні значення напрямку та швидкості вітру і перейдемо до локальної системи координат, пов'язаної з вектором руху шторму згідно методу в [1], оскільки це дозволяє нівелювати ефекти повороту вітру. Для розрахунку середнього вітру використаємо методику викладену в [8, 9]. За напрямком руху оберемо «правий» шторм, виходячи з вертикальних профілів вітру за 09, 12 та 15 год. 28.07.2017 р. (рис. 6), з яких видно, що у першій половині дня прогнозувався сприятливий для розвитку конвекції правий поворот вітру з висотою з одночасним збільшенням швидкості.

З рис. 7 видно, що площа фігури, яка ідентифікує величину параметру SRH , збільшувалася з 09 до 12 год. (а, б) місцевого часу, що вказує на формування висхідних потоків, що обертаються, а з 12 до 15 год. (в) збільшення спіральності майже не прогнозувалося. Таким чином, динамічна структура конвективних потоків вказувала

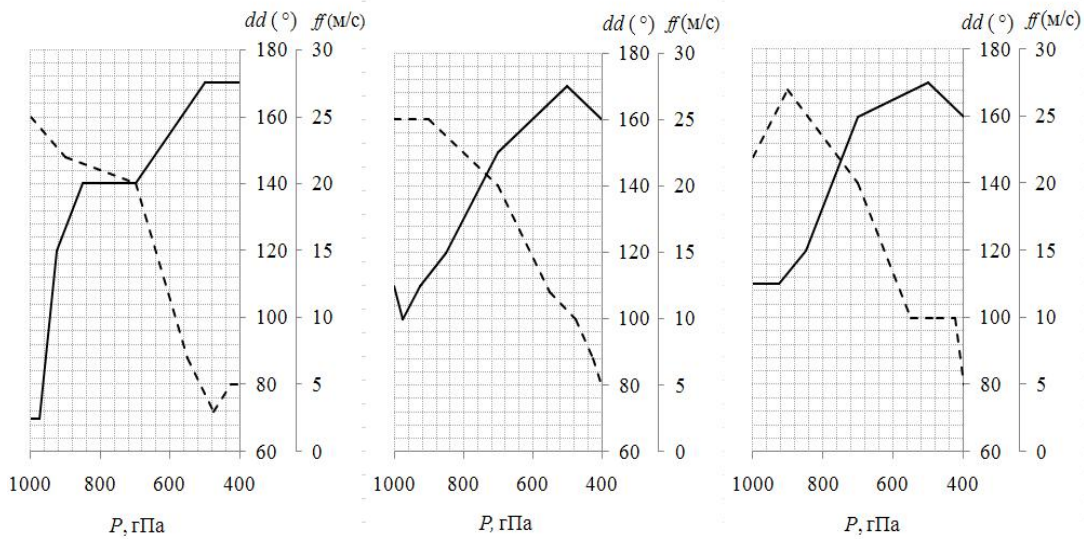


Рис. 6 – Вертикальні профілі напрямку та швидкості вітру за прогностичними даними GFS на строки 06 год., 09 год. та 12 год. UTC 28.07.2017 р. Суцільними лініями позначений напрямок вітру, пунктирними – його швидкість.

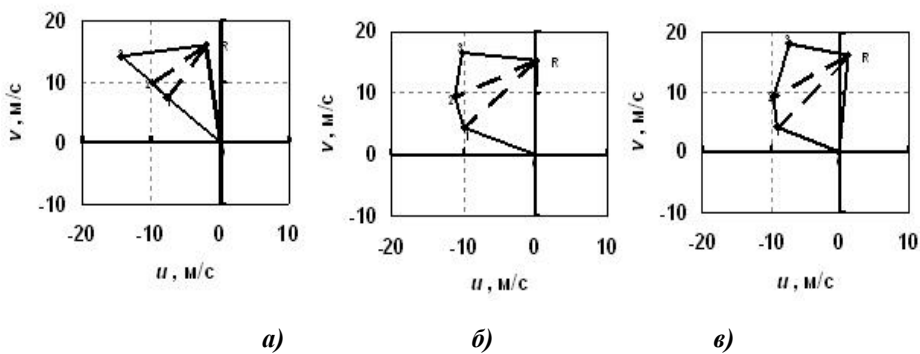


Рис. 7 – Графічна інтерпретація розрахунку параметру SRH_{0-3} за прогностичними даними GFS на строки 06, 09 та 12 год. UTC 28.07.2017 р.: Площа, окреслена годографом вітру та вектором відносного руху шторму R, показує величину відносної спіральності шторму у шарі 0-3 км.

на імовірність формування суперчарунок, приблизно 30 % яких генерують смерчі.

Динаміку зміни кута нахилу кривої стратифікації оцінимо з рис. 8, який показує, що до 13 - 14 год. на усіх ізобаричних поверхнях АТ - 975, 925, 500, 400 прогнозувалася адвекція холоду (за винятком поверхні АТ - 700 гПа і частково АТ - 850).

Таким чином, застосування даних чисельного моделювання дає змогу оцінити динаміку таких важливих для розвитку конвекції умов як зміна вертикального градієнту температури, накопичення вологи на нижніх рівнях та розвиток обертованих рухів висхідного потоку з часовим розділенням 3 години і необхідною завчасністю, що суттєво покращує позиції прогнозиста і неможливо реалізувати з використанням даних радіо-

зондування на момент максимального розвитку конвекції.

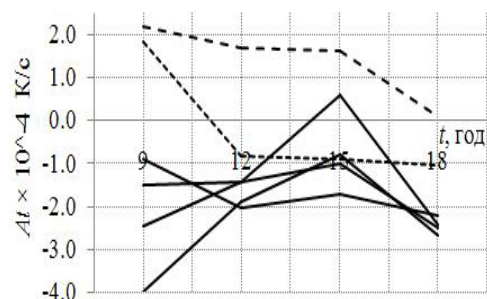


Рис. 8 – Часовий хід адвекції температури ($A_t \times 10^{-4}$ К/с) 28.07.2017 р. на ст. Кривий Ріг: Суцільними лініями позначена адвекція температури на ізобаричних поверхнях АТ-975, 925, 500, 400; пунктирними лініями – на ізобаричних поверхнях АТ-850, 700.

ВИСНОВКИ

При прогнозуванні конвективних явищ погоди доцільно враховувати кількісні характеристики конвекції, розраховані для різних типів підйому, що можна розглядати як своєрідний ансамбль станів частинки при її конвективному русі.

Врахування характеристик шару перемішування дозволяє одержати більш «фізичні» значення параметрів конвекції. Визначення товщини шару перемішування через найбільш сприятливі для глибокої конвекції значення *CIN* за умови нестійкої стратифікації атмосфери для подальших розрахунків показало наближення параметрів конвекції до значень, які більше відповідали явищам погоди, що спостерігалися.

Прогноз переміщення конвективного шторму успішно реалізується при використанні методу Бункерса, який враховує внутрішню динаміку шторму шляхом переходу до локальної системи координат, пов'язаної з самим штормом.

Використання прогностичних значень адвекції температури та вологи при складанні прогнозу надають можливість врахувати цю необхідну для розвитку «вибухової» конвекції умову. У нашому випадку це дало можливість оцінити зміну вертикального градієнту температури та оцінити можливість накопичення вологи на нижніх рівнях (за умови наявності *CIN* нижче рівня вільної конвекції).

Розрахунок прогностичних значень відносної спіральності шторму і оцінка зміни кута нахилу кривої стратифікації дозволяє оцінити тенденцію до збільшення імовірності виникнення глибокої конвекції та, відповідно, і явищ погоди, які її супроводжують.

Дані денного радіозондування формують можливість досить точного діагнозу умов, необхідних для розвитку глибокої конвекції, проте ефект їх використання зменшується через час надходження цих даних до прогнозиста. Певною мірою це нівелюється використанням даних чисельного моделювання, які розширюють можливості прогнозу конвективних явищ шляхом врахування тенденції змін характеристик, які безпосередньо впливають на формування конвективних явищ високої інтенсивності.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Bunkers, M.J. et al. (2000). Predicting supercell motion using a new hodograph technique. *Weather and Forecasting*, 15, 61-79.

2. Grieser, Jü. (2012). *Convection parameters*. URL: <http://www.juergen-grieser.de/CovectionParameters/ConvectionParameters.pdf> (accessed 27.09.2017)
3. Maddox, R.A. (1976). An evaluation of tornado proximity wind and stability data. *Mon. Wea. Rev.*, 104, 133-142.
4. *University of Wyoming. Upperair Air Data*. URL: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html> (accessed 29.09.2017)
5. Vasques, T. (2017). *Instability, Skew-T & Hodograf Handbook*. USA.
6. Stull, R. (2016). *Practical meteorology : An algebra-based survey of atmospheric science*. University of British Columbia.
7. В Кривом Роге пронесся смерч. URL: <https://korrespondent.net/ukraine/3873037-v-kryvom-rohe-pronessia-smerch> (accessed 27.09.2017)
8. Yakimenko, O.A. (Ed.). (2015). *Precision aerial delivery systems : Modeling, dynamics, and control*. Arlington (VA) : American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA).
9. Yakimenko, O.A., Slegers, N.J. (2011). Optimization of the ADS final turn maneuver in 2D and 3D. *21st AIAA Aerodynamic Decelerator Systems Technology Conference and Seminar*, Dublin, Ireland, 23-26 May. USA: American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA), pp. 1189-1200. DOI: <https://www.doi.org/10.2514/6.2011-2604>

REFERENCES

1. Bunkers, M.J. et al. (2000). Predicting Supercell Motion Using a New Hodograph Technique. *Weather and Forecasting*, 15, 61-79.
2. Grieser, Jü. (2012). *Convection parameters*. Available at: <http://www.juergen-grieser.de/CovectionParameters/ConvectionParameters.pdf> (accessed 27.09.2017)
3. Maddox, R.A. (1976). An evaluation of tornado proximity wind and stability data. *Mon. Wea. Rev.*, 104, 133-142.
4. *University of Wyoming. Upperair air data*. Available at: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html> (accessed 29.09.2017)
5. Vasques, T. (2017). *Instability, Skew-T & Hodograf Handbook*. USA.
6. Stull, R. (2016). *Practical Meteorology : An algebra-based survey of atmospheric science*. University of British Columbia.
7. *V Krivom Roge pronessya smerch* [In Krivoy Rog swept a tornado]. Available at: <https://korrespondent.net/ukraine/3873037-v-kryvom-rohe-pronessia-smerch> (accessed 27.09.2017)
8. Yakimenko, O.A. (Ed.). (2015). *Precision Aerial Delivery Systems : Modeling, Dynamics, and Control*. Arlington (VA) : American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA).
9. Yakimenko, O.A., Slegers, N.J. (2011). Optimization of the ADS final turn maneuver in 2D and 3D. *21st AIAA Aerodynamic Decelerator Systems Technology Conference and Seminar*, Dublin, Ireland, 23-26 May. USA: American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA), pp. 1189-1200. DOI: <https://www.doi.org/10.2514/6.2011-2604>

ON THE OPPORTUNITIES OF DIAGNOSIS AND FORECAST OF DEEP CONVECTION DURING OPERATIONAL ACTIVITY

O.M. Hrushevskiy¹, N.M. Mishchenko¹,
V.F. Mansarliyskiy¹, V.M. Burtseva²

¹ Odesa State Environmental University, 15, Lvivska St., 65016 Odesa, Ukraine, minatami@ukr.net

² Aviation meteorological stations civil, st. Otto Brozovsky, 83, Kryviy Rih, Dnipropetrovsk, 50086, ukdr@i.ua

Introduction. The increase of cyclonic storms intensity is one of the manifestations of widespread climate change. This determines emergence of extreme weather phenomena resulting in human and economic losses. Convective phenomena causing economic damage which increased significantly in recent years present one of the causes of abnormal weather conditions.

The purpose. The purpose of this article is to substantiate and to evaluate the technique of identification and forecasting the meteorological conditions “warning” of a high convective phenomena potential that leads to destructive consequences.

RAOB software along with GFS data were used when conducting the study.

Results. The technique of forecasting the phenomena connected with deep convection within the territory of Ukraine was tested in the article. It establishes the extent to which the existing criterial values of quantitative characteristics of convection allow forecasting the occurrence of weather phenomena related to it, their evolution and movement. Given the current spatio-temporal constraints to use the data of atmospheric radio sounding, the authors apply the combination of those with GFS forecasting data. It expands opportunities for forecasting such phenomena as thunderstorms and tornadoes. In particular, the use of forecasting data of wind profile, temperature advection intensity and humidity makes it possible to determine the trend to change of factors affecting convection intensity.

Conclusion. Combining the radio sounding data with the forecasting numerical modelling data makes it possible to increase the efficiency of convective phenomena forecasts due to the opportunity of recording the dynamics of changes of stratification of atmosphere and moisture accumulation in its lower levels.

Directions for future research. Adaptation of existing criterial values of convection parameters for the territory of Ukraine and determination of their forecasting significance will play an important role in future studies. However, absence of a systemized database associated with occurrence and evolution of convective phenomena make the task more complicated. That is why creation thereof is required.

Keywords: instability, convection parameters, convection, dust devil, lability energy, convection phenomena.

ПРО ВОЗМОЖНОСТИ ДИАГНОЗА И ПРОГНОЗА ГЛУБОКОЙ КОНВЕКЦИИ В ОПЕРАТИВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

О. Н. Грушевский¹, Н. М. Мищенко¹,
В. Ф. Мансарлийский¹, В. М. Бурцева²

¹ Одесский государственный экологический университет,

ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, minatami@ukr.net

² АМСЦ Кривой Рог, ул. Отто Брозовского, 83, 50086, Кривой Рог, Украина, ukdr@i.ua

На примере развития конвективного шторма в июле 2017 в г. Кривой Рог рассматривается структура количественных характеристик атмосферы при глубокой конвекции и предлагаются подходы к прогнозированию интенсивных конвективных явлений.

Анализ параметров конвекции для различных типов аппроксимации подъема воздушной частицы позволил учесть характеристики слоя перемешивания и его влияние на формирование наиболее благоприятных для конвекции условий.

Привлечение прогностических данных численного моделирования позволяет определить направление развития процесса с необходимой заблаговременностью. По прогностическим данным профиля ветра, интенсивности адвекции температуры и удельной влаги воздуха определена тенденция изменений факторов, обуславливающих увеличение интенсивности конвекции и ее глубины.

Ключевые слова: конвекция, параметры конвекции, индексы неустойчивости, конвективные явления, аппроксимация, подъем частицы.

Подання до редакції : 17. 04. 2018

Надходження остаточної версії : 21. 09. 2018

Публікація статті : 29. 11. 2018

УДК 551.557:519.246 (477.74)

ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИЙ РОЗПОДІЛ АТМОСФЕРНИХ ОПАДІВ НА ТЕРИТОРІЇ ОДЕСЬКОЇ ОБЛАСТІ НА ПОЧАТКУ ХХІ СТОЛІТТЯ

Г. П. Івус, Л. Д. Гончарова, Н. І. Косолапова

Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, nelj11072004@gmail.com

У статті представлені результати аналізу та оцінки просторово-часового розподілу атмосферних опадів в основні сезони року на території Одеської області, котра, як відомо, є районом з недостатнім зволоженням. Для розв'язання цієї наукової задачі використовувалися статистичні методи опрацювання вихідної інформації, в якості якої виступали строкові дані за 00, 06, 12 та 18 годин. Динаміка режиму зволоження території Одеської області впродовж 2000-2009 рр. та 2010-2015 рр. розглядалася для 10-ти та 9-ти станцій області, відповідно вказаних періодів. За особливостями просторово-часового розподілу атмосферних опадів на території Одеської області визначено п'ять районів: південний, північно-західний, північний, східний та узбережжя. За допомогою інтегрального перетворення Фур'є з імовірністю 68% та 95% визначено статистично значущі періодичні коливання у часових рядах атмосферних опадів – від квазідвомісячних до квазідесятимісячних.

Ключові слова: клімат, кліматичні ресурси, атмосферні опади, детермінована основа, періодичні коливання.

1. ВСТУП

Проблема клімату нашої планети та його мінливості є однією з центральних у сучасній гідрометеорологічній науці. В умовах швидкого науково-технічного прогресу залежність людства від клімату не зменшилась, а, навпаки, суттєво зросла завдяки чому дослідження мінливості клімату набули чітко визначеної практичної значущості.

За останнє десятиріччя ХХ і на початку ХХІ століть виникла необхідність у більш високому рівні розуміння кліматичної системи і розвитку можливостей з попередження кліматичних змін і, насамперед, стосовно небезпечних і стихійних гідрометеорологічних явищ (СГЯ). Ця проблема стала найбільш актуальною в зв'язку зі значним збільшенням кількості випадків та тривалості цих явищ, що пов'язано зі змінами у кліматичній системі [1-5]. В Україні майже щорічно у будь-якому регіоні створюються умови виникнення стихійних гідрометеорологічних явищ [3, 6, 7].

Раціональне природокористування, вирішення природно-екологічних проблем, перспективне планування та розміщення різних галузей економіки, створення ефективних методів боротьби зі шкідливими наслідками впливу СГЯ ґрунтується на кліматологічній інформації [3].

Для визначення природи атмосферних явищ, розроблення вірогідних методів їх прогнозуван-

ня та ефективних заходів запобігання значних економічних збитків, необхідне подальше всебічне їх дослідження, удосконалення і збільшення інформаційної бази з використанням сучасних методів статистичного аналізу та чисельного моделювання.

У міру накопичення метеорологічної інформації деякі значення, а також імовірнісні характеристики, треба постійно уточнювати у зв'язку з тим, що СГЯ надзвичайно мінливі у часі та просторі [3, 7].

Питання глобальних змін клімату та стихійних гідрометеорологічних явищ постійно перебувають у центрі уваги Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО) та науковців основних напрямів кліматичних досліджень, у тому числі небезпечних та стихійних гідрометеорологічних явищ [3, 7].

Дослідження СГЯ базуються на сучасних уявленнях про теорію клімату, головні положення якої знайшли свій подальший розвиток у вивченні змін та коливань сучасного клімату [1, 2, 4, 5, 8, 9].

У цій статті викладаються основні результати одного з розділів науково-дослідної роботи «Прогнозування небезпечних метеорологічних явищ над південними районами України» (номер держреєстрації 0115U006532), що виконується на кафедрі метеорології та кліматології Одеського державного екологічного університету.

Мета представлено наукового дослідження полягає у визначенні особливостей просторово-часового розподілу атмосферних опадів в основні сезони року на території Одеської області за останні десятиріччя.

Реалізація поставленої перед авторами задачі була основана на принципі поступового переходу від більш маркомасштабних характеристик атмосферних опадів до більш дрібномасштабних, від внутрішньорічної структури до структури за окремі місяці. У подальшому буде проведено дослідження характеристик дощів за теплий та холодний періоди року, а потім характеристик окремих дощів і далі флуктуацій в середині дощу. Саме такий підхід у дослідженні атмосферних опадів у найбільшій степені враховує все різноманіття цього процесу [10].

Специфічність властивостей атмосферних опадів (різко виражена просторова та часова дискретність і неоднорідність) утворює великі складнощі в їх дослідженні. Крім того, недооцінка деяких аспектів структури атмосферних опадів привела до того, що вони на теперішній час досліджені все ще недостатньо.

Галузі використання даних про статистичну структуру полів атмосферних опадів – це будь-які розрахунки, пов'язані з проектуванням міських каналізаційних систем, різного роду промислових та будівельних перекриттів несуть у собі обов'язковий елемент врахування впливу атмосферних опадів. Крім того, опади призводять до послаблення радіохвиль в системах зв'язку та впливають на втрати електроенергії у високовольтних лініях електропередачі. Розрахунки, пов'язані з авіаційною метеорологією в багатьох випадках визначаються наявністю даних про просторово-часову структуру полів опадів. Розв'язання цілого ряду гідрологічних і сільськогосподарських задач, дослідження впливу на ерозію ґрунтів, розрахунки зливого стоку суттєво залежить від значень характеристик просторово-часової структури цього елемента клімату.

Отримані авторами цієї статті висновки носять попередній характер і потребують підтвердження на більш об'ємному статистичному матеріалі.

2. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Температурно-вологісний режим є важливою характеристикою клімату, що впливає на сільське, теплово-комунальне, паливно-енергетичне, водне та інші галузі господарства країни. На думку багатьох науковців [1, 2, 4-6, 8, 11, 12],

внаслідок глобального потепління клімат на території України стане різко змінюватися. Тому необхідно вже сьогодні створювати водогосподарські, агротехнічні комплекси, які забезпечать раціональне використання, збереження та відновлення природних ресурсів. Вивчення регіональних змін клімату в межах загальної проблеми дає можливість поліпшити моделі очікуваних проєкцій змін клімату в XXI столітті, які розробляються провідними науковими закладами.

Південь України виділяється за кліматичними характеристиками в окрему область. Це обумовлено не тільки впливом Чорного моря, але й специфічними особливостями циркуляції [3, 9]. При вивченні ролі атмосферної циркуляції в формуванні температурно-вітрового режиму, а також режиму опадів необхідно враховувати як макромасштабну циркуляцію, так і регіональні процеси, які безпосередньо впливають на клімат відносно невеликої території. Як відомо, перенесення повітряних мас відбувається за різних синоптичних процесів, які відрізняються масштабами, формами та сезонними відмінностями, що зумовлює часту зміну та складність погодних умов.

Важливим чинником регіонального клімату Європи і України є розташування квазістаціонарних центрів дії атмосфери. Зміни температурно-вологісного режиму досліджуваної території добре узгоджуються зі змінами характеру циркуляції атмосфери в Атлантико-Європейському секторі [3, 9]. В останні декілька десятиріч відбулося зміщення на схід (до 20°) центрів дії атмосфери – Сибірського та Азорського максимумів. Ці процеси зумовлюють додатні аномалії температури повітря у холодний період року та особливості режиму зволоження території нашої країни й окремих її областей [3, 12].

Як свідчать результати сучасних досліджень [1, 3, 8, 11-15], кількість опадів в окремих регіонах України змінювалася у XX столітті і ці зміни спостерігаються і на початку XXI століття [16-18].

Результати цієї наукової роботи, безперечно, не можна вважати вичерпаними в плані постановки визначеної задачі, реалізація якої буде проходити в два етапи. Крім вже зазначеного перспективного напрямку, пов'язаного з дослідженням просторової структури полів атмосферних опадів, осереднених за короткі часові інтервали (6 років), розв'язання задачі у подальшому буде направлено на генетико-морфологічне дослідження і буде проведено огляд синоптичних ситуацій.

3. ОБ'ЄКТ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Важливою складовою і глобального, і регіонального клімату є атмосферні опади. Вони виступають однією з важливіших характеристик зволоження і відносяться до найбільш мінливих метеорологічних величин як у просторі, так і за часом. У різних областях України опади істотно відрізняються за кількістю, характером розподілу, річним ходом, інтенсивністю, тривалістю і т. ін. [3; 12].

Утворення і випадіння опадів в Україні – наслідок складних макроциркуляційних процесів, що визначають тепло- і вологообмін в атмосфері. Розподіл кількості опадів в окремих районах, а також в Одеській області, вказує на значну неоднорідність цього поля, зумовлену різними умовами опадоутворення. Знання про атмосферні опади необхідні людству, щоб забезпечувати роботу різних сфер господарської діяльності будь-якої країни. Це будівельна, комунальна сфери та потреби багатьох інших підрозділів, в яких необхідно враховувати кліматичні особливості при плануванні соціально-економічного розвитку регіону, при проектуванні промислового та житлового будівництва.

Атмосферні опади – частина кліматичних ресурсів, що найістотніше (поряд з температурою повітря) впливає на об'єкти сільськогосподарського виробництва і є важливим чинником для обґрунтування ведення і висвітлення систем землеробства, вегетації польових культур та ін. Сезонні особливості сільськогосподарського виробництва у поєднанні з агрометеорологічною та агрокліматичною інформацією свідчать про сталу потребу і сільського виробництва в ній [3; 8; 11].

Для з'ясування особливостей просторово-часового розподілу місячної кількості опадів, порівняно з кліматичною нормою [19], використовувалися строкові дані за 00, 06, 12 та 18 годин. Динаміка режиму зволоження Одеського регіону на початку XXI століття розглядалася впродовж 2000-2009 і 2010-2015 рр.

При проведенні статистичних розрахунків завжди виникає питання, якою повинна бути оптимальна довжина ряду спостережень для отримання характеристик того чи іншого елемента з необхідним ступенем точності, надійності і відповідності їх конкретним фізико-географічним умовам. Існувавший у кліматології довгий час принцип «чим довшим є ряд, тим точніше його середнє багаторічне значення» не завжди виправдовується. Найбільш стійка кліматична норма зводиться до середнього значення

метеорологічної величини, яке розраховано з періодів оптимальної довжини [10].

З врахуванням цього необхідно було опрацювати вихідні дані по всіх станціях Одеської області за єдиний період спостережень.

Для з'ясування багаторічних змін в розподілі місячної кількості опадів на території Одеської області та визначення статистичної структури вказаних кліматичних рядів застосовувалася методика дослідження нестационарних часових послідовностей.

Як показали чисельні дослідження, часові ряди метеорологічних величин утримують «приховані» періодичні компоненти, обумовлені хвилюватою природою атмосферних процесів.

Використання даного методу дає можливість отримати частоти, амплітуди, початкові фази періодичних компонент, «прихованих» у часовій послідовності [20].

Так, часовий ряд $X(t)$, заданий на інтервалі $t \in [-\tau; \tau]$, можна розглядати як кусково-гладку функцію часу. Таку функцію у відповідності до теореми Діріхле можна виразити суперпозицією простих гармонік

$$X(t) = \sum_{k=0}^{\infty} A_k \sin(\omega_k t + \varphi_k), \quad (1)$$

де A_k – амплітуда k -ої гармоніки, ω_k – її частота, φ_k – початкова фаза.

Рівність (1) може бути переписаною таким чином

$$X(t) = \sum_{k=0}^{\infty} [a_k \cos \omega_k t + b_k \sin \omega_k t], \quad (2)$$

якщо позначити

$$a_k = A_k \sin \omega_k, \quad (3)$$

$$b_k = A_k \cos \omega_k. \quad (4)$$

Як свідчать формули (3) та (4), початкова фаза розраховується за допомогою рівняння

$$\omega_k = \arctg \frac{a_k}{b_k}. \quad (5)$$

Для кусково-гладкої функції $X(t)$, заданої на нескінченному інтервалі, справедливим є перетворення Фур'є

$$F(i\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} X(t) \cdot e^{-i\omega t} dt, \quad (6)$$

де $i = \sqrt{-1}$ – уявна одиниця.

Але часові ряди гідрометеорологічних вели-

чин визначені на обмеженому інтервалі і можуть бути апроксимовані таким чином

$$X(t) = \begin{cases} x(t), & \text{за умови } t \in [-\tau, \tau]; \\ 0, & |t| > \tau. \end{cases} \quad (7)$$

Для такої функції перетворення Фур'є має вигляд

$$F_{\tau}(i\omega) = \frac{1}{\tau} \int_{-\tau}^{\tau} X(t) \cdot e^{-i\omega t} dt. \quad (8)$$

Якщо впровадити відому формулу Ейлера, то інтеграл (8) приймає таку форму

$$F_{\tau}(i\omega) = U(\omega) - iV(\omega), \quad (9)$$

де

$$U(\omega) = \frac{1}{\tau} \int_{-\tau}^{\tau} X(t) \cos \omega t dt, \quad (10)$$

$$V(\omega) = \frac{1}{\tau} \int_{-\tau}^{\tau} X(t) \sin \omega t dt. \quad (11)$$

Рівності (10) та (11) є відповідно косинус- і синус-перетворення Фур'є функції $X(t)$, що апроксимована виразом (7). Якщо частоти гармонічних компонент, які утримуються в $X(t)$, не є близькими, то $U(\omega)$ і $V(\omega)$ мають вигляд кривих з різко вираженими піками в точках $\omega = \omega_k$. Висота піків приблизно дорівнює амплітудам парної (a_k) і непарної (b_k) складових періодичного коливання з частотою ω_k , «прихованого» в процесі $X(t)$. На тих самих частотах ω_k будуть спостерігатися піки амплітуд $A_k = A(\omega_k)$, оскільки $a_k \approx U(\omega_k)$ і $b_k \approx V(\omega_k)$.

Амплітуду k -ї гармоніки в такому разі розраховують за формулою

$$A(\omega_k) = [U^2(\omega_k) + V^2(\omega_k)]^{1/2}. \quad (12)$$

З метою поліпшення селективних якостей перетворень Фур'є (10) та (11) в них вводять множники («вікна»), які зменшують вплив значень $X(t)$, заданих поблизу меж інтервалу визначення функції.

Отже, з врахуванням «вікна» Гіббса косинус- та синус-перетворення Фур'є описуються рівняннями (13) і (14) відповідно

$$U(\omega) = \frac{1}{\tau} \int_{-\tau}^{\tau} \frac{\sin \frac{\pi t}{\tau}}{\frac{2t}{\tau}} X(t) \cos \omega t dt, \quad (13)$$

$$V(\omega) = \frac{1}{\tau} \int_{-\tau}^{\tau} \frac{\sin \frac{\pi t}{\tau}}{\frac{2t}{\tau}} X(t) \sin \omega t dt. \quad (14)$$

Періодичності, що утримуються у випадковому процесі, визначаються по піках амплітуд $A(\omega_i)$ на періодограмі (амплітудно-частотній характеристиці). Для ліквідації малозабезпечених піків застосовують фільтр Тьюккі

$$\tilde{A}(\omega_i) = 0.25A(\omega_{i-1}) + 0.5A(\omega_i) + 0.25A(\omega_{i+1}). \quad (15)$$

Визначення статистично значущих періодичностей, характерних для процесу $X(t)$, ґрунтується на побудові верхньої довірчої межі для амплітуд із заданою ймовірністю за умови, що амплітуди підпорядковуються нормальному розподілу. Періоди T_k гармонік ω_k , які відповідають пікам амплітуд, що виходять за довірчу межу, ототожнюються з періодами гармонічних коливань, які утримуються у випадковому процесі $X(t)$. Для кожного з них знаходять початкову фазу

$$\phi_k = \arctg \frac{U(\omega_k)}{V(\omega_k)}. \quad (16)$$

Початкова фаза дає можливість знайти точку h_k на осі часу, яка є початком коливання, тобто

$$h_k = \begin{cases} (\pi + \phi_k) \cdot T_k, & \phi_k \leq 0; \\ \frac{2\pi}{\phi_k \cdot T_k}, & \text{за умови} \\ \frac{2\pi}{2\pi}, & \phi_k > 0, \end{cases} \quad (17)$$

де ϕ_k – початкова фаза гармонічного коливання в радіанах, T_k – період гармонічного коливання в одиницях часу, який розраховується за формулою

$$T_k = \frac{2\pi}{\omega_k}. \quad (18)$$

Як відомо, більшість метеорологічних величин являють собою нестационарні випадкові процеси. Основною причиною цього є те, що під впливом різного надходження до земної поверхні кількості сонячної радіації протягом доби, сезону, року величини мають добовий, сезонний, річний хід і т. п.

Багаторічні зміни характеру кліматоутворювальних факторів приводять до виникнення трендів, тобто однонаправлених змін метеорологі-

чних величин протягом тривалого часу.

Дослідження статистичної структури атмосферних опадів ґрунтувалося на послідовності їх значень у вигляді еквідистантних часових рядів з дискретністю один місяць. Вони зображалися як сума детермінованої $\hat{X}(t)$ та випадкової $X_3(t)$ компонент. У свою чергу, детермінована компонента складається з тренду $X_1(t)$ і періодичної компоненти $X_2(t)$, яка відбиває сезонний (річний) хід процесу $X(t)$ [20].

Отже,

$$X(t) = X_1(t) + X_2(t) + X_3(t). \quad (19)$$

Детермінована основа випадкового процесу вилучається шляхом фільтрації (або згладжування) вихідного часового ряду. Одним з видів згладжування є ковзне осереднення, яке у загальному вигляді може бути зображене таким чином

$$\hat{X}(t_k) = \frac{1}{n} \sum_{i=k-n/2}^{k+n/2} \alpha_i X(t_i), \quad (20)$$

де α_i – ваговий множник, n – кількість точок, по яких проводиться згладжування:

$$k = 1 + n/2; 2 + n/2; \dots; N' + n/2; N' = N(n - 1),$$

де N – кількість членів ряду.

Якщо в рівності (20) $\alpha_i = 1$, то оператор згладжування визначає просте ковзне осереднення, в якому вага усіх точок, котрі приймають участь при розрахунках середнього значення на інтервалі $[k - n/2; k + n/2]$, однакова.

Більш коректними є фільтри, що утримують тригонометричні

$$\alpha_i = 1 + \cos \frac{2\pi(k-i)}{n} \quad (21)$$

або експоненціальні

$$\alpha_i = \exp \left[-\frac{|k-i|}{n} \right] \quad (22)$$

вагові множники. Вони зменшуються по відзначених формулами (21) і (22) законах від середини інтервалу згладжування до його кінців.

У цій роботі для згладжування часових рядів атмосферних опадів застосовувався косинус-фільтр вигляду (21).

Об'єктом спеціальних досліджень є просторово-часова структура атмосферних опадів на території Одеської області в основні сезони року.

4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Враховуючи практичну значущість використання даних про статистичну структуру полів атмосферних опадів в умовах змін і коливань клімату, доцільно було оцінити їх просторово-часовий розподіл на території Одеської області, котра, як відомо, є районом з недостатнім зволоженням, тобто спостерігається найбільша ймовірність посушливих років. Тут випадає найменша в Україні кількість опадів за рік (400-500 мм) та на узбережжі – менше 400 мм [3, 12].

Зіставлення тривалості періодів у просторово-часовому розподілі опадів на станціях, розташованих на різних відстанях одна від одної, свідчать про його загальні причини, якими можуть бути багаторічні цикли у змінах сонячної активності або коливань макромасштабної циркуляції атмосфери. Крім того, кількість опадів, їх повторюваність, інтенсивність залежать ще від багатьох чинників: місця формування, стадії розвитку, потужності, траєкторії руху, вологовмісту циклону, а також від фізико-географічних умов орографії, місцевих особливостей території [3].

В процесі формування клімату радіаційні умови тісно взаємодіють з атмосферною циркуляцією, яка сприяє перерозподілу по території тепла і вологи. Атмосферна циркуляція, тобто повітряні течії та баричні утворення, які характерні для України і визначають тут погодні умови, в значній мірі зумовлені тими фізико-географічними особливостями її території, що відрізняють Україну від інших регіонів. По-перше, це те, що територія України розташована в західній частині Європейсько-Азіатського материка неподалік від великого водяного простору Атлантичного океану. Завдяки значній різниці у властивостях підстильної поверхні між цим континентом і океаном територія Східної і Західної Європи на протязі значної частини року являє собою район інтенсивних атмосферних процесів. Друга особливість полягає в тому, що західні, північні і східні райони прилеглі до України, являють собою рівнину, південно-західні райони зайняті горами, а на півдні берега країни омивають Чорне і Азовське моря. Рівнинні простори території дають можливість арктичним вторгненням просуватися майже до південних кордонів. Чорне море впливає на температуру нижніх шарів повітряних мас, що проходять над ним.

Взимку на Україні, особливо в більш високих широтах, дуже розвинута циклонічна діяльність і її територія знаходиться на південній периферії циклонів, що пересуваються, головним чином, зі

східною складовою. Саме в цей сезон більшість циклонів перетинають територію України, що визначає інтенсивний міжширотний обмін повітря. Звичайно, це західні, північно-західні і південно-західні циклони. Останні приходять з районів Чорного моря, Малої Азії, півночі Італії, так звані «південні» циклони, які пов'язані з середземноморською гілкою полярного фронту, інші з центральних районів. Акваторія Чорного моря та Українські Карпати у зимовий сезон є осередками місцевого циклогенезу [3].

Враховуючи важливість розв'язання наукової задачі щодо структури полів опадів південних районах України, на першому етапі дослідження визначалась динаміка режиму атмосферних опадів на станціях Одеської області на початку XXI століття (порівняно з кліматичним періодом 1961-1990 рр.). Як приклад на рис. 1 та рис. 2 наведено зміни місячної кількості опадів у зимовий (грудень-лютий) та літній (червень-серпень) сезони.

Як випливає з рис. 1а, у грудні спостерігається значне зростання місячної кількості опадів у період 2010-2015 рр. на всіх станціях Одеського регіону (порівняно з кліматичною нормою) і найбільше опадів у грудні даного періоду зафіксовано на ст. Болград (67 мм). Слід зауважити, що кількість опадів у цей місяць періоду 2000-2009 рр. була майже однаковою по всій території області (20-30 мм). Тому можна констатувати, що у це десятиріччя XXI століття місячна кількість опадів є найменшою з тих періодів, що розглядалися.

На рис. 1б представлена динаміка місячної кількості опадів центрального місяця зимового сезону, яка вказує на збільшення кількості опадів у період 2010-2015 рр. по всій території області, порівняно з кліматичною нормою. Найбільше їх зростання відбулося на трьох станціях: Одеса, Б.-Дністровський, Роздільна. За попереднє десятиріччя XXI ст. (2000-2009 рр.) кількість опадів на всіх станціях Одеської області мало відрізнялася від кліматичної норми. Ці різниці коливалися в межах 5 мм на 9 станціях, крім ст. Сербка, на якій у цей період спостерігалось збільшення кількості опадів (порівняно з кліматичною нормою) на 16-17 мм.

У лютому (рис. 1в) спостерігаємо суттєве (до 15-17 мм) зменшення кількості опадів у період 2010-2015 рр. на всіх станціях Одеської області, крім ст. Сербка, де кількість опадів, порівняно з кліматичною нормою, зросла на 10 мм. Зменшення кількості опадів (відносно норми) спостерігаємо і у попередній період (2000-2009 рр.) на семи станціях, а на станціях Сербка, Одеса,

Б.-Дністровський, навпаки.

Отже, на території Одеської області два місяці зимового сезону (грудень, січень) були більш вологими за останні шість років, порівняно з періодом 1961-1990 рр., а в лютому, навпаки, зафіксовано зменшення кількості опадів.

Літній сезон на Україні (і зокрема в південних її областях) характеризується високою інтенсивністю сонячної радіації, зменшенням баричних градієнтів і слабкою адвекцією. Помітний вплив має підстильна поверхня, яка зумовлює, особливо на півдні країни, інтенсивну трансформацію повітря, що накладає відбиток на циркуляційні процеси і спостерігається послаблення циклонічної діяльності. Влітку значного розвитку набуває Азорський максимум, виступ якого поширюється далеко на схід [3].

Просторово-часова структура полів атмосферних опадів літнього сезону на території Одеської області представлена на рис. 2.

У цей сезон періоду 2010-2015 рр. спостерігаються різкі і протилежні тенденції в змінах кількості опадів. Якщо порівняти динаміку режиму атмосферних опадів у червні та серпні – вони мають різні тенденції. Так, у червні на всіх станціях Одеської області кількість опадів зросла, порівняно з кліматичною нормою, а у серпні – навпаки. У липні цього періоду тільки на трьох станціях області кількість опадів була значно менше за норму: ст. Любашівка (на 28 мм), ст. Сербка (на 15 мм) і ст. Затишшя (на 13 мм). На станціях Роздільна, Ізмаїл і Болград кількість опадів майже відповідала нормі. У липні на трьох станціях області кількість опадів значно перевищує кліматичну норму: Одеса (на 35 мм), Сарата (на 15 мм), Б.-Дністровський (близько 10 мм).

У період 2010-2015 рр. для більшості станцій Одеської області максимальна місячна кількість опадів літнього сезону припадає на червень і тільки на трьох станціях області (Одеса, Б.-Дністровський, Сарата) липень (поряд з червнем) залишається найвологішим місяцем року.

Особливості просторово-часового розподілу атмосферних опадів у перехідні сезони року на території Одеської області представлені у роботі [21].

На сьогоднішній день досягнуті достатньо великі успіхи в зборі, систематизації та узагальненні емпіричної інформації, яка характеризує клімат різного просторового та часового масштабу. Але розосередженість вихідної інформації ускладнює вивчення структури та мінливості сучасного клімату і потребує статистичного підходу, за допомогою якого можна використати

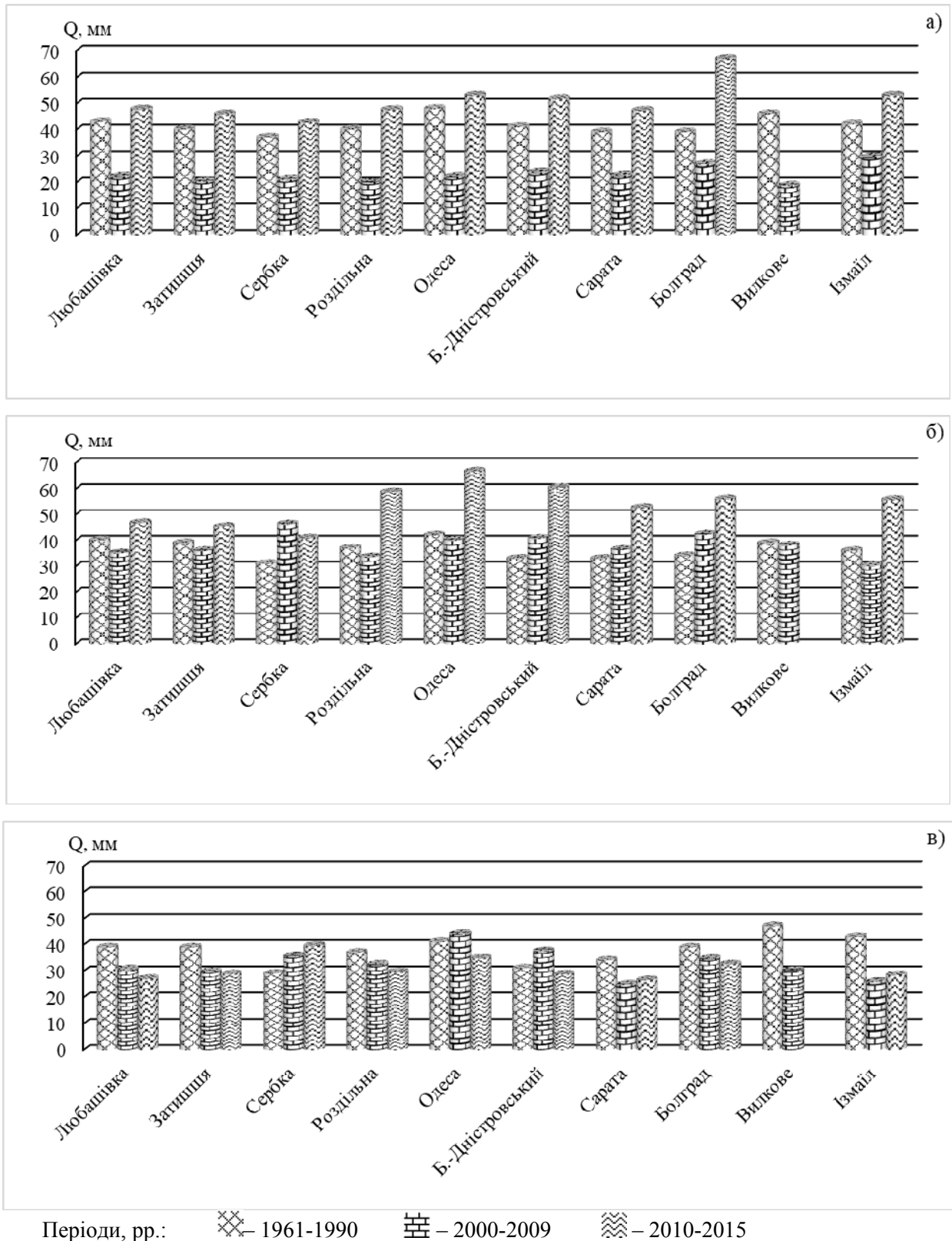


Рис. 1 – Місячна кількість опадів (мм) на станціях Одеського області. Зима : а) грудень; б) січень; в) лютий

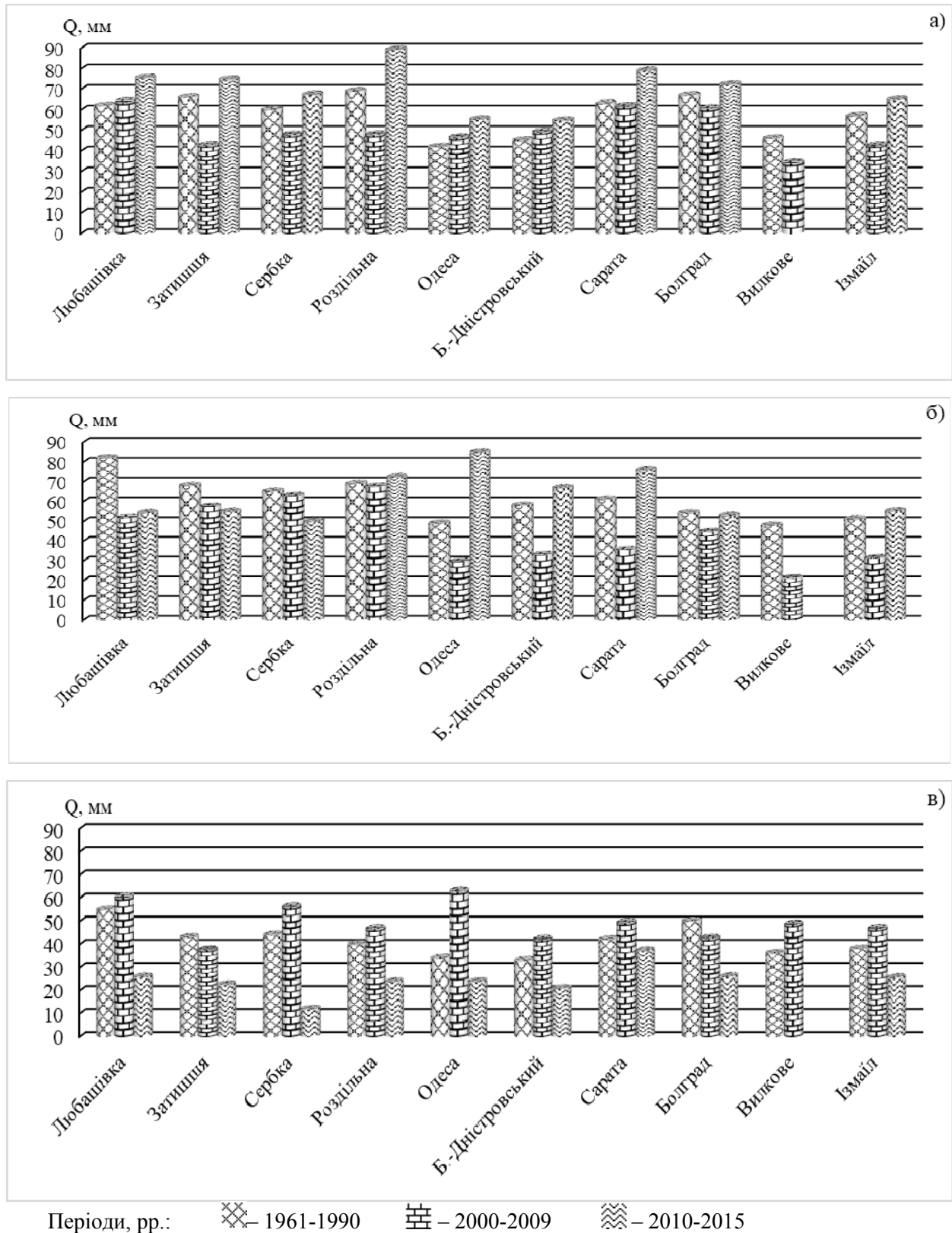


Рис. 2 – Місячна кількість опадів (мм) на станціях Одеського області. Літо : а) червень; б) липень; в) серпень

для дослідження багаторічний архів даних, а це є значним резервом покращення якості довгострокових прогнозів погоди.

На наступному етапі було проведено дослідження багаторічного ходу атмосферних опадів у період 2010-2015 рр. Це дозволило територію Одеської області розділити на п'ять районів:

- 1) узбережжя – це станції: Одеса, Б.-Дністровський, Чорноморськ;
- 2) південний район – це станції: Сарата, Болград, Ізмаїл;
- 3) північно-західний район – це станції: Затишшя, Роздільна;

4) північний – ст. Любашівка;

5) східний – ст. Сербка.

Ці висновки носять попередній характер і потребують підтвердження на більш об'ємному статистичному матеріалі.

Для дослідження структури нестационарних випадкових процесів за вказаною методикою були побудовані часові ряди та детермінована основа атмосферних опадів для всіх визначених районів Одеської області.

Як приклад вони представлені на рис. 3 для двох районів: узбережжя та південного району.

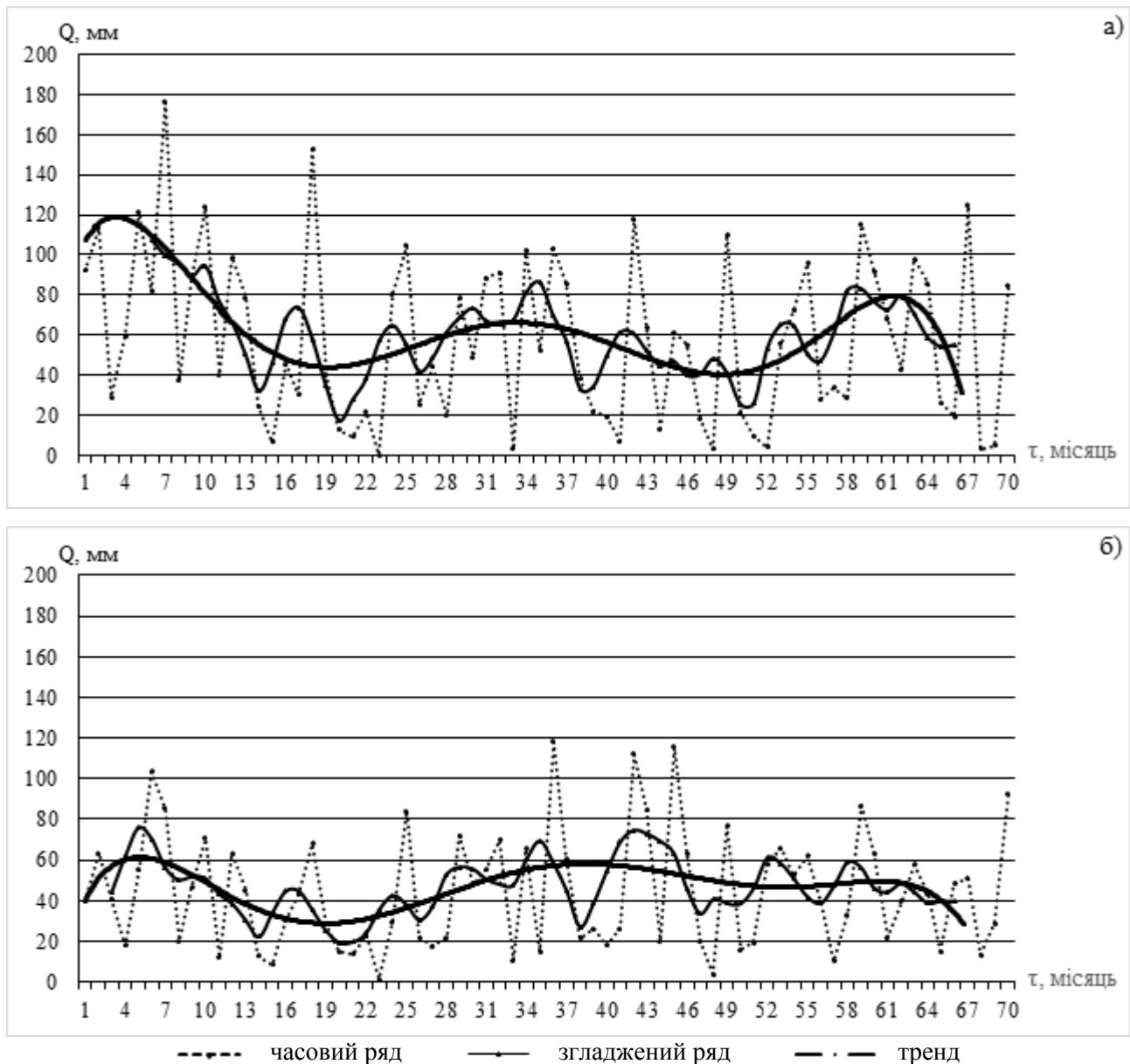


Рис. 3 – Часовий ряд та детермінована основа місячної кількості опадів, мм (2010-2015 рр.) : а) узбережжя; б) південний район

Таблиця 1 – Характеристики періодичних компонент, що виявлені в рядах атмосферних опадів на території Одеської області (жирним шрифтом виділені коливання, що визначені з імовірністю 95%)

№	Район	ω_k , Мі- сяць ⁻¹	A_k , мм	T_k , місяць	Початкова фаза ϕ_k , рад	$U(t)$	$V(t)$
1	Узбережжя	1,02	15,1	6,2	-0,014	-0,34	24,21
		2,87	12,4	2,2	-0,702	-10,08	11,92
2	Південь	1,02	10,3	6,2	0,081	1,13	13,90
		1,95	10,9	3,2	-0,007	-0,06	9,66
		2,87	10,2	2,2	-1,331	-12,54	3,07
3	Північно-західний	1,02	10,5	6,2	0,131	2,20	16,71
		2,21	9,5	2,8	-1,222	-6,34	2,31
		2,87	9,8	2,2	-0,519	-5,52	9,67
		3,27	9,3	1,9	-0,378	-3,44	8,67
4	Східний	0,62	10,0	10,1	-0,913	8,19	-6,32
		1,02	9,8	6,2	0,197	2,94	14,78
5	Північний	0,62	10,4	10,1	-0,742	5,74	-6,26
		2,87	10,5	2,2	-0,810	-6,12	5,83
		3,27	13,8	1,9	0,013	0,174	13,82

Структура детермінованих компонент для всіх територій вказує на чітко визначені як трендові, так і періодичні складові в багаторічному режимі.

За допомогою інтегрального перетворення Фур'є в часових рядах атмосферних опадів з імовірністю 68% та 95% були визначені статистично значущі періодичні коливання, характеристики яких представлені в табл. 1. Як впливає з табл. 1, у часових рядах атмосферних опадів на території Одеської області визначені квазідвомісячні, квазітрьохмісячні, піврічні та квазідесятимісячні коливання. Усі вони у подальшому потребують фізичного обґрунтування і врахування в тих сферах, для яких ці дані є дуже важливими.

5. ВИСНОВКИ

1. Вивчення динаміки місячної кількості опадів наприкінці XX-го та на початку XXI-го століть, яке було проведено за багаторічними даними трьох періодів осереднення (1961-1990, 2000-2009, 2010-2015 рр.), свідчить про неоднозначність складних змін в розподілі атмосферних опадів в різні сезони року і в різних районах Одеської області, що потребує подальших досліджень при вирішенні загальної наукової проблеми.

2. Просторово-часовий розподіл атмосферних опадів на території Одеської області у зимовий сезон показав, що на початку XXI століття два місяці зимового сезону (грудень, січень) стали більш вологими, порівняно з кліматичною нормою, а в лютому, навпаки, зафіксовано зменшення кількості опадів.

3. Для більшості станцій Одеської області максимальна місячна кількість опадів літнього сезону за останні десятиріччя припадає на червень і тільки на трьох станціях області (Одеса, Б.-Дністровський, Сарата) липень (поряд з черв-

нем) залишається найвологішим місяцем року.

4. За особливостями просторово-часової структури багаторічного ходу атмосферних опадів на території Одеської області визначено п'ять районів: південний, північно-західний, північний, східний та узбережжя.

5. Статистична структура нестационарних часових послідовностей досліджуваної кліматичної характеристики включає чіткі трендові і періодичні (квазідвомісячні, квазітрьохмісячні, піврічні та квазідесятимісячні) складові в багаторічному режимі атмосферних опадів на території Одеської області.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Барабаш М. Б., Корж Т. В., Татарчук О. Г. Дослідження змін та коливань опадів на рубежі XX і XXI ст. в умовах потепління глобального клімату. *Наук. праці УкрНДГМІ*. 2004. Вип. 253. С. 92-102.
2. Бойченко С. Г., Волощук В. М., Дорошенко І. А. Глобальне потепління та його наслідки на території України. *Український географічний журнал*. 2000. № 2. С. 59-68.
3. Клімат України / за ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. Київ: Видавництво Раєвського, 2003. 343 с.
4. Осадчий В. І., Бабіченко В. М. Температура повітря на території України в сучасних умовах клімату. *Український географічний журнал*. 2013. № 4. С. 32-39.
5. Светличний А. А., Ибрагімова М. С. К вопросу о современных изменениях климата Северо-Западного Причерноморья. *Вісник ОНУ. Сер.: Географічні та геологічні науки*. 2016. Т. 21 (1). С. 22-41.
6. Руденко В. П. Критичний екологічний стан компонентів природи в регіонах України. *Український географічний журнал*. 2010. № 2. С. 60-68.
7. Стихійні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя (1986-2005 рр.) / за ред. В. М. Ліпінського, В. І. Осадчого, В. М. Бабіченко. Київ, 2006. 311 с.
8. Польовий А. М., Трофімова І. В., Кульбіда М. І., Адаменко Т. І. Вплив зміни клімату на сільське господарство півдня України. *Метеорологія,*

- кліматологія та гідрологія. 2008. Вип. 49. С. 252-261.
9. Гончарова Л. Д., Косолапова Н. І. Вплив основних телеконекцій Північної півкулі на режим опадів по території України. *Вісник ОНУ. Сер.: Географічні та геологічні науки*. 2017. Т. 22. Вип. 1 (30). С. 11-27.
 10. Алибегова Ж. Д. Структура полей жидких осадков за короткие интервалы времени. Ленинград: Гидрометеоздат, 1975. 134 с.
 11. Барабаш М. Б., Гребенюк Н. П., Татарчук О. Г. Особливості зміни ресурсів тепла та вологи в Україні при сучасному потеплінні клімату. *Наук. праці УкрНДГМІ*. 2007. Вип. 256. С. 174-186.
 12. Кліматичні ресурси Одеської області для сталого розвитку: науково-практичний довідник / за ред. Ж. В. Волошиної. Одеса: Державна гідрометслужба України, 2010. 180 с.
 13. Гончарова Л. Д. Режим зволоження території Одеського регіону протягом ХХ століття (осінній та весняний сезони). *Вестник Гидрометцентра Черного и Азовского морей*. Одесса. 2009. № 1 (9). С. 77-83.
 14. Гончарова Л. Д. Динаміка режиму зволоження на території Одеського регіону протягом ХХ століття. *Вестник Гидрометцентра Черного и Азовского морей*. 2009. № 4 (8). С. 94-100.
 15. Гончарова Л. Д. Особливості зміни місячної кількості атмосферних опадів на території Одеської області протягом ХХ століття. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2009. Вип. 5. С. 77-83.
 16. Івус Г. П., Гончарова Л. Д., Косолапова Н. І. Характер розподілення атмосферних опадів в Одеському регіоні на початку ХХІ століття. *Перший Всеукраїнський гідрометеорологічний з'їзд з міжнародною участю: тези доповідей*, 22-23 березня. Одеса, 2017. С. 210-211.
 17. Косолапова Н. І., Івус Г. П., Гончарова Л. Д. Просторово-часове розподілення добової кількості опадів в Одеському регіоні на початку ХХІ століття. *Матеріали наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ*, 3-12 травня. Одеса, 2017. С. 176-182.
 18. Івус Г. П., Хоменко Г. В., Міщенко Н. М., Косолапова Н. І., Сухов О. О. Кількісна оцінка інтенсивності літніх атмосферних фронтів над Україною. *Scientific Journal (Science Rise)*. 2016. Вип. 7/1 (24). С. 16-21.
 19. Кліматичні стандартні норми (1961-1990 рр.). Київ, 2002. 446 с.
 20. Гончарова Л. Д., Школьнік Є. П. Методи обробки та аналізу гідрометеорологічної інформації (збірник задач і вправ). Одеса, 2007. 464 с.
 21. Ivus, G.P., Honcharova, L.D., Kosolapova, N.I., Zubkovych, S.O. (2018). Modern seasonal features of the risk mode on the territory of Odesa region. *Scientific Journal (Science Review)*, 01/3(10), 27-33.
 22. and geological sciences], 21(1), 22-41. (In Russ.).
 23. Rudenko, V.P. (2010). [Critical environmental state of components of the nature in regions of Ukraine]. *Ukrayins'kyi heohrafichnyy zhurnal [Ukrainian Geographic journal]*, 02, 60-68. (In Ukr.).
 24. Lipinskiy, V.M., Osadchyi, V.I., Babichenko, V.M. (Eds). (2006). *Stykhiyni meteorolohichni yavyshecha na terytorii Ukrainy za ostannie dvadtsiatyrichchia (1986-2005 rr.)* [Natural meteorological phenomena on the territory of Ukraine during the last twenty years (1986-2005)]. Kyiv.
 25. Polevoy, A.N., Trofimova, I.V., Kulbida, M.I., Adamenko, T.I. (2008). [Impact of climate changes on agriculture of the South of Ukraine]. *Meteorolohiya, klimatolohiya ta hidrolohiya: Mizhvid. nauk. zb. Ukrainy [Meteorology, climatology and hydrology: interdepartmental scientific collection]*, 49, 252-261. (In Ukr.).
 26. Honcharova, L.D., Kosolapova, N.I. (2017). [Influence of main teleconnections of the North hemisphere on regime of precipitation on the territory of Ukraine]. *Visnyk ONU. Ser.: Heohrafichni ta heolohichni nauky [Bulletin of ONU Ser. Geographical and geological sciences]*, 22/1(30), 11-27. (In Ukr.).
 27. Alibekova, Zh.D. (1975). *Struktura poley zhydkikh osadkov za korotkie intervayl vremeni* [The structure of the fields of liquid precipitation at short intervals of time]. Leningrad: Gidrometeoizdat.
 28. Barabash, M.B., Hrebenuk, N.P., Tatarchuk, O.H. (2007). [Features of change of resources of heat and moisture in Ukraine at modern warming of climate]. *Nauk. pratsi UkrNDHMI [Scientific works of the UkrSRHMI]*, 256, 174-186. (In Ukr.).
 29. Voloshyna, Zh.V. (Ed.) (2010). *Klimatychni resursy Odeskoi oblasti dlia staloho rozvytku: naukovo-praktychnyi dovidnyk* [Climate Resources of the Odesa Oblast for Sustainable Development: Scientific and Practical Guide]. Odessa: State Hydrometeorological Service of Ukraine.
 30. Honcharova, L.D. (2009). [The mode of moistening of the territory of the Odesa's region throughout the XX century (autumn and spring seasons)]. *Vestnik Gidromettsentra Chernogo i Azovskogo morey [Bulletin of the Hydrometeorological Center of the Black and Azov Seas]*, 1 (9), 77-83. (In Ukr.).
 31. Honcharova, L.D. (2009). [Dynamics of the mode of moistening in the territory of the Odessa's region throughout the XX century]. *Vestnik Gidromettsentra Chernogo i Azovskogo morey [Bulletin of the Hydrometeorological Center of the Black and Azov Seas]*, 4 (8), 94-100. (In Ukr.).
 32. Honcharova, L.D. (2009). [Features of change of the monthly sums of an atmospheric precipitation in territory of the Odesa area during the XX-th century]. *Ukr. gidrometeorol. ž. [Ukrainian hydrometeorological journal]*, 5, 77-83. (In Ukr.).
 33. Ivus, H.P., Honcharova, L.D., Kosolapova, N.I. (2017). [The nature of distribution of an atmospheric precipitation in the Odessa's region at the beginning of XXI century]. *Tezy dopovidei Pershoho Vseukrainskoho hidrometeorolohichnoho zyzdu z mizhnarodnoiu uchastiu [Abstracts of the First All-Ukrainian Hydrometeorological Congress with International Participation]*, 22-23 March. Odessa, pp. 210-211. (In Ukr.).
 34. Kosolapova, N.I., Ivus, H.P., Honcharova, L.D. (2017). [Space-time distribution of the daily sum of rainfall in the Odesa's region at the beginning of XXI century]. *Materialy konferentsii molodykh vchenykh ODEKU [Materials of the scientific conference of young scientists ODEKU]*, 03-12 May. Odessa, pp. 176-182. (In Ukr.)
 35. Ivus, H.P., Khomenko, H.V., Mishchenko, N.M., Kosolapova, N.I., Sukhov, O.O. (2016). [Quantitative assessment of intensity of summer atmospheric fronts over Ukraine]. *Scientific Journal (Science Rise)*, 7/1(24), 16-21.
 36. *Klimatychni standartni normy (1961-1990 rr.)* [Climatic standard norms (1961-1990)]. (2002). Kyiv.
 37. Honcharova, L.D., Shkolnyi, Ye.P. (2007). *Metody obrobky*

REFERENCES

1. Barabash, M.B., Korzh, T.V., Tatarchuk, O.H. (2004). [Investigation of changes and fluctuations of precipitation at the turn of the XX and XXI centuries in conditions of global warming]. *Nauk. pratsi UkrNDHMI [Scientific works of the UkrSRHMI]*, 253, 92-102. (In Ukr.).
2. Boychenko, S.H., Voloshchuk, V.M., Doroshenko, I.A. (2000). [Global warming and its consequences in the territory of Ukraine]. *Ukrayins'kyi heohrafichnyy zhurnal [Ukrainian Geographic journal]*, 02, 59-68. (In Ukr.).
3. Lipinskiy, V.M., Dyachuk, V.A., Babichenko, V.M. (Eds). (2003). *Klimat Ukrainy* [Climate in the Ukraine]. Kyiv: Rayevskyy Publ.
4. Osadchyi, V.I., Babichenko, V.M. (2013). [The air temperature on the territory of Ukraine in today's climate conditions]. *Ukrayins'kyi heohrafichnyy zhurnal [Ukrainian Geographic journal]*, 04, 32-39. (In Ukr.).
5. Svetlichnyy, A.A., Ibragimova, M.S. (2016). [To the question of modern changes of climate of northwest Black Sea region]. *Visnyk ONU. Ser.: Heohrafichni ta heolohichni nauky [Bulletin of ONU. Ser. Geographical*

ta analizu hidrometeorolozičnoj informatsii (zbirnyk zadach i vprav) [Methods of processing and analysis of hydrometeorological information (a collection of tasks and exercises)]. Odessa.

21. Ivus, G.P., Honcharova, L.D., Kosolapova, N.I., Zubkovych, C.O. (2018). Modern seasonal features of the risk mode on the territory of Odesa region. *Scientific Journal (Science Review)*, 01/3(10), 27-33.

SPATIO-TEMPORAL DISTRIBUTION OF ATMOSPHERIC PRECIPITATION IN THE ODESA REGION AT THE BEGINNING OF THE 21ST CENTURY

H. P. Ivus, L. D. Goncharova, N. I. Kosolapova

Odessa State Environmental University,
15, Lvivska St., 65016 Odessa, Ukraine, nelj11072004@gmail.com

During the last decade of the 20th and at the beginning of the 21st century there was a need for a higher level of understanding of the climate system and development of opportunities to prevent climate change and, first of all, understanding of dangerous natural hydrometeorological phenomena. The research of the latter is based on contemporary ideas of the theory of climate whose main concepts found their further development in the study of changes and fluctuations of the today's climate. For its climatic characteristics the South of Ukraine is considered as a separate region. This is due to not only the influence of the Black Sea but also to the specific features of the atmospheric circulation. Precipitation is one of the most important characteristics of humidification and appears to be the most variable meteorological value both in space and time. According to the results of modern studies the amount of precipitation within the territory of Ukraine and its individual regions was changing at the end of the 20th century and this change is still observed at the beginning of the 21st century. Therefore, the purpose of this scientific study is to determine the peculiarities of the spatio-temporal distribution of atmospheric precipitation in the territory of the Odesa Region over the recent decades. To complete this task we used statistical methods of processing the output information which included time data for 00, 06, 12 and 18 hours.

Based on peculiarities of the structure of the long-term course of atmospheric precipitation in the territory of the Odesa region the following five regions were defined: southern, northwest, northern, eastern and coastal. Using the integral Fourier transform we managed to determine probable periodic oscillations (quasi-two-month, quasi-three-month, half-year and quasi-ten-month ones).

This article presents the main results of one of the sections of the research work "Forecasting of dangerous meteorological phenomena over the southern regions of Ukraine" which is performed at the Department of Meteorology and Climatology of the Odessa State Environmental University.

Keywords: climate, climatic resources, atmospheric precipitation, determined basis, periodic fluctuations.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ НА ТЕРРИТОРИИ ОДЕССКОЙ ОБЛАСТИ В НАЧАЛЕ XXI СТОЛЕТИЯ

Г. П. Ивус, Л. Д. Гончарова, Н. И. Косолапова

Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, nelj11072004@gmail.com

В статье представлены результаты анализа и оценки пространственно-временного распределения атмосферных осадков в основные сезоны года на территории Одесской области, которая, как известно, является районом с недостаточным увлажнением. Для решения этой научной задачи использовались статистические методы обработки исходной информации, в качестве которой выступали срочные данные за 00, 06, 12 и 18 часов. Динамика режима увлажнения территории Одесской области в течение 2000-2009 гг. и 2010-2015 гг. рассматривалась для 10-ти и 9-ти станций области, согласно указанных периодов. По особенностям пространственно-временного распределения атмосферных осадков на территории Одесской области определены пять районов: южный, северо-западный, северный, восточный и побережье. С помощью интегрального преобразования Фурье с вероятностью 68% и 95% определены статистически значимые периодические колебания во временных рядах атмосферных осадков – от квазидвухмесячных до квазидесятимесячных.

Ключевые слова: климат, климатические ресурсы, атмосферные осадки, детерминированная основа, периодические колебания.

Подання до редакції : 08. 02. 2018
Надходження остаточної версії : 21. 09. 2018
Публікація статті : 29. 11. 2018

УДК 551.577.37

ЦИРКУЛЯЦІЙНІ УМОВИ ФОРМУВАННЯ СИЛЬНИХ ОПАДІВ НА ЗАКАРПАТТІ ВЗИМКУ

Г. П. Івус, Р. Р. Озимко, Е. В. Агайар,
Н. М. Міщенко, А. Б. Семергей-Чумаченко

Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, meteo@odeku.edu.ua

В статті проаналізовано сучасні циркуляційні умови над територією Закарпаття взимку за період з 2007 по 2016 роки при формуванні сильних і дуже сильних опадів. За допомогою типізації синоптичних ситуацій над зазначеним регіоном з урахуванням елементарних циркуляційних механізмів Б. Л. Дзердзеєвського виявлені найбільш імовірні атмосферні процеси і типи синоптичних ситуацій, які створюють умови для виникнення стихійних опадів в Закарпатті. За дослідний період опади ≥ 20 мм частіше зафіксовані у грудні (47%), а по рокам – у 2011 році, тобто нерівномірно за часом. Опади ≥ 30 мм (37 випадків з 66 – 56,1%) формувалися лише за допомогою синоптичних процесів типу 6 – циклонічними циркуляціями з великими баричними градієнтами. Азорське та Арктичне блокування можливо сприяє стаціонаванню заблокованих південно-західних і північно-західних циклонів та формуванню інтенсивних і тривалих опадів та інших стихійних погодних явищ над орографічно неоднорідною територією Закарпаття.

Ключові слова: сильні опади, інтенсивність, типізація, синоптичні процеси, елементарний циркуляційний механізм.

1. ВСТУП

Протягом останніх десятиріч обсяг досліджень атмосфери зростає у зв'язку з підсиленням актуальності проблеми глобальної зміни клімату Землі та впливу на нього антропогенного фактора (життєдіяльності людини). Атмосферна волога, її фазовий стан і вологообмін відіграють значну роль в формуванні погоди та клімату. Вологовміст водяної пари значно змінюється в залежності від циркуляційних процесів, фізико-географічних умов місцевості, пори року та інших факторів. Зміни великомасштабної атмосферної циркуляції на території дослідження зумовлюють відповідні зміни регіональної циркуляції та кліматичного режиму, які спричиняють [1, 2] зниження верхньої межі лісу Карпатських гір. На початку ХХІ ст. в Західних Карпатах відзначалось найбільше підвищення температури і кількості опадів в зимовий період, що збільшувало вірогідність сходу снігових лавин, селів і паводків, також продовжуються зміни у термічному режимі, режимах вітру і зволоження, кількості та інтенсивності стихійних і небезпечних явищ погоди [1, 3-5].

Опади є одним з параметрів водного балансу атмосфери біля поверхні землі, а точне врахування умов їх утворення важливе як для вирішення кліматичних і економічних завдань [6],

так і для складання прогнозу погоди на будь-якій території, особливо орографічне неоднорідній, якою є Закарпаття.

Підвищення справджуваності прогнозів небезпечних явищ, в тому числі, сильних опадів, насамперед потребує надійного прогнозу синоптичних умов. Отримання універсальних синоптичних характеристик, які враховують циркуляційні фактори від планетарного до мезометеорологічного масштабу, надає можливість підвищити точність та завчасність спеціалізованих прогнозів небезпечних та стихійних явищ у Закарпатті. Сильні опади були предметом багатьох досліджень [1-5 та ін.], але частіше вивчався їх гідрологічний ефект, що призводив до повеней та руйнівних наслідків. Метеорологічні та синоптичні аспекти цього явища розглядалися значно рідше, а числові моделювання окремих купчастих утворень, що надавали сильні опади в окремих районах зі складною орографією, ще рідше. Перш за все якісно судити про інтенсивність очікуваного конвективного процесу можна за характером пануючої повітряної маси, яка надходить з певних районів формування внаслідок макроциркуляційних процесів. З цієї точки зору слід оцінювати будь-яку типізацію синоптичних процесів. Основна мета подібної типізації складається в визначенні фізичних властивостей та потенційних можливостей очікуємої або паную-

чої повітряної маси та змін її характеристик через взаємодію з рельєфом.

Мета дослідження – визначення особливостей циркуляційних процесів над територією Закарпаття за період 2007-2016 рр. при формуванні сильних опадів взимку.

2. ОПИС ОБ'ЄКТА ТА МЕТОДУ ДОСЛІДЖЕННЯ

В статті як вихідні матеріали використовуються каталог типових синоптичних процесів над територією України за вказаний період, складений на кафедрі метеорології та кліматології ОДЕКУ, і календар елементарних циркуляційних механізмів (ЕЦМ) Б. Л. Дзердзевського [6]. Для уточнення конкретних синоптичних ситуацій долучалися синоптичні карти усіх рівнів (приземна, АТ-925, АТ-850, АТ-700, АТ-500, BT_{1000}^{500} та супутникові знімки з архіву АРМ-син).

Джерелами фактичного матеріалу стали дані спостережень дев'яти метеорологічних станцій (МС): Великий Березний, Плай, Нижні Ворота, Нижній Студений, Ужгород, Міжгір'я, Берегово, Хуст, Рахів; 30 гідропостів (ГП) та 15 автоматизованих гідрометеорологічних постів (АГП) за вказаний період.

3. ОПИС ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

Дуже сильні опади, які в Україні посідають перше місце серед усіх стихійних гідрометеорологічних явищ (СГЯ), найчастіше відмічаються саме на території Закарпаття. Взимку, залежно від особливостей циркуляції атмосфери, в цьому регіоні формуються як сильні дощі, так і сильні

снігопади. До стихійного СГЯ [7] відносять кількість опадів 20 мм і більше за 12 годин та менше (сильний снігопад) і дощ у кількості опадів 30 мм і більше за 12 годин та менше для гірських районів. Оскільки Закарпаття є складною за орографією місцевістю та враховуючи раніше виконані роботи Воскресенської О. М. [8], в яких стверджується, що не правильно застосовувати один і той же критерій до районів, розташованих в неоднакових кліматичних областях, в роботі будемо використовувати порогове значення 20 мм. Цей поріг взято згідно з відповідною рекомендацією групи експертів з визначення змін клімату CLIVAR/ICOMM.

За розглянуте десятиріччя з 2007 по 2016 рр. по всій території Закарпаття спостерігалось 353 випадки СГЯ, пов'язані з сильними опадами.

Як відомо [1], сильні опади утворюються за складної взаємодії макро- і мезомасштабних синоптичних процесів та місцевих фізико-географічних умов. Найчастіше сильні опади спостерігаються при переміщенні південних та південно-західних циклонів із Середземного та Чорного морів, із Західної Європи, а також внаслідок дії блокуючих синоптичних процесів. Іноді вони пов'язані з фронтами, що переміщуються в улоговинах «пірнаючих циклонів» і в штормових зонах.

Розглянемо повторюваність циркуляційних умов з сильними опадами взимку над територією Закарпаття за даними архівної вибірки 2007–2016 років (табл. 1) за допомогою типізації синоптичних процесів [9] з використанням календаря ЕЦМ [6]. Календар послідовної зміни ЕЦМ за 1899–2008 рр. представлений в [6], а з 2008 по 2016 рр. – на сайті www.atmospheric-circulation.ru.

Таблиця 1 – Повторюваність (%) циркуляційних процесів з сильними опадами на Закарпатті. Зимовий період 2007 – 2016 рр.

Тип ЕЦМ	Підтип синоптичних процесів			Всього
	6.1	6.2	6.3	
5 а, б	-	-	4,6	4,6
7 аз	-	1,5	3,0	4,5
8 гз	1,5	-	1,5	3,0
9 б	-	1,5	-	1,5
11 а, б, в, г	8,1	6,2	18,5	32,8
12 а, бз, вз, г	23,1	10,7	9,1	42,9
13 з	4,6	1,5	4,6	10,7
Всього	37,3	21,4	41,3	100

Примітка: 100 % - 66 випадків.

Як свідчать дані табл. 1, сильні опади взимку на території Закарпаття формуються тільки за синоптичними процесами типу 6 [9, 10], в який входять циклонічні циркуляції з великими баричними градієнтами ($\partial P / \partial n \geq 2,5 \text{ Па} / 111 \text{ км}$). За випадок з сильними опадами брався такий, коли хоча б на одному реєстраційному пункті (МС, ГП або АГП) спостерігалась кількість опадів ≥ 20 мм. Тип 6 включає чотири підтипа: 6.1 – східна частина циклону або штормова смуга між циклонами на заході (північному заході) та антициклоном на сході, що зумовлює південний чи південно-східний перенос; 6.2 – тилова частина циклону, який переміщується зі швидкістю $\geq 40 \text{ км} \cdot \text{год}^{-1}$; 6.3 – улоговина з фронтами; 6.4 – південний циклон з фронтами, що проходять поза розглядувану територією. На Закарпатті сильні опади спостерігаються при трьох підтипах 6.1, 6.2 та 6.3; найчастіше це підтип 6.3 (41,3 %).

За досліджуваний період опади ≥ 20 мм/12 год частіше фіксувались у грудні (47 %), а по роках – у 2011 році, тобто нерівномірно (табл. 2) за часом.

Опади кількістю ≥ 30 мм/12 год (37 випадків із 66 – 56,1 %) відмічені за підтипом 6.3 (16 випадків), в комплексі з ЕЦМ 11 а, б, в, г, та за підтипом 6.1 (13 випадків у поєднанні з ЕЦМ 12 а, бз, в, г). Вказані типи ЕЦМ формують 75,7 % випадків опадів СГЯ.

Розглянемо більш детально типи ЕЦМ 11 та 12, які становлять зональну групу циркуляції. Тип ЕЦМ 11 – це два блокуючих процеси та три прориви південних циклонів [6, с. 52]. Блокуючі процеси формуються над Східною Азією і Північною Америкою, об'єднуючи через Арктичний басейн зимові континентальні антициклони. Тип

має чотири варіанти, які розрізняються траєкторією виходу південних циклонів і положенням арктичних вторгнень. Виходи циклонів з півдня відбуваються зі східної частини Середземного моря на Європу (ЕЦМ 11 а).

При ЕЦМ 11 б, в порівнянні з ЕЦМ 11 а, інтенсивність і розміри Арктичного антициклону збільшені, отже відповідно до цього вся система циркуляції над Атлантикою зміщена на південь. Місцезоташування проривів південних циклонів практично не змінюється в порівнянні з ЕЦМ 11 а [6, с. 52].

При ЕЦМ 11 в південні райони Європи знаходяться в поясах підвищеного тиску в результаті об'єднання гребенів Азорського та Сибірського антициклонів. За цим типом ЕЦМ спостерігається зміщення до заходу та звуження смуги виходів середземноморських циклонів під впливом західного відрогів сибірського антициклону великої протяжності на європейську частину. При ЕЦМ 11 г в ісландські циклони вливаються середземноморські циклони, які виходять на Західну Європу. Західний відріг сибірського антициклону досягає Середземного моря, у зв'язку з чим звужується область виходу середземноморських циклонів. Найбільша середньомісячна тривалість ЕЦМ 11 а,б,в,г припадає на січень (4,9; 2,3; 1,7; 1,1 доби), лютий (–; 2,2; 1,6; 0,9) і грудень (4,7; 2,2; 1,5; 0,8 доби) відповідно [6].

Типу ЕЦМ 12 відповідають три або чотири блокуючі процеси, три (чотири) прориви південних циклонів [6, с. 58]. Цей тип формується при добре розвиненому антициклоні. В залежності від стану підстильної поверхні змінюється потужність циклонічних серій та місце розташування арктичних вторгнень. Це і зумовило поділ типу 12 на декілька ЕЦМ.

Таблиця 2 – Повторюваність (ч. вип. / %) циркуляційних процесів з сильними опадами по місяцях і роках. Закарпаття, 2007 – 2016 рр.

Рік	Місяці			Всього
	січень	лютий	грудень	
2007			1	1
2008	2		2	4
2009	4	2	5	11
2010	-	1	7	8
2011	1	1	10	12
2012	2	3	2	7
2013	3	3	1	7
2014	1	1	2	4
2015	4	-	-	4
2016	4	3	1	8
Всього	21/31,8 %	14/21,2 %	31/47,0 %	66/100 %

При ЕЦМ 12 а відмічаються чотири арктичних вторгнення та прориви південних циклонів по всіх напрямках одночасно [6, с. 58]. Взимку цей тип зустрічається рідко, частіше в квітні та травні. Циклонічні полярно-фронтові серії можуть розташовуватись над Європою та іншими регіонами Північної півкулі. Ці положення не строго фіксовані. Частіше вони утворюються при переході від холодного півріччя до теплого, коли Арктичний антициклон досягає найбільшої потужності, а в південних районах підстильна поверхня вже достатньо прогрілась.

При ЕЦМ 12 бз, а також в наступних ЕЦМ 12 в з та 12 г спостерігається по три блокуючих процеси і прориви південних циклонів [6, с. 58]. Цей ЕЦМ часто утворюється після процесів типу ЕЦМ 11. Пов'язані з виходом південних циклонів області зниженого тиску витягнуті з півдня на північ. Загальна схема ЕЦМ 12 в з схожа на ЕЦМ 12 бз, але між ними є суттєві розбіжності, особливо в Атлантико-Європейському секторі. При ЕЦМ 12 в з вторгнення відбувається через північ Карського та Баренцева моря на Скандинавію і Західну Європу. Сполучена циклонічна область витягнута вузькою смугою над Східною Європою. Середземноморські циклони рухаються далеко на північ. При ЕЦМ 12 г ситуація над Азією і Європою дуже близька до ЕЦМ 11 г: над Азією розташовується потужний стаціонарний антициклон зі значно витягнутим на схід гребенем. Разом з поширеним на схід гребенем Азорського антициклону вони створюють над південними районами Євразії стійку смугу високого тиску. На арктичному фронті розвивається інтенсивна циклонічна діяльність, яка підтримується та посилюється полярно-фронтовими циклонами [6, с. 62], що надходять з південного-заходу і регенерують. Найбільша середньомісячна тривалість ЕЦМ 12 бз, в з, г припадає на березень, хоча вторинні максимуми можуть відмічатися в січні (1,9; 1,2 доби), лютому (2,8; 1,8 доби) та грудні (1,2 доби).

У зв'язку з тим, що найбільша повторюваність опадів СГЯ спостерігається у грудні і вони пов'язані з блокуючими антициклонами, наведемо, як приклад, ситуацію за період з 22 по 26 грудня 2009 року. За вказаний період опади ≥ 20 мм за 12 год. відмічені на 8 МС (Плаї, Великий Березний, Нижній Студений, Міжгір'я, Нижні Ворота, Берегове, Хуст, Рахів), 14 ГП та 18 АГП. Опади у вигляді снігу, дощу і дрібного снігу простежувалися практично безперервно чотири доби. Найбільша кількість (82 мм за добу) відмічена 26.12.2009 р. на ГП Усть-Чорна та

Руська Мокра. На МС Плаї за добу 23 грудня випало майже 50 мм опадів (сніг переходив у дощ), швидкість південно-західного вітру коливалась від 16 до 34 m s^{-1} ; 26 грудня вітер змінив напрям на північно-західний (18 m s^{-1}), потім – на західний (4 m s^{-1}). В цілому на усіх пунктах спостереження вітер був слабкий або помірний, а напрям змінювався під дією фронту.

Розглянемо синоптичну ситуацію над Східною Європою з 22 по 26 грудня 2009 р. В роботі приведені синоптичні матеріали за 23 грудня (рис.1 а, б), коли над територією Закарпаття почалися сильні та тривалі опади у вигляді дощу та мокрого снігу в залежності від висоти та особливостей розташування станції. Синоптична ситуація відповідала типу 6.1 та ЕЦМ 12г, а у наступну добу баричне поле перебудувалося до типу 6.3 та ЕЦМ 11а. Азорський антициклон над Атлантикою впливав на формування повітряних потоків, ускладнюючи зональне переміщення над Європою впродовж 9 діб. Водночас над територією Західного Сибіру та Уралу погоду визначав Арктичний антициклон, що зберігався 11 днів над північним заходом Росії, з центром південніше від Новосибірську, 23.12.2009 р. (рис.1 а, б) має два центри, що окреслюються чотирма замкненими ізобарами з максимальним тиском у центрі 1052,2 гПа. На АТ-500 (рис.1 б) антициклон простежується у вигляді гребеня.

Вказана синоптична ситуація, припустимо може відповідати блокуючим процесам, які формували характер циркуляції над регіоном дослідження. Це припущення потребує додаткового дослідження за допомогою розрахунків індексу блокування [11].

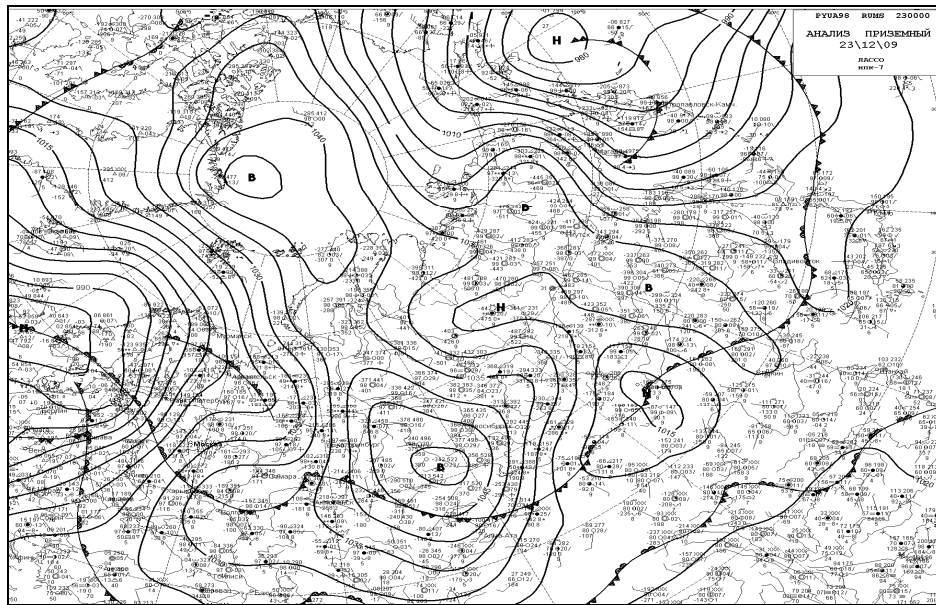
В південно-західному секторі Арктичного антициклону та в південно-східній частині Азорського максимуму відповідає збільшення кількості опадів (рис. 2). Опади можна пояснити, головним чином, проходженням холодного фронту з хвильовими збуреннями на зазначених периферіях вказаних антициклонів. Тривалість і просторовий розподіл опадів над територією Закарпаття на західній периферії Арктичного та східній периферії Азорського антициклонів обумовлена проходженням двох фронтальних систем та стаціонаруванням циклонів, що переміщувалися з північно-західних регіонів Європи.

В результаті цього південні, південно-західні та південно-східні райони України опинилися в зоні опадів. На рис. 2 представлено поле кількості опадів 23.12.2009 р. З рисунка видно, що максимум опадів припав на південні та південно-західні райони України, що підтверджується

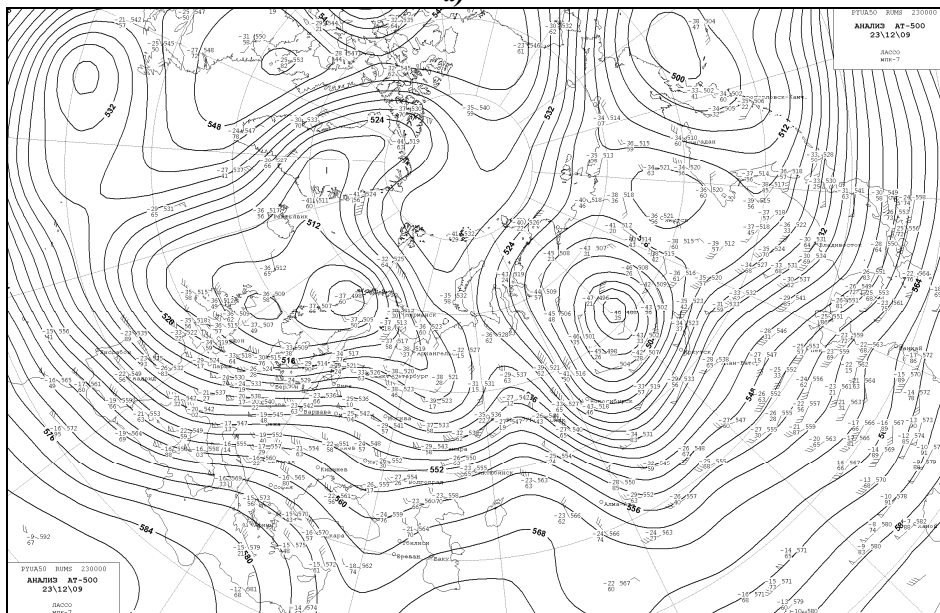
спостереженнями за опадами на усіх пунктах Закарпаття. СГЯ за кількістю опадів зафіксовані у період з 22 по 26 грудня, однак слабкі та помірні опади продовжувалися з невеликими перервами до 31 грудня.

За досліджуваній період тривалі опади з СГЯ на Закарпатті зафіксовано: з 2 по 9 грудня 2010 р. (тип 6.1, ЕЦМ 11 а; тип 6.2, ЕЦМ 12 бз); з 4 по 6 грудня 2011 р. (тип 6.3, ЕЦМ 12 г, 11 а); з 10 по 18 грудня 2011 р. (тип 6.3, ЕЦМ 13 з, 5 а, б, 11 в, 12 а, бз); з 10 по 12 січня 2016 р. (тип 6.1, ЕЦМ 12 бз). Особливо значна кількість злив

спостерігалась 9.12.2010 р. (тип 6.2, ЕЦМ 12 бз), коли за добу випало 105 мм в Усть-Чорній та 100 мм в Руській Мокрі. Можливо це пов'язано з посиленням впливу Арктики на Атлантичний сектор Північної півкулі, що призводить до змін сумарної тривалості дії ЕЦМ, які являються блокуючими для Європейського сектора [11-12]. Сильні зливи та опади, як відомо [1], характеризуються значною просторовою неоднорідністю і різною кількістю пунктів, де вони зареєстровані. Таку їх особливість необхідно дослідити більш



a)



б)

Рис. 1 – Карти приземного аналізу (а) та абсолютної топографії АТ-500 (б) за 23.12.2009 р., 00 UTC

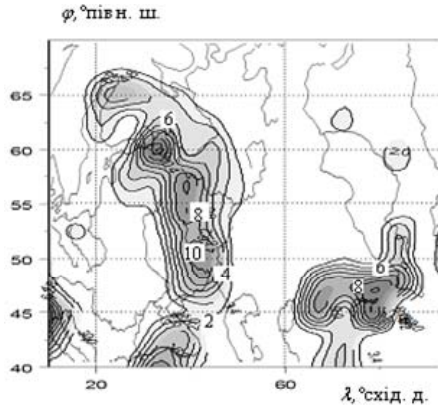


Рис. 2 – Поле кількості опадів 23.12.2009 р. 00 UTC

ретельно за допомогою багатьох чинників і характером та інтенсивністю атмосферних процесів, за фізико-географічними особливостями території (рельєф місцевості, місцеві умови) та ін., а також визначити кількісну оцінку ролі барокліності [13-15] у формуванні небезпечних і стихійних явищ погоди на Закарпатті взимку, збільшити вихідний архів за період з 2006 до 2017 рр., щоб не було пропуску даних з [1].

4. ВИСНОВКИ

Розгляд циркуляційних умов, пов'язаних з сильними зливами та опадами на території Закарпаття взимку, дозволяє зробити такі висновки:

- за період дослідження з 2007 по 2016 рр. спостерігалось 66 випадків циркуляційних процесів з сильними опадами (≥ 20 мм / ≤ 12 год), зафіксованих хоча б в одному з 50 пунктів досліджуваного регіону;

- найбільша повторюваність СГЯ зафіксована у грудні (47 %); максимальна кількість опадів за добу становила 105 мм на ГП Усть-Чорна та 100 мм на ГП Руська Мокра 9.12.2010 р.;

- сильні опади формуються лише синоптичними процесами типу 6, тобто циклонічними циркуляціями з великими баричними градієнтами ($\geq 2,5$ гПа/111 км): підтип 6.3 включає 41,3 %, 6.1 – 37.3 %, 6.2 – 21.4 % випадків;

- сильні опади утворюються частіше (75,7 %) за типом ЕЦМ 11 а, б, в, г та ЕЦМ 12 а, бз, в, г;

- Азорське та Арктичне блокування ймовірно сприяє випадінню тривалих та інтенсивних опадів на території Закарпаття, що потребує додаткових досліджень.

Таким чином, проведені дослідження показали правомочність використання типізації синоптичних ситуацій з урахуванням ЕЦМ Б. Л. Дзердзевського, що може дістати свого

подальшого розвитку в удосконаленні прогнозу СГЯ на території Закарпаття.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Стихійні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя (1986-2005 рр.) / за ред. В. М. Ліпінського, В. І. Осадчого, В. М. Бабіченко. Київ : Ника-Центр, 2006. 312 с.
2. Мартазінова В. Ф., Іванова Е. К., Савчук С. В., Шандра А. В. Динамика клімата и изменение верхней границы леса в Карпатах на протяжении XX столетия. *Глобальные и региональные изменения климата*. Киев : Ника-Центр, 2011. С. 237-247.
3. Клімат України / за ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. Київ : Вид-во Раєвського, 2003. 343 с.
4. Барабаш М. Б., Татарчук О. Г., Гребенюк Н. П., Корж Т. В. Современное состояние режима осадков на территории Украины как следствие изменения климата *Глобальные и региональные изменения климата*. Киев : Ника-Центр, 2011. С. 198-207.
5. Мартазінова В. Ф., Іванова Е. К. Характерные особенности синоптических процессов различной вероятности конца XX – начала XXI столетий. *Глобальные и региональные изменения климата*. Киев : Ника-Центр, 2011. С. 86-96.
6. Кононова Н. К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б. Л. Дзердзевскому / под ред. А. Б. Шакина. Москва, 2009. 372 с.
7. Настанова по службі прогнозів погоди та попереджень про небезпечні і стихійні явища погоди / Державна гідрометеорологічна служба. Київ, 2003. 32 с.
8. Воскресенская Е. Н., Вышкаркова Е. В. Экстремальные осадки и их климатические изменения на территории Украины по данным наблюдений. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2013. Вип. 16. С. 45-50.
9. Івус Г. П. Спеціалізовані прогнози погоди. Одеса : ТЕС, 2012. 407 с.
10. Івус Г. П., Агайар Е. В., Гурська Л. М., Зубкович С. О. До питання про типізацію синоптичних процесів над територією України. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2015. Вип. 19. С. 41-48.
11. Міщенко Н. М. Просторово-часова структура аномалій поля опадів при блокуванні зонального перенесення. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2009. № 5. С. 113-120.
12. Холопцев А. В., Кононова Н. К. Изменения ледовитости и вариации поля атмосферного давления в Арктике. *Scientific Journal "ScienceRise"*. 2016. Т. 7/1(24). С. 22-40.
13. Івус Г. П., Хоменко Г. В., Міщенко Н. М., Косолапова Н. І., Сухов О. О. Кількісна оцінка інтенсивності літніх атмосферних фронтів над Україною. *Scientific Journal "ScienceRise"*. 2016. Т. 7/1(24). С. 16-21.
14. Івус Г. П., Хоменко Г. В., Ковальков І. А., Сосмій Є. В. Гідродинамічна нестійкість в області висотних циклонів та її вплив на погоду. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2017. № 20. С. 18-25.
15. Івус Г. П., Хоменко Г. В., Зубкович С. А. Використання фронтального параметра для визначення зон небезпечного вітру. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2013. Вип. 16. С. 67-74.

REFERENCES

- Lipins'kyy, V.M., Osadchyy, V.I., Babichenko, V.M. (Eds). (2006). *Stykhiini meteorologichni yavlyshcha na terytorii Ukrainy za ostannie dvadtsyatyrichchya (1986-2005 rr.)* [Meteorological disasters in the territory of Ukraine during the last twenty years (1986-2005)]. Kyiv : Nika-Tsentr. (in Ukr.).
- Martazinova, V.F., Ivanova, Ye.K., Savchuk, S.V., Shandra, A.V. (2011). [Climate dynamics and change of the forest upper limit in the Carpathians during the 20th century]. *Global'nyye i regional'nyye izmeneniya klimata [Global and regional climate change]*. Kiev : Nika-Tsentr, pp. 237-247. (in Russ).
- Lipinskiy, V.M., Dyachuk, V.A., Babichenko, V.M. (Eds). (2003). *Klimat Ukrainy* [Climate of Ukraine]. Kyiv: Rayevs'kyy Publ. (in Ukr.).
- Barabash, M.B., Tatarchuk, O.G., Grebenyuk, N.P., Korzh, T.V. (2011). [The current state of the precipitation regime in Ukraine as a consequence of climate change]. *Global'nyye i regional'nyye izmeneniya klimata [Global and regional climate change]*. Kiev : Nika-Tsentr, pp. 198-207. (in Russ).
- Martazinova, V.F., Ivanova, Ye.K. (2011). [Characteristic features of synoptic processes of different probability of the end of the XX - beginning of the XXI century]. *Global'nyye i regional'nyye izmeneniya klimata [Global and regional climate change]*. Kiev : Nika-Tsentr, pp.86-96. (in Russ).
- Shmakin, A.B. (Ed.). (2009). *Klassifikatsiya tsirkulyatsionnykh mekhanizmov Severnogo polushariya po B.L. Dzerdzeevskomu* [Classification of Circulation Mechanisms of the Northern Hemisphere by B. L. Dzerdzeevskiy]. Moscow. (in Russ).
- Nastanova po sluzhbi prohnoviv pohody ta poperedzhen' pro nebezpechni i stykhiini yavlyshcha pohody* [The service of weather forecasts and warnings about dangerous and severe weather phenomena]. (2003). State Hydrometeorological Service. Kyiv.
- Voskresenskaya, Ye.N., Vyshkvarkova, Ye.V. (2013). [Extreme precipitation and their climate change over the Ukraine after the observation data sets]. *Visnik Odes'kogo derzhavnogo ekologichnogo universitetu [Bulletin of Odessa state environmental university]*, 16, 45-45. (in Russ).
- Ivus, G.P. (2012). *Spetsializovani prohnovy pohody* [Specialized Weather Forecast]. Odessa : TES.
- Ivus, G.P., Ahayar, E.V., Hurska, L.M., Zubkovych, S.O. (2015). [To the question of typification synoptic processes over the territory of Ukraine]. *Visnik Odes'kogo derzhavnogo ekologichnogo universitetu [Bulletin of Odessa state environmental university]*, 19, 41-47. (in Ukr).
- Mishchenko, N.M. (2009). [Spatio-temporal structure of anomalies of the field of precipitations at blocking of zonal transfer]. *Ukrains'kij gidrometeorologichnij zhurnal [Ukrainian hydrometeorological journal]*, 5, 113-120. (in Ukr).
- Kholoptsev, A.V., Kononova, N.K. (2016). [Changes in the ice cover and variation of the atmospheric pressure field in the Arctic]. *Scientific Journal "ScienceRise"*, 7/1(24), 22-40. (in Russ).
- Ivus, H.P., Khomenko, H.V., Mishchenko, N.M., Kosolapova, N.I., Sukhov, O.O. (2016). [Numerical estimation of the intensity of summer atmospheric fronts over Ukraine]. *Scientific Journal "ScienceRise"*, 7/1(24), 16-21. (in Ukr).
- Ivus, H.P., Khomenko, H.V., Koval'kov, I.A., Sosmiy, Ye.V. (2017). [Hydrodynamic instability in the region of high-altitude cyclones and its influence on the weather]. *Ukrains'kij gidrometeorologichnij zhurnal [Ukrainian hydrometeorological journal]*, 20, 18-25. (in Ukr).
- Ivus, H.P., Khomenko, H.V., Zubkovych, S.A. (2013). [Using the frontal parameter to determine the areas of a dangerous wind]. *Visnik Odes'kogo derzhavnogo ekologichnogo universitetu [Bulletin of Odessa state environmental university]*, 16, 67-74. (in Ukr).

CIRCULATION CONDITIONS OF WINTER TIME HEAVY PRECIPITATION FORMATION IN TRANSCARPATHIA

H. P. Ivus, R. R. Ozymko, E. V. Agayar,
N. M. Mishchenko, A. B. Semerhei-Chumachenko

Odessa State Environmental University,
15, Lvivska St., 65016 Odessa, Ukraine, meteo@odeku.edu.ua

Over the recent decades the research efforts associated with the atmosphere intensified due to the increasing urgency of the problem of global climate change and the impact of anthropogenic factors thereon. Atmospheric moisture, its phase state and moisture exchange play a significant role in the formation of weather and climate.

The article analyzes modern circulation conditions over the territory of Transcarpathia in winter over the period from 2007 to 2016 when strong and very strong precipitation was formed. Using the typification of weather processes over a given region and taking into account the elementary circulation mechanisms (the ECMs) proposed by B. L. Dzerdzeevskiy, V. M. Kurgan and Z. M. Vitvytska the most probable atmospheric processes and types of synoptic situations that create conditions for extreme precipitation in the Transcarpathian region were identified.

According to observation data from 9 hydrometeorological stations, 30 hydrological stations and 15 automated hydrometeorological stations extreme precipitation series for three winter months were obtained. The following objective analysis data of the US National Center for Atmospheric Prediction (NCEP) and National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR) were used for calculating the blocking indicators: geopotential fields at the level of 500 hPa.

According to the research period, precipitation of ≥ 20 mm / 12 h were more often recorded in December (47 %), and year-wise – in 2011, that is, unevenly over time. Precipitation of 30 mm / 12 h (37 cases from 66 - 56,1 %) formed only as a result of type 6 synoptic processes – cyclonic circulations with great atmospheric pressure gradients. Strong precipitation in Transcarpathia is much more often associated (75,7 %) with ECM 11 and ECM 12 types. The highest repeatability of hazardous precipitation is observed in December and associated possibly with blocking anticyclones. As an example, the article describes the situation over the period from 22 to 26 December, 2009 when the maximum amount of precipitation per day was recorded: 82 mm at the Ust-Chorna and Rus'ka Mokra meteorological stations, December 26, 2009. Azor and Arctic blockings may contribute to stationing of the blocked southwest and northwest cyclones and formation of intense and long-term precipitation and other extreme weather phenomena over the orographically inhomogeneous territory of Transcarpathia.

Keywords: strong precipitation, intensity, typification, weather processes, elementary circulation mechanism.

ЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СИЛЬНЫХ ОСАДКОВ НА ЗАКАРПАТЬЕ ЗИМОЙ

Г. П. Ивус, Р. Р. Озимко, Э. В. Агайар,
Н. М. Мищенко, А. Б. Семергей-Чумаченко

*Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, meteo@odeku.edu.ua*

В статье проанализированы современные циркуляционные условия над территорией Закарпатья зимой в период с 2007 по 2016 годы при формировании сильных и очень сильных осадков. С помощью типизации синоптических ситуаций над указанным регионом, разработанной на кафедре метеорологии и климатологии ОГЭКУ, и с учетом элементарных циркуляционных механизмов, предложенных Б. Л. Дзердзеевским, В. М. Курганской и З. М. Витвицкой, выявлены наиболее вероятные атмосферные процессы и типы синоптических ситуаций, которые создают условия для выпадения стихийных осадков в Закарпатской области. По данным наблюдений 9 гидрометеорологических станций, 30 гидропостов и 15 автоматизированных гидрометеопостов получены ряды экстремальных величин осадков для трех зимних месяцев. Предположено, что Азорское и Арктическое блокирование способствует стационарированию заблокированных юго-западных и северо-западных циклонов и формированию интенсивных и продолжительных осадков и других стихийных погодных явлений над орографически неоднородной территорией Закарпатья.

Ключевые слова: сильные осадки, типизация, элементарный циркуляционный механизм.

Подання до редакції : 05. 03. 2018

Надходження остаточної версії : 06. 07. 2018

Публікація статті : 29. 11. 2018

УДК 551.582, PACS 92.60.Ry

ХАРАКТЕР ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ОСАДКОВ НАЧАЛА XXI СТОЛЕТИЯ НА ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ

В. Ф. Мартазинова, А. А. Щеглов

*Украинский гидрометеорологический институт ДСНС та НАН Украины,
пр. Науки, 37, 03028, Киев, Украина, vazira@gmail.com*

В данной статье приведены результаты исследований экстремальных осадков на территории Украины в начале XXI века. На примере центральных месяцев сезонов показаны различия в месячных суммах и средних суточных суммах осадков. Характерная особенность современного режима осадков прослеживается в их распределении внутри месяцев, в котором наблюдается увеличение количества дней с экстремальными осадками. Для анализа изменений режима осадков предлагается разделение нормы месячных сумм осадков на нормы экстремальных и умеренных осадков.

Ключевые слова: экстремальные осадки, климат, изменение климата, нормы осадков, режим осадков.

1. ВСТУПЛЕНИЕ

Анализ изменения климата проводится с помощью основных его параметров – температуры и осадков, которые не относятся к климатообразующим факторам [1-7]. За изменение этих параметров несет ответственность циркуляция атмосферы [8-10]. Изменение во времени крупномасштабной атмосферной циркуляции приводит к изменению региональной циркуляции. Вся эта последовательная цепочка изменений приводит к региональному изменению климата, но не указывает на причину этих изменений.

Глобальное потепление в последние годы сопровождается увеличением экстремальных погодных условий во всех регионах Земного шара [1-5,8-18]. В последние годы на большей части европейского континента в результате продолжительных периодов с очень высокими температурами и нехватки осадков отмечаются сильные засухи [1,13,15]. В тоже время появляется много работ, посвященных экстремальным осадкам, [14,16,17-18]. Во многих работах ставится вопрос, что надо принимать за экстремальные значения [16-20,21]. В некоторых случаях делается классификация экстремальности осадков [4,18]. На самом деле, определение экстремальных значений в прогнозе погоды имеет много различий [17-18, 20-23]. Распределения осадков с одной стороны ограничены нулем и функция распределения осадков отлична от кривой нормального распределения. Эти отличия разнообразны и зависят от многих факторов, которые в разных регионах различны. Поэтому среднее арифметическое и среднее квадратическое отклонение не

оказываются статистически показательными. В некоторых работах [24,25] делалось преобразование ряда осадков с целью приблизить их распределение к нормальному. Экстремальные значения осадков определялись по стандартному отклонению. В последних работах [26] экстремальность осадков определяется 95-ым и 99-ым перцентилем. Определение экстремальных осадков (опасные, стихийные) из наставления гидрометслужбы Украины [17], а также рекомендованные IPCC значения для определения сильных осадков – ≥ 10 мм, очень сильных осадков – ≥ 20 мм не могут нести одинаковый социальный и экономический ущерб во всех сезонах и регионах. Так, одно и то же значение, например, опасные осадки в одних регионах приносит бедствия (например, в горных регионах), а в других – нет (например, на равнинной местности). В то же время, суточные экстремальные значения осадков в каждом месяце и регионе имеют свои значения 95-го и 99-го перцентиля.

В данной статье предлагается новый подход к анализу месячной суммы осадков, который позволит оценить вклад экстремальных осадков в эту сумму. В качестве предмета исследований используется соотношение двух слагаемых в месячной сумме осадков – суммы суточных осадков меньше 15 мм и суммы суточных осадков 15 мм и выше. Такой подход позволит описать климатический режим осадков от сезона к сезону на территории Украины и провести в дальнейшем сравнительный анализ режима осадков на территории Украины от десятилетия к десятилетию.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЙ

Суточные и месячные суммы осадков по всем станциям Украины за период 2000-2016 гг. были взяты из архива ЦГО. Однако, ввиду отсутствия данных в 2015-2016 гг. по отдельным районам Донецкой и Луганской областей, а также АР Крым, средние многолетние значения осадков были рассчитаны для всей территории Украины за период 2000-2014 гг. для каждого месяца. Нормы суточной суммы осадков были рассчитаны только для дней с осадками.

В данной работе для исследования характера осадков на территории Украины была использована классификация суточных осадков из наставления Гидрометслужбы [17], где принято для жидкой фазы за сильные осадки считать случаи 15-49 мм, за очень сильные ≥ 50 мм и для твердой фазы за сильные осадки – 7-19 мм, очень сильные – ≥ 20 мм. Т.е. во все сезоны суточная сумма осадков с 15 мм включает в себя сильные и очень сильные осадки. Поэтому в данном исследовании осадки более 15 мм/сутки учитывались как экстремальные.

Средние многолетние значения осадков \bar{R}_i были рассчитаны для каждой i -ой станции территории Украины за период 2000-2014 гг. для каждого месяца. Также были рассчитаны средние многолетние значения осадков < 15 мм (\bar{R}_{di}) и ≥ 15 мм (\bar{R}_{ri}) для каждой i -ой метеорологической станции Украины за период 2000-2014 гг. для каждого месяца. Сумма двух слагаемых \bar{R}_{di} и \bar{R}_{ri} равна \bar{R}_i : $\bar{R}_i = \bar{R}_{di} + \bar{R}_{ri}$.

В результате было получено соотношение суточных осадков < 15 мм и ≥ 15 мм в средней многолетней месячной сумме осадков для каждой станции и каждого месяца.

3. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

На рис. 1. представлены средние многолетние суммы осадков для центральных месяцев сезона. Как видно на рис. 1, наибольшее количество осадков выпадает в летний период. Осадки всех центральных месяцев сезона можно ранжировать по убыванию: июль, январь, октябрь, апрель.

Летние осадки на большей территории Украины почти вдвое превышают весенние и осенние осадки. Во все сезоны наибольшее количество осадков выпадает в Карпатском регионе. Распределение средних многолетних значений осадков по остальной территории совпадает вес-

ной, летом и осенью: наибольшие значения осадков отмечаются на западе и северо-западе, которые уменьшаются к юго-востоку.

Январское распределение осадков по территории Украины отличается от всех сезонов увеличением осадков в восточных регионах. Различные распределения осадков указывают на различные метеорологические условия их формирования в сезонах. Распределение сезонных осадков зависит от их суточных сумм внутри каждого месяца или сезона. В качестве примера изменения суточных осадков в сезоне рассмотрим данные наблюдений отдельных станций для различных регионов за период 2000-2016 гг.

На рис. 2-3 видно, как от сезона к сезону меняется суточное количество осадков на метеостанциях Львов, Киев, Рахов и Пожежевская. Приведенные нормы суточной суммы осадков на графиках были рассчитаны только для дней с осадками и поэтому их значения выше относительно простого осреднения за 17 лет. Наименьшие нормы суточных осадков отмечаются в переходные сезоны, особенно в весенние месяцы. В летний сезон нормы осадков практически по всей территории увеличиваются. Экстремальные значения осадков летнего периода редко появляются в других сезонах, как это видно на рис. 2 для станций Львов и Киев. Однако, для Карпатского региона (рис. 3) на примере станций Пожежевская и Рахов, отмечаются сопоставимые максимальные значения практически во все сезоны. Поэтому возникает задача пространственно-временного анализа экстремальности сезонных осадков.

Для исследования характера осадков на территории Украины были отдельно рассмотрены суточные суммы осадков < 15 мм и аномальные (или экстремальные) осадки ≥ 15 мм. Сочетание суточных осадков в отдельном месяце (слабые, умеренные, сильные и очень сильные) формирует характер месячных и сезонных осадков выше или ниже нормы. На рис. 4 приведены средние многолетние значения июльских осадков периодов 1961-1990 гг. и 2000-2014 гг. по областям Украины. Из рисунка видно, что в последние годы осадки на большей территории Украины уменьшаются. Если нормы осадков двух периодов рассмотреть по нормам каждого вида осадков, тогда можно оценить вклад каждого. Каждый вид осадков имеет в каждом месяце и сезоне свое пространственно-временное распределение.

Поэтому средние многолетние нормы осадков для месяца или сезона, как было показано во втором параграфе, можно получить при сложении средних многолетних норм каждого вида

осадков. Особенный интерес представляют сильные и очень сильные суточные осадки, т.к. они могут создавать во все сезоны различную сте-

пень риска для экономики и жизнедеятельности человека.

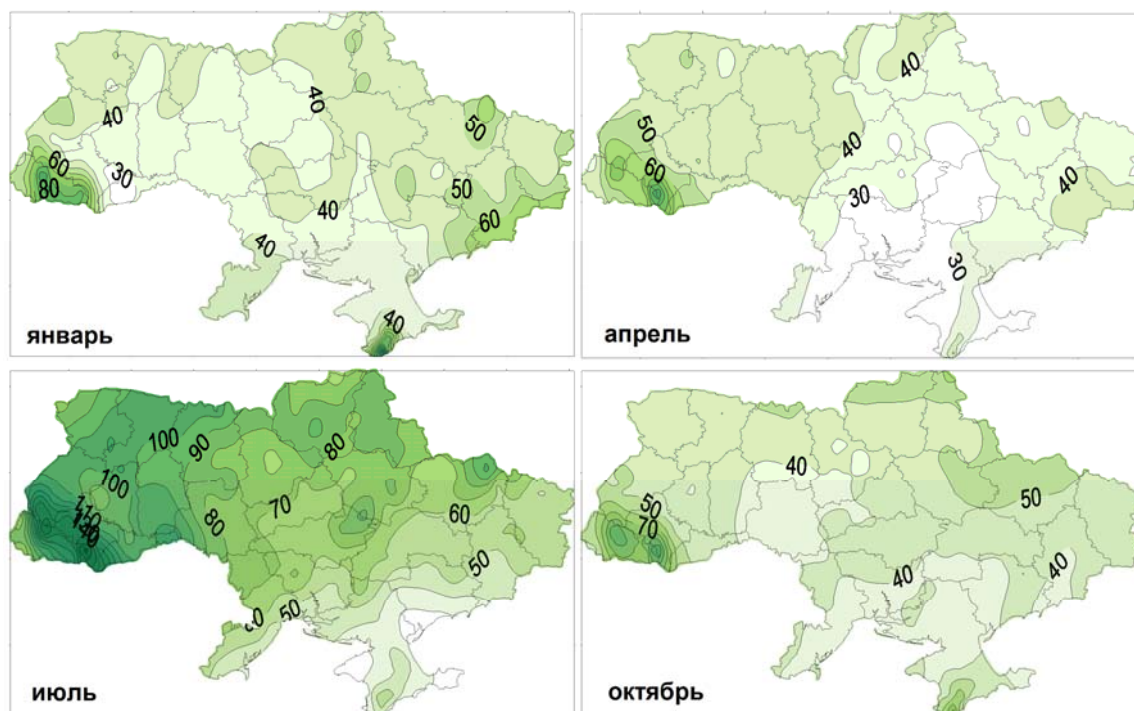


Рис. 1 – Среднее многолетнее количество осадков за период 2000-2014 гг.

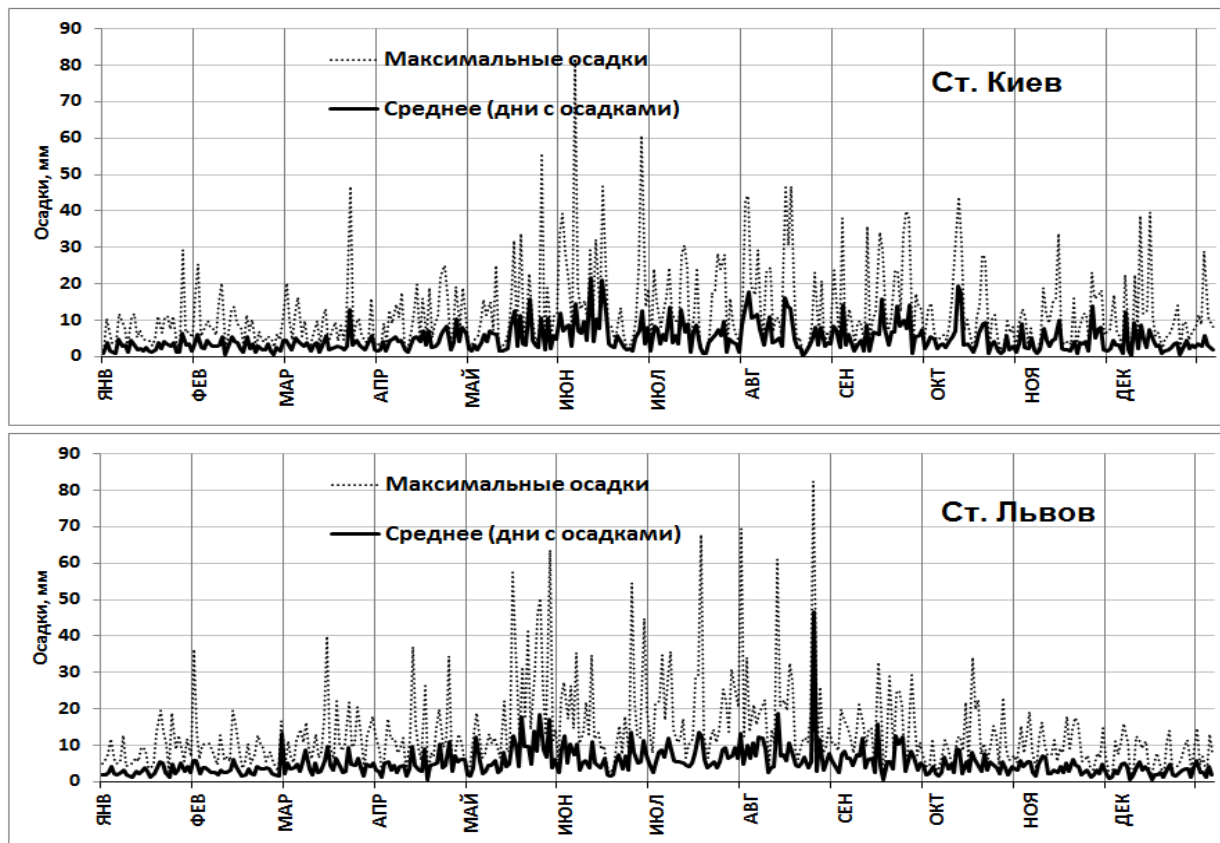


Рис. 2 – Годовой ход средних и максимальных суточных осадков по ст. Львов и Киев за 2000-2016 гг.

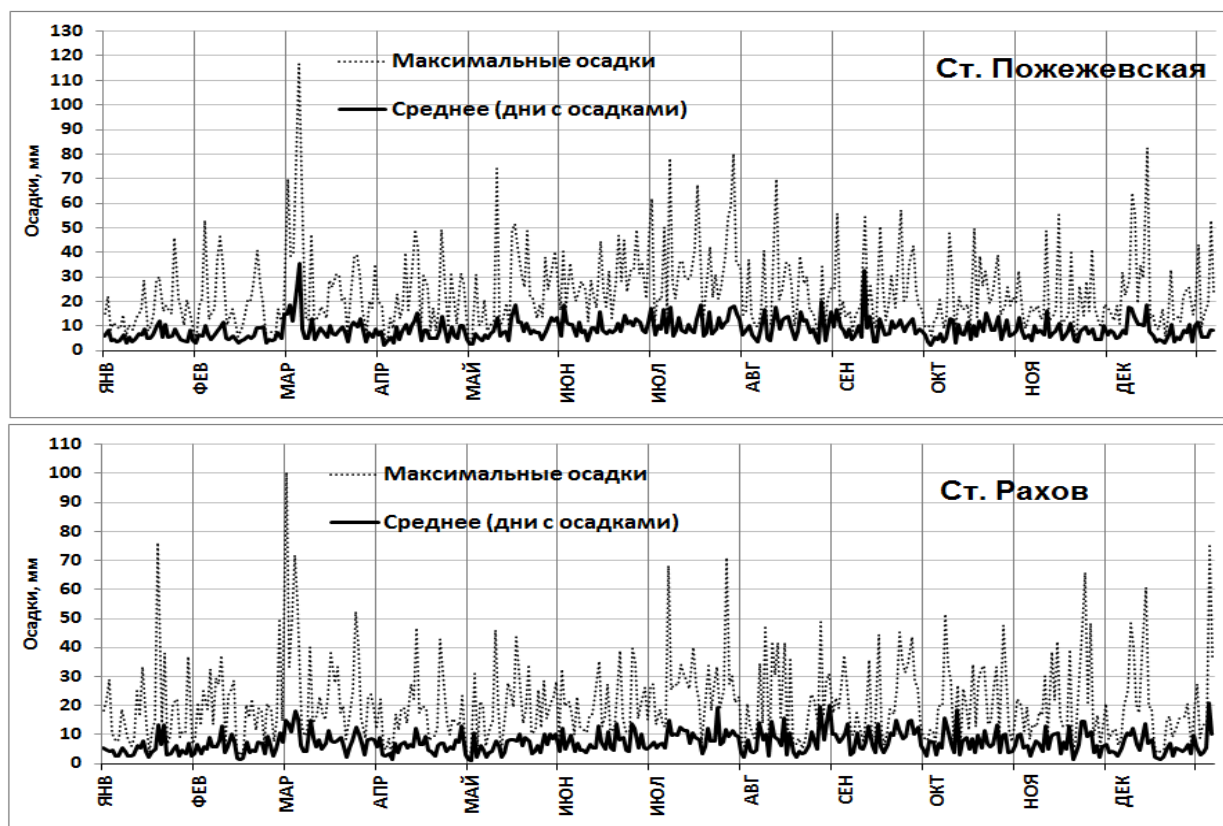


Рис. 3 – Годовой ход средних и максимальных суточных осадков по ст. Пожежевская и Рахов за 2000-2016 гг.

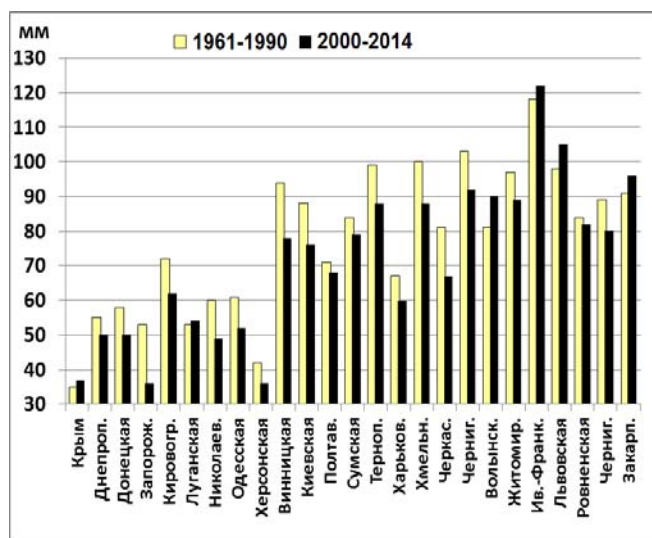


Рис. 4 – Средние многолетние суммы осадков по областям Украины: 1961-1990 гг. и 2000-2014 гг.

4. СООТНОШЕНИЕ СУТОЧНЫХ ОСАДКОВ ДО 15 ММ И БОЛЕЕ 15 ММ В МЕСЯЧНЫХ НОРМАХ ОСАДКОВ ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ

Растущее число исследований указывает на наличие существенных тенденций к увеличению экстремальных осадков в Европе в течение последних десятилетий, которые привели к крупным наводнениям в Европе [2-4, 8-13]. Эти со-

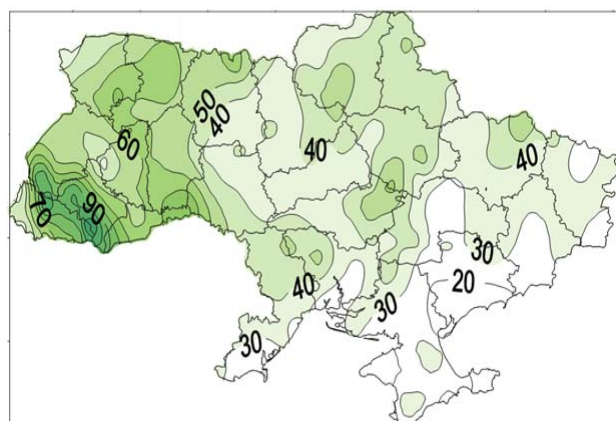
бытия, связанные с экстремальными аномальными осадками, показывают, что характер осадков становится более экстремальным в последние годы по сравнению с предыдущими десятилетиями. Приведенная ниже таблица 1 показывает экстремальность осадков в последние годы по ст. Киев. Данные таблицы были рассчитаны по пятнадцатилетним периодам с 1970 г. Количество дней без осадков от периода к периоду увеличивается, наибольшее число дней без осадков отмечается в последнем периоде. Также в этом периоде наблюдается уменьшение дней с осадками ниже 15 мм. В результате выпадение экстремальных осадков за сутки в последнем периоде повысилось.

Для того, чтобы проанализировать эти изменения по территории Украины, представим средние многолетние значения месячной суммы осадков в виде двух слагаемых: $\bar{R} = \bar{R}_r + \bar{R}_d$, где \bar{R}_r – средняя многолетняя сумма экстремальных осадков 15 мм и выше, и \bar{R}_d – среднее многолетнее значение суммы суточных осадков ниже 15 мм. Процентное отношение этих двух составляющих в месячной норме осадков позволит определить норму экстремальных осадков в каждом месяце и сезоне.

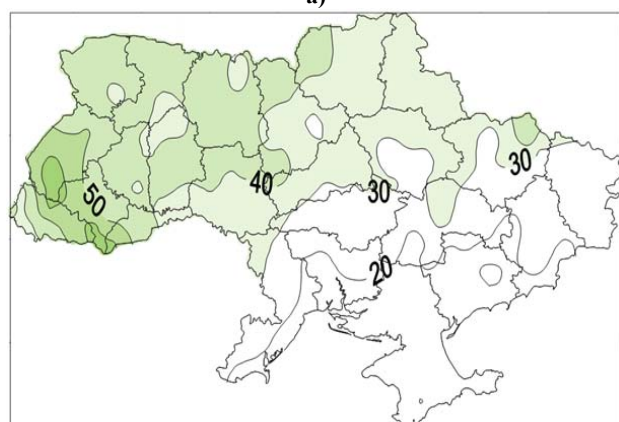
Таблица 1 – Изменение режима осадков июля по ст. Киев в период 1970-2014 гг.

	1970-1984 гг.	1985-1999 гг.	2000-2014 гг.
Средняя месячная сумма осадков, мм	53	66	61
Количество дней без осадков	314	319	334
Количество дней с осадками ≥ 15 мм	14	18	17
Количество дней с осадками < 15 мм	137	128	114
Сумма осадков ≥ 15 мм/сутки, мм	328,8	448,8	443,0
Сумма осадков < 15 мм/сутки, мм	460,5	544,0	471,0

Так, например, рассмотрим сумму осадков июля ниже 15 мм за период 2001-2014 гг. (см. рис. 5а). Средняя сумма осадков ниже 15 мм за июль, которые выпадают в западной половине Украины, составляет более 60 мм за месяц, а в районе Карпат – до 100 мм. На остальной территории в среднем за месяц таких осадков



а)



б)

Рис. 5 – Нормы осадков июля за период 2000-2014 гг.: а) случаев < 15 мм/сутки, б) случаев ≥ 15 мм/сутки

выпадает меньше, а их сумма снижается к юго-востоку страны и составляет около 30-50 мм. Как видим из рис. 5а, наибольшая сумма осадков в среднем за месяц приходится на западную территорию Украины, а на остальной территории отмечается пятнистость осадков.

На рис. 5б показано распределение месячной суммы осадков 15 мм за сутки и выше в среднем за период 2000-2014 гг. Наибольшая сумма осадков в среднем за месяц около 40-50 мм приходится на западную территорию Украины, наименьшая сумма осадков отмечается в юго-восточных областях страны.

На рис. 1 представлено среднее многолетнее количество осадков за период 2000-2014 гг. для центральных месяцев сезона по территории Украины. Средние значения осадков июля можно представить двумя ее составляющими, которые показаны на рис. 5а и рис. 5б. Вклад этих составляющих подобен и по количеству и по распределению на территории. При сложении данных рис. 5а и 5б получим распределение суммарных осадков по станциям Украины, приведенным на рис. 1.

Чтобы сравнить вклад экстремальных осадков в месячную сумму осадков в разных регионах, было рассчитано процентное их содержание из общего количества месячных осадков периода 2000-2014 гг. Ниже приводится процентный вклад нормы экстремальных осадков относительно общей месячной нормы осадков для центральных месяцев зимы, весны, лета и осени (рис. 6).

Из рис. 6 видно, что в январе сумма осадков ≥ 15 мм составляет от 5-10 % в общей норме месячных осадков 2000-2014 гг., кроме Карпатского региона, Черновицкой и Одесской областей Украины, где они имеют более 20-25 %. В следующем, весеннем сезоне, количество экстремальных осадков увеличивается и их процентный вклад в норму месячной суммы осадков апреля составляет в большинстве областей около 20 %. К летнему сезону количество осадков ≥ 15 мм увеличивается и в июле их процентный вклад в общую месячную сумму осадков составляет 50-70 %.

К осеннему сезону количество экстремальных осадков уменьшается, однако процент их вклада почти вдвое больше, чем в весенний период. В большинстве регионов вклад составляет около 30-40 %.

Предложенное разделение месячных норм осадков на два слагаемых позволяет определить, каких осадков выпадет больше или меньше в каждом месяце. Максимальное значение экстре-

мальных осадков для каждого месяца за период 2000-2014 гг. также является важной характеристикой. Максимумы экстремальных осадков имеют различные значение в каждом месяце.

На рис. 7 приводятся максимумы суточных экстремальных осадков в центральных месяцах сезонов за период 2000-2014 гг. В зимнее и весеннее время максимум достигает 20-30 мм для большей части территории Украины. При этом в

отдельных районах, максимум экстремальных осадков за сутки достигает 40-50 мм. Самые значительные экстремальные осадки за сутки отмечаются в летний период. Те районы, где за сутки может выпасть более 70 мм, являются наиболее уязвимыми и опасными для жизнедеятельности населения и экономики. В осенний сезон значения максимумов экстремальных осадков доходят до 30-40 мм.

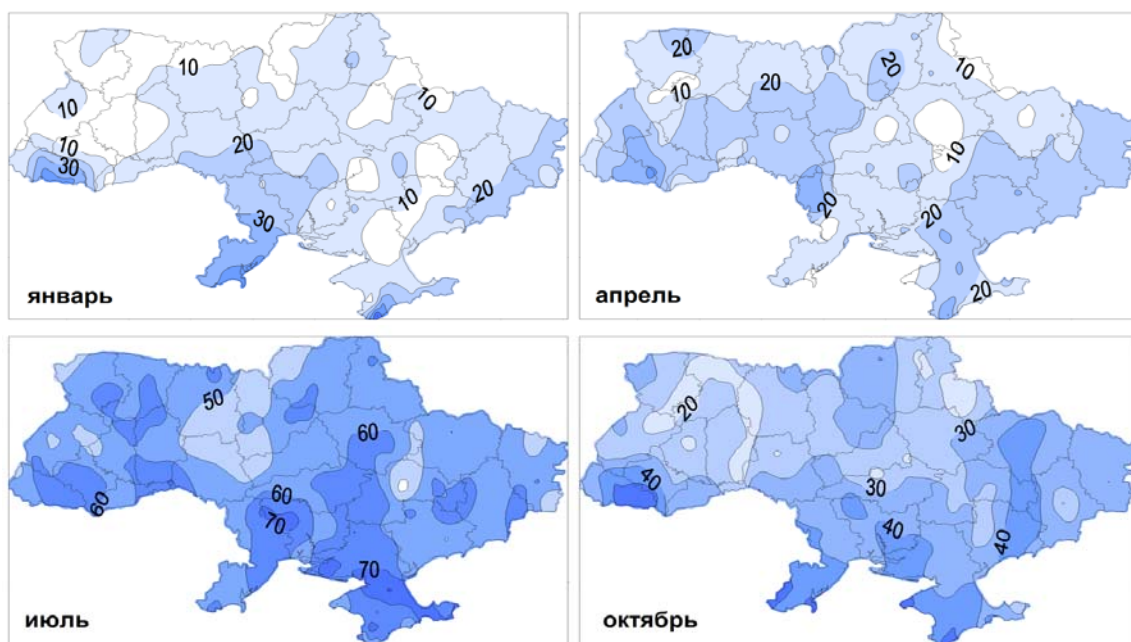


Рис. 6 – Процент экстремальных осадков в норме месячной суммы осадков за период 2000-2014 гг. для центральных месяцев сезона.

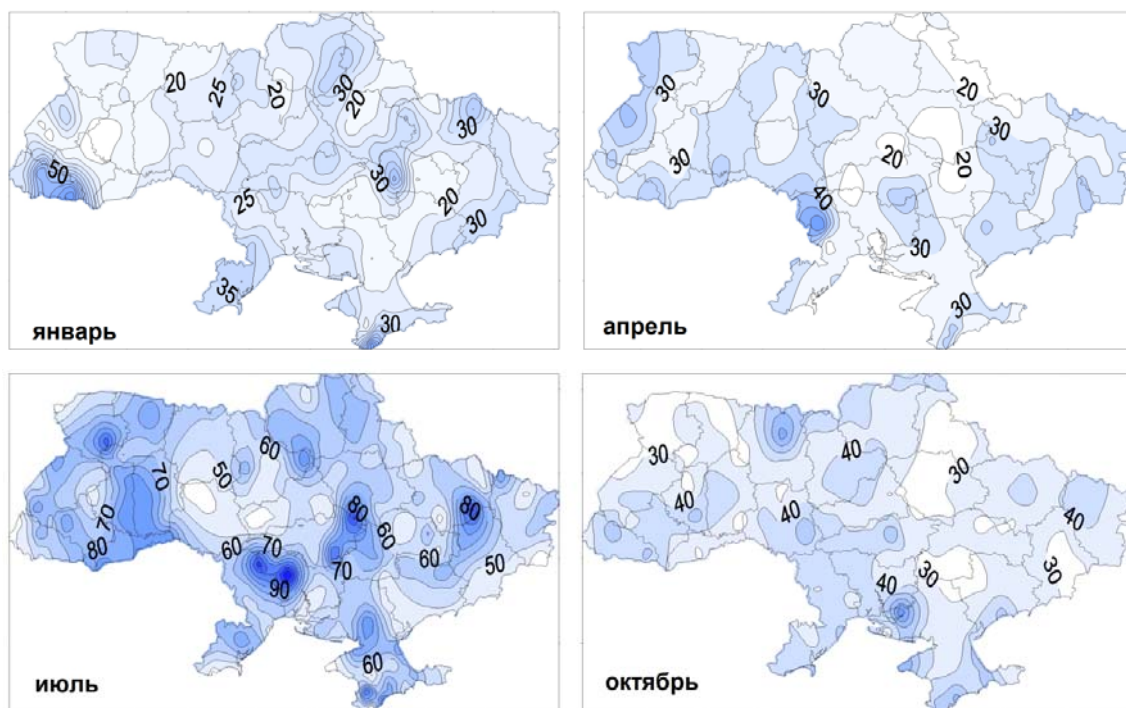


Рис. 7 – Максимальные значения суточных экстремальных осадков в центральных месяцах сезонов за период 2000-2014 гг.

5. ВИСНОВКИ

В даній статті приведені результати досліджень екстремальних опадів на території України в останні десятиліття. На прикладі центральних місяців сезонів показано різниця в місячних сумах опадів. Літні опади на більшій території України майже вдвічі перевищують весняні та осінні опади. Характерною особливістю сучасного режиму опадів є нерівномірне розподілення опадів на протязі місяців.

Для аналізу змін режиму опадів запропоновано розділення норми місячних сум опадів на суму екстремальних та суму помірних опадів. Таке розділення місячної норми опадів в перспективі дозволить:

- уточнити метод довготривалого прогнозу опадів на місяць,
- визначити в подальшому, змінюється чи режим опадів за рахунок екстремальних їх значень,
- виявити уразливі регіони на території України від екстремальних опадів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Drought News August 2015. *European Drought Observatory(EDO)*. URL: <http://edo.jrc.ec.europa.eu> (accessed: 20.02.2018)
2. Alexander, L., Zhang, X., Peterson, T., Caesar, J. et al. (2006). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research*, 2006, 111. <https://doi.org/10.1029/2005JD006290>
3. Степаненко С. М., Польовий А. М., Дем'янюк О.С., Дронова О.О. Зміни режиму опадів в Україні. *Агрометеорологічний журнал*. 2014. № 2. С. 10-17.
4. Klein Tank, A., Können, G. (2003). Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946-99. *Journal of Climate*, 16, 3665-3680.
5. Осадчий В. І., Бабіченко В. М. Динаміка стихійних метеорологічних явищ в Україні. *Український географічний журнал*. 2012. № 4. С. 8-14.
6. Мартазінова В. Ф., Іванова О. К. Сучасний клімат Київської області. Київ : АБЕРС, 2010. 70 с.
7. Мартазінова В. Ф., Іванова Е. К., Щеглов А. А. Тенденція сучасного температурно-вологісного режиму України к аномально сухим та зноним атмосферним процесам в літній сезоні. *Наук. пр. УкрГМІ*. 2016. Вип. 268. С. 15-24.
8. Мартазінова В. Ф., Свердлик Т. А. Зміни великомасштабної атмосферної циркуляції повітря протягом ХХ ст. та її вплив на погодні умови і регіональну циркуляцію повітря в Україні. *Український географічний журнал*. 2001. №2. С. 28-34.
9. Мартазінова В. Ф., Іванова О. К. Зміни великомасштабної циркуляції атмосфери та їх вплив на регіональну циркуляцію і погодні умови. *Стихійні метеорологічні явища на території України за останні двадцятиріччя (1986-2005 рр.)* / за ред. В. М. Ліпінського, В. І. Осадчого, В. М. Бабіченко. Київ : Вид-во "Ніка-Центр", 2006. 312 с.
10. Мартазінова В. Ф., Бахмутов В. Г., Чайка Д. Ю. Вплив глобального потеплення на зміну великомасштабної атмосферної циркуляції та формування аномальних погодних умов в Україні. *Доповіді НАН України*. 2006. № 2. С. 105-110.
11. Brands, S., Manzanos, R., Gutierrez, J.M. (2012). Seasonal Predictability of Wintertime Precipitation in Europe Using the Snow Advance Index. *American Meteorological Society*, 25, 4023-4028.
12. Van den Besselaar, E.J.M., Klein Tank, A.M.G., Buishand, T.A. (2013). Trends in European precipitation extremes over 1951-2010. *International Journal of Climatology*, 33(12), 2682-2689.
13. Ефимов В. А., Івус Г. П., Нажмудінова Е. Н. К вопросу о формировании весенних засух на территории Украины. *Метеорологія, кліматологія та гідрологія*. 2008. Вип. 50. С. 64-70.
14. Matygin, A., Ivanov, S., Ivus, G., Palamarchuk, J. (2010). Changes in the precipitation and runoff regimes over the Eastern Europe. *EGU General Assembly Conference Abstracts*. Vienna, Austria, vol. 12, pp. EGU2010-8087.
15. Łupikasza, E., Hansel, S., Matschullat, J. (2010). Regional and seasonal variability of extreme precipitation trends in southern Poland and central-eastern Germany 1951-2006. *International Journal of Climatology*, 31, 2249-2271.
16. Maraun, D., Osborn, T., Rust, H. (2011). The influence of synoptic airflow on UK daily precipitation extremes. Part I: Observed spatio-temporal relationships. *Climate Dynamics*, 36, 261-275.
17. Настанова по службі прогнозів та попереджень про небезпечні та стихійні явища погоди. Київ : Держ. гідрометеорологічна служба, 2003. 30 с.
18. Agel, L., Barlow, M., Qian, J.H., Colby, F., Douglas, E., Eichler, T. (2015). Climatology of Daily Precipitation and Extreme Precipitation Events in the Northeast United States. *Journal of Hydrometeorology*, 16(6), 2537-2557.
19. Мартазінова В. Ф., Савчук С. В., Витвицька І. В. Состояние средней суточной температуры воздуха и суточного количества осадков зимнего сезона в XX столетии по Киеву. *Наук. праці УкрНДГМІ*. 2007. Вип. 256. С. 7-18.
20. Hoerling, M., Eischeid, J., Perlwitz, J., Quan, X.W., Wolter, K. (2016). Characterizing recent trends in U.S. heavy precipitation. *J. Climate*, 29(7), 2313-2332.
21. Alexander, L.V., Zhang, X., Peterson, T.C. et al. (2006). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 111, 1-22.
22. Мартазінова В. Ф., Сологуб Т. А., Іванова О. К. Довгострокове прогнозування середньої місячної температури повітря та місячної суми опадів для території України. *Зб. Системні дослідження та моделювання в землеробстві*. Київ : Агрпропром. 1997. С.17-28.
23. Мартазінова В. Ф., Іванова Е. К. Классификация синопических процессов по методу полей эталонов и ее применение в долгосрочном прогнозе погоды. *Труды научного семинара «Проблемы и достижения долгосрочного метеорологического прогнозирования, 5-7 октября 2011*. Киев : Ника-Центр, 2011. С. 40-46.
24. Багров Н. А. О распределении месячных сум опадков. *Труды ЦИП*. 1965. Вип. 139. С. 3-21.
25. Юдин М. И. К использованию гиперболических тангенсов нормированных аномалий опадков в

статистических прогнозах. *Труды ГГО*. 1972. Вып. 273. С. 157-165.

26. Alexander, L.V. (2016). Global observed long-term changes in temperature and precipitation extremes: A review of progress and limitations in IPCC assessments and beyond. *Weather and Climate Extremes*, 11, 4-16.

REFERENCES

1. Drought News August 2015. *European Drought Observatory(EDO)*. Available at: <http://edo.jrc.ec.europa.eu> (accessed: 20.02.2018)
2. Alexander, L., Zhang, X., Peterson, T., Caesar, J. et al. (2006). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research*, 2006, 111. <https://doi.org/10.1029/2005JD006290>
3. Stepanenko, S.M., Polevoy, A.M., Demyanyuk, O.S., Dronova, O.O. (2014). Changes in rainfall regime in Ukraine. *Ahroekologichnyi zhurnal* [Agroecological journal], 2, 10-17. (In Ukr.).
4. Klein Tank, A., Können, G. (2003). Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946-99. *Journal of Climate*, 16, 3665-3680.
5. Osadchy V.I., Babichenko V.M. Dynamics of extreme meteorological phenomena in Ukraine. *Ukrayins'kyi heohrafichnyi zhurnal* [Ukrainian Geographical Journal], 2012. no. 4. pp. 8-14. (In Ukrainian)
6. Martazynova, V.F., Ivanova, O.K. (2010). *The modern climate of the Kiev region*. Kyiv: "AVERS" Publ. (In Ukr.).
7. Martazynova, V.F., Ivanova, E.K., Shcheglov, A.A. (2016). The tendency of modern temperature and humidity regime of Ukraine to abnormally dry and sultry atmospheric processes in the summer season. *Naukovi pratsi UkrHMI* [Proceedings UHMI], 268, 15-24. (In Russ.).
8. Martazynova, V.F., Sverdluk, T.A. (2001). Changes of large-scale atmospheric circulation during the XXth century and its influence on weather conditions and regional circulation in Ukraine. *Ukrayins'kyi heohrafichnyi zhurnal* [Ukrainian Geographical Journal], 2, 28-34. (In Russ.).
9. Martazynova, V.F., Ivanova, O.K. (2006). Zminy velykomasshtabnoi tsyrkuliatsii atmosfery ta ikh vplyv na rehionalnu tsyrkuliatsiiu i pohodni umovy [Changes of the large-scale atmospheric circulation and their impact on regional circulation and weather conditions]. In: V.M. Lipinsky, V.I. Osadchy, V.M. Babichenko (Eds). *Stykhiini meteorologichni yavysysha na teritorii Ukrainy za oclannie dvadtsiatichia (1986-2005 rr.)* [Natural spatial phenomena in the territory of Ukraine during the last twenty years (1986-2005)]. Kyiv: "Nika-Center". (In Ukr.).
10. Martazynova, V.F., Bakhmutov, V.G., Chayka, D.Yu. (2006). The influence of global warming on the change in large-scale atmospheric circulation and the formation of anomalous weather conditions in Ukraine. *Dopovidi NAN Ukrainy* [Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine], 2, 105-110. (In Russ.).
11. Brands, S., Manzanar, R., Gutierrez, J.M. (2012). Seasonal Predictability of Wintertime Precipitation in Europe Using the Snow Advance Index. *American Meteorological Society*, 25, 4023-4028.
12. Van den Besselaar, E.J.M., Klein Tank, A.M.G., Buishand, T.A. (2013). Trends in European precipitation extremes over 1951-2010. *International Journal of Climatology*, 33(12), 2682-2689.
13. Efimov, V.A., Ivus, G.P., Nazmudinova, E.N. (2008). To the question of the formation of spring droughts in the territory of Ukraine. *Meteorolohiya, klimatolohiya ta hidrolohiya* [Meteorology, climatology and hydrology], 50, 64-70. (In Russ.).
14. Matygin, A., Ivanov, S., Ivus, G., Palamarchuk, J. (2010). Changes in the precipitation and runoff regimes over the Eastern Europe. *EGU General Assembly Conference Abstracts*. Vienna, Austria, vol. 12, pp. EGU2010-8087.
15. Lupikasza, E., Hansel, S., Matschullat, J. (2010). Regional and seasonal variability of extreme precipitation trends in southern Poland and central-eastern Germany 1951-2006. *International Journal of Climatology*, 31, 2249-2271.
16. Maraun, D., Osborn, T., Rust, H. (2011). The influence of synoptic airflow on UK daily precipitation extremes. Part I: Observed spatio-temporal relationships. *Climate Dynamics*, 36, 261-275.
17. *Nastanova po sluzhbi prohnoziv ta sposterezhen pro nebespechni ta stykhiini yavysysha pohody* [Guide to the service of forecasts and warnings on dangerous and natural weather phenomena]. (2003). Kyiv: State Hydrometeorological Service. (In Ukr.).
18. Agel, L., Barlow, M., Qian, J.H., Colby, F., Douglas, E., Eichler, T. (2015). Climatology of Daily Precipitation and Extreme Precipitation Events in the Northeast United States. *Journal of Hydrometeorology*, 16(6), 2537-2557.
19. Martazynova, V.F., Savchuk, S.V., Vitvitskaya, I.V. (2007). The state of the daily air temperature and daily precipitation of the winter season in the twentieth century in Kiev. *Naukovi pratsi UkrNDHMI* [Proceedings UHMI], 256, 7-18. (In Russ.).
20. Hoerling, M., Eischeid, J., Perlwitz, J., Quan, X.W., Wolter, K. (2016). Characterizing recent trends in U.S. heavy precipitation. *J. Climate*, 29(7), 2313-2332.
21. Alexander, L.V., Zhang, X., Peterson, T.C. et al. (2006). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 111, 1-22.
22. Martazynova, V.F., Sologub, T.A., Ivanova, O.K. (1997). Long-term forecasting of the average monthly temperature of air and monthly amount of precipitation for the territory of Ukraine. *Zb. Systemni doslidzhennya ta modelyuvannya v zemlerobstvi* [System Research and Modeling in Agriculture]. Kyiv: "Agroprom", pp.17-28. (In Ukr.).
23. Martazynova, V.F., Ivanova, E.K. (2011). Classification of synoptic processes by the field –etalon method and its application in the long-term weather forecast. *Trudy nauchnogo seminaru "Problemy i dostizheniya dolgosrochnogo meteorologicheskogo prognozirovaniya"* [Proceedings of the scientific seminar "Problems and achievements of long-term meteorological forecasting"], October 5-7. Kiev: "Nika-Center", pp. 40-46. (In Russ.).
24. Bagrov, N.A. (1965). *O raspredelenii mesiachnykh sum osadkov* [On the distribution of monthly precipitation]. *Trudy TSIP* [Proceedings Central Institute of Forecasts], 139, 3-21. (In Russ.).
25. Yudin, M.I. (1972). K ispolsovaniyu giperbolicheskikh tangensov normirovannykh anomaliiy osadkov v ststisticheskikh prognozakh [On the use of hyperbolic tangents of normalized precipitation anomalies in statistical forecasts]. *Trudy GGO* [Proceedings Main Geophysical Observatory], 273, 157-165. (In Russ.).
26. Alexander, L.V. (2016). Global observed long-term changes in temperature and precipitation extremes: A review of progress and limitations in IPCC assessments and beyond. *Weather and Climate Extremes*, 11, 4-16.

NATURE OF EXTREME PRECIPITATION OVER UKRAINE IN THE 21ST CENTURY

V. F. Martazinova, O. Shcheglov

*Ukrainian Hydrometeorological Institute of the State Service of Emergencies and
National Academy of Sciences of Ukraine,
Pr. Nauki, 37, 03028, Kiev, Ukraine, vazira@gmail.com*

The article examines the state of precipitation over the territory of Ukraine over recent decades. Through the example of central months of the seasons differences in monthly and average daily precipitation amounts for the period of 2000-2014 are shown. Within the most territory of Ukraine summer precipitation is almost twice as high as spring and autumn one. During all seasons the greatest amount of precipitation is observed in the Carpathian region. Distribution of average long-term precipitation values over the rest of the territory coincides in spring, summer and autumn: the highest precipitation values are observed in the western and north-western parts and decrease to the south-east.

The article studies a yearly precipitation rate at low-land and mountain meteorological stations. It proposes to separate criteria of precipitation extremality depending on the regions. All extreme daily precipitation can be divided into the following categories: > 20-30 mm / day, > 30-50 mm / day, > 50 mm / day. Each category of extreme precipitation has its a certain economic risk, but the third class can cause not only economic risks, but also risks associated with human life and activities. The distinct feature of the present-day precipitation consists in redistribution of precipitation in the middle of the months, when a daily precipitation rate increases together with intervals between heavy rains.

In order to analyze the changes of precipitation regime, the approach of dividing the rates of monthly precipitation amount by the rates of extreme and non-extreme precipitation is proposed. A comparative analysis of daily precipitation in different seasons and over different climatic periods was also carried out. The article studies the proportion of daily precipitation of up to 15 mm and the one exceeding 15 mm forming a part of monthly rates of precipitation over the territory of Ukraine. In January, rainfalls exceeding 15 mm make up from 5-10 % of the total amount of monthly precipitation, except the Carpathian region and the southwestern regions of Ukraine where those exceed 20-25 %. In spring, the amount of rainfalls increases and its percentage of the monthly precipitation amount is around 20 % over most of the regions. Until summer, the amount of rainfalls increases and in July its percentage is 50-70 %. Until autumn, the amount of those starts decreasing, however, the percentage of rainfalls is almost twice as high as in spring, and for most of the regions it is about 30-40 %. Such breakdown of the monthly precipitation rates into two components allows determination during a period in question of precipitation amounts we have each month.

The maximum daily precipitation amounts serve as an important indicator of the precipitation regime which shows the potential danger from extreme precipitation. For different regions the threshold values of the upper limit of rainfalls taken as a maximum daily value for the period of 2000-2014 differ. In winter and spring time, the limit of rainfalls amount per day usually hits 20-30 mm for the most territory of the country. At the same time there are certain areas where the limit values of the daily rainfalls rate reach 40-50 mm. The most significant rainfalls are observed in summer. Despite the fact that the territory of such rainfalls is quite patchy, nevertheless, those areas where precipitation rate over one day may reach 70 mm are the most vulnerable and have high risks for human life and activities. In autumn, the threshold values are 30-40 mm.

The breakdown of the rates of monthly precipitation amount into extreme and non-extreme ones allows determination in future of whether the precipitation regime changes because of extreme or non-extreme values. Also, in the long run, a comparative analysis of the rates of showers and weak rainfalls in the late 20th and early 21st centuries can be carried out and a tendency of precipitation regime seasonal change over the next decade can be obtained which will help us to identify vulnerable regions suffering from extreme precipitation rates.

Key words: extreme precipitation, climate, climate change, precipitation rates, precipitation regime

ХАРАКТЕР ЕКСТРЕМАЛЬНИХ ОПАДІВ ПОЧАТКУ XXI СТОЛІТТЯ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

В. Ф. Маргазінова, А. А. Щеглов

*Український гідрометеорологічний інститут ДСНС та НАН України,
пр. Науки, 37, 03028, Київ, Україна, vazira@gmail.com*

В статті розглядається стан опадів на території України в останні десятиліття. На прикладі центральних місяців сезонів показані відмінності у місячних сумах і середніх добових сум опадів за період 2000-2014 рр. Літні опади на більшій території України майже вдвічі перевищують весняні та осінні опади. У всі сезони найбільша кількість опадів випадає в Карпатському регіоні. Розподіл середніх багаторічних значень опадів по решті території збігається навесні, влітку і восени: найбільші значення опадів відзначаються на заході і північному заході та зменшуються на південний схід.

У статті розглядається річний хід інтенсивності опадів на рівнинних і гірських метеорологічних станціях. Пропонується розділяти критерії екстремальності опадів в залежності від регіонів. Всі екстремальні добові опади можна розділити на класи: > 20-30 мм / добу, > 30-50 мм / добу, > 50 мм / добу. Кожен клас екстремальних опадів несе свій ризик в економіці, але третій клас може принести не тільки ризик в економіці, але і в життєдіяльності людини. Характерна особливість сучасного режиму опадів в XXI столітті простежується в перерозподілі опадів всередині місяців, при якому збільшується добова кількість опадів та періоди між значними опадами.

З метою аналізу змін режиму опадів, запропонований підхід поділу норми місячних сум опадів на норми екстремальних і неекстремальних опадів. Був проведений порівняльний аналіз стану добових опадів різних сезонів і різних кліматичних періодів. У статті розглядається співвідношення добових опадів до 15 мм і більше 15 мм в місячних нормах опадів для території України. У січні зливові опади більше 15 мм складають від 5-10 % в загальній нормі місячних опадів, крім Карпатського регіону та південно-західних областей України, де зливи мають більше 20-25 %. У весняному сезоні кількість зливових дощів збільшується і їх процентний внесок в норму місячної суми опадів у квітні складає близько 20 % для більшості областей. До літнього сезону кількість зливових дощів збільшується, і в липні їх процентний внесок становить 50-70 %. До осіннього сезону кількість зливових дощів зменшується, проте відсоток вкладу зливових дощів майже вдвічі більший, ніж у весняний період і складає для більшості регіонів близько 30-40 %. Такий поділ місячних норм опадів на дві складові дозволяє визначити в поточному періоді, яких опадів випадає більше або менше в кожному місяці.

Максимальні добові суми опадів є важливим показником режиму опадів, який вказує на потенційну небезпеку від екстремальних опадів. Для різних регіонів порогові значення верхньої межі зливових опадів України, що представляють собою максимальне значення за добу за період 2000-2014 рр. відрізняються. У зимовий і весняний час межа суми опадів за добу доходить переважно на більшій території країни до 20-30 мм. При цьому є окремі райони, де граничні значення злив за добу доходять до 40-50 мм. Найзначніші зливові опади за добу відзначаються в літній період. Не дивлячись на те, що є плямистість по території, тим не менш, ті райони, де за добу може випасти більше 70 мм, є найуразливішими і небезпечними для життєдіяльності населення, і мають найбільший ризик економічного збитку. В осінній сезон порогові значення зливових дощів становлять 30-40 мм.

Поділ норми місячних сум опадів на норми екстремальних і неекстремальних опадів дозволить визначити в подальшому, чи змінюється режим опадів за рахунок екстремальних значень або неекстремальних. Також в перспективі можна провести порівняльний аналіз місячних норм зливових і незливових опадів кінця XX і початку XXI століть і отримати тенденцію зміни режиму опадів по сезонах в найближчому десятилітті, щоб виявити уразливі регіони від екстремальних опадів.

Ключові слова: екстремальні опади, клімат, зміна клімату, норми опадів, режим опадів

Подання до редакції : 17. 04. 2018

Надходження остаточної версії : 21. 09. 2018

Публікація статті : 29. 11. 2018

УДК: 551.583

РАЙОНУВАННЯ УКРАЇНИ ПО ВПЛИВУ ЕКСТРЕМАЛЬНИХ ЗНАЧЕНЬ МАКСИМАЛЬНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ У ТЕПЛІЙ ТА ХОЛОДНИЙ ПЕРІОДИ РОКУ

С. В. Савчук¹, Н. М. Ювченко², В. Є. Тимофєєв¹

¹ Відділ кліматичних досліджень та довгострокових прогнозів Українського гідрометеорологічного інституту, пр Науки, 37, 03028, Київ, Україна, Tvvladys@gmail.com

² Одеський державний екологічний університет, вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, Gonani@ukr.net

За даними максимальної добової температури повітря на 186 метеорологічних станціях України розраховано параметри екстремальності максимальної температури повітря для окремих часових періодів, а також відхилення між ними у холодний та теплий періоди року. Виконано районування України з метою виявлення кліматично вразливих районів, за допомогою співставлення, накладання та співпадиння осередків найбільших значень обраних порогів екстремальності. Зроблено висновок про загальне посилення екстремальності у останнє десятиріччя відносно кліматичної норми, виділено райони з найбільшим ступенем екстремальності. В обох періодах року райони на півдні, осередки сходу та центру є найбільш вразливими за даними максимальної температури повітря. У 2001-2010 відносно 1991-2000 рр. зросла повторюваність екстремальних значень середнього максимуму температури повітря: у грудні-березні холодного періоду року, а також у травні-липні для випадків стихійних гідрометеорологічних явищ.

Ключові слова: максимальна температура повітря, холодний (теплий) період року, кліматична вразливість, показники екстремальності

1. ВСТУП

Знання погодо-кліматичного впливу та вразливості вимагає підрахунків, стратегічних оцінок, перспектив, тенденцій у розвитку галузей економіки, використання кліматичної, прогностичної інформації галузями економіки. Необхідно створювати, розвивати, вдосконалювати методи прогнозу, оцінювати їх економічний ефект, розробляти економіко-метеорологічні моделі адаптації споживача до очікуваних умов погоди, обирати заходи захисту від стихійних умов погоди.

Згідно звіту Міжурядової комісії зі змін клімату (ІРСС), в 1991-2010 рр. кількість значних природних катастроф відносно 1960-х років збільшилась у 2,6 рази, що призвело до зростання економічних збитків у розвинених країнах у 7,3 рази [1]. Зазначена тенденція підтверджується і по Україні.

З огляду на соціальні, політичні, економічні проблеми сьогодення в Україні, ймовірна висока гідрометеорологічна вразливість її населення й економіки вимагає чисельної оцінки впливу небезпечних та стихійних гідрометеорологічних явищ (НЯ, СГЯ).

Температура повітря є одним з ключових ін-

дикаторів стану глобального чи регіонального клімату. Важливими показниками є її екстремальні значення, а також інші величини (явища), які так чи інакше пов'язані з температурою – хвилі тепла та похолодання, засухи, суховії, пилові бурі.

2. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

За матеріалами Кліматичної програми України, зміни клімату та глобальної температури призводять останнім часом до змін середньої річної температури повітря в країні [2; 3]. Одночасно, змінюється місячна та добова температура [4-5]. Згідно останніх публікацій, за два останні десятиріччя у центральні місяці сезонів по всій території України середня місячна температура перевищила найвищу за 100 років і зросла відносно кліматологічної норми 1961-1990 рр. [3]. Дослідження середньої та, особливо, максимальної добової температури є актуальними, через підвищення амплітуди сезонних коливань в останні десятиріччя, що супроводжується небезпечними (НЯ) та стихійними (СГЯ) явищами погоди, перш за все значними опадами та посиленням вітру [1]. Зміна атмосферної циркуляції, на фоні якої відбувається посилення

екстремальності клімату, обговорюється в [6-8]. При цьому комплекс небезпечних погодних умов значно впливає на розвиток економіки, сільського господарства, життєдіяльність людини [9]. Актуальність теми обумовлена не тільки розвитком різних господарських галузей, а й підвищенням частоти виникнення небезпечних гідрометеорологічних явищ, в умовах сучасного клімату. Тому наукові статті останніх років присвячуються також виявленню кліматовразливих районів, з розділенням на сезони, або на теплий (квітень-жовтень) та холодний (листопад-березень) періоди. За міру вразливості приймають безрозмірний критерій, що визначає метеорологічну вразливість по обраній метеорологічній величині, розподіл якої відповідає нормальному закону, і яка розраховується як відношення порогового значення екстремума 5%-го процентиля його середнього значення [10].

3. ОПИС ОБ'ЄКТУ ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

З метою виявлення кліматовразливих районів за екстремальними значеннями максимальної температури в Україні у холодний та теплий період, проведено порівняльний аналіз її просторового розподілу у 1961-1990, 1991-2000, 2001-2010, 1991-2014 та 2011-2014 рр. За максимальною добовою температурою повітря, що є об'єктом дослідження, впродовж 1991-2014 рр. на 186 метеорологічних станціях (МС) України, методом математичної статистики розраховано середній максимум, поріг екстремальних значень ($\bar{T}_{\max} + 2\sigma$) максимальної температури; їх відхилення в 1991-2014 рр. відносно 1961-1990 рр., в десятиріччя 2001-2010 рр. відносно 1991-2000 рр., і у 2011-2014 рр. відносно 2001-2010 рр. Визначено повторюваність екстремальних значень максимальної температури більше ($\bar{T}_{\max} + 2\sigma$) у обох періодах року та відповідно критерію СГЯ (35 °C і більше) у теплий період [11]. Також, обраховано відхилення температури між обраними періодами дослідженн. Вихідні дані метеорологічної мережі Держкомгідромету отримано з таблиць ТМ-1 Центральної геофізичної обсерваторії (ЦГО). Районування України проведено за допомогою співставлення, накладання та співпадіння: осередків найбільших значень обраних критеріїв екстремальності, проводиться на прикладі 1991-2000, 2001-2010 рр.

4. ОПИС ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

4.1 Екстремальні значення максимальної температури повітря

Поріг екстремальних значень середнього максимуму температури вказує, як зміниться, тобто розшириться, площа середнього максимуму за умови екстремальної мінливості (рис. 1). За екстремальну мінливість вважатимемо подвійне значення середнього квадратичного відхилення (2σ), а порогом екстремальних значень середнього максимуму температури – значення $\bar{T}_{\max} + 2\sigma$. Його просторово-часовий хід поєднує риси середнього максимуму, що визначає направленість трендів температури, з іншими її показниками (абсолютного максимуму та середнього з абсолютних), що дають уяву про межі коливань. У всі часові інтервали в холодний період поріг екстремальних значень зростає з північного сходу на південь, південний захід, на Закарпатті та в 2011-2014 рр. на заході; а в теплий – з півночі, північного заходу та заходу на південь, південний схід і на Закарпатті, зменшується у Карпатських горах та найбільше зростає на півдні, станціях сходу. У всі періоди дослідження поріг цієї температури у обидва періоди додатний: найнижчим він є на гірських станціях Карпат, а найвищим – на півдні, а у найбільш тепле десятиріччя ХХ сторіччя (1991-2000 рр.) - на сході. Після його підвищення в 2001-2010 рр., він продовжує зростати в 2011-2014 рр. не тільки у теплий період на більшості території, крім АР Крим, районів півдня та сходу, але і у холодний період року, зміщуючи ізотерми на північ. Впродовж холодного періоду підвищення максимальної температури найбільше відзначається на заході у всі обрані періоди, особливо в 2011-2014 рр. (рис. 1, а-г).

Простежимо часові зміни середньої максимальної температури за її відхиленнями між обраними періодами дослідження (рис. 2). Просторово-часовий хід відхилення порогу екстремальних значень середнього максимуму між означеними проміжками часу у порівнянні холодного та теплого періодів має спільні риси та відмінності (рис. 2, а). В обох періодах року відхилення між обраними порогами зазвичай додатне. Від'ємне воно в 2001-2010 відносно 1991-2000 рр. у обох періодах року осередково на заході та у центрі в теплий період (рис. 2, б), у 2011-2014 рр. відносно 2001-2010 рр. на півдні, сході у холодний період року (рис. 2, в).

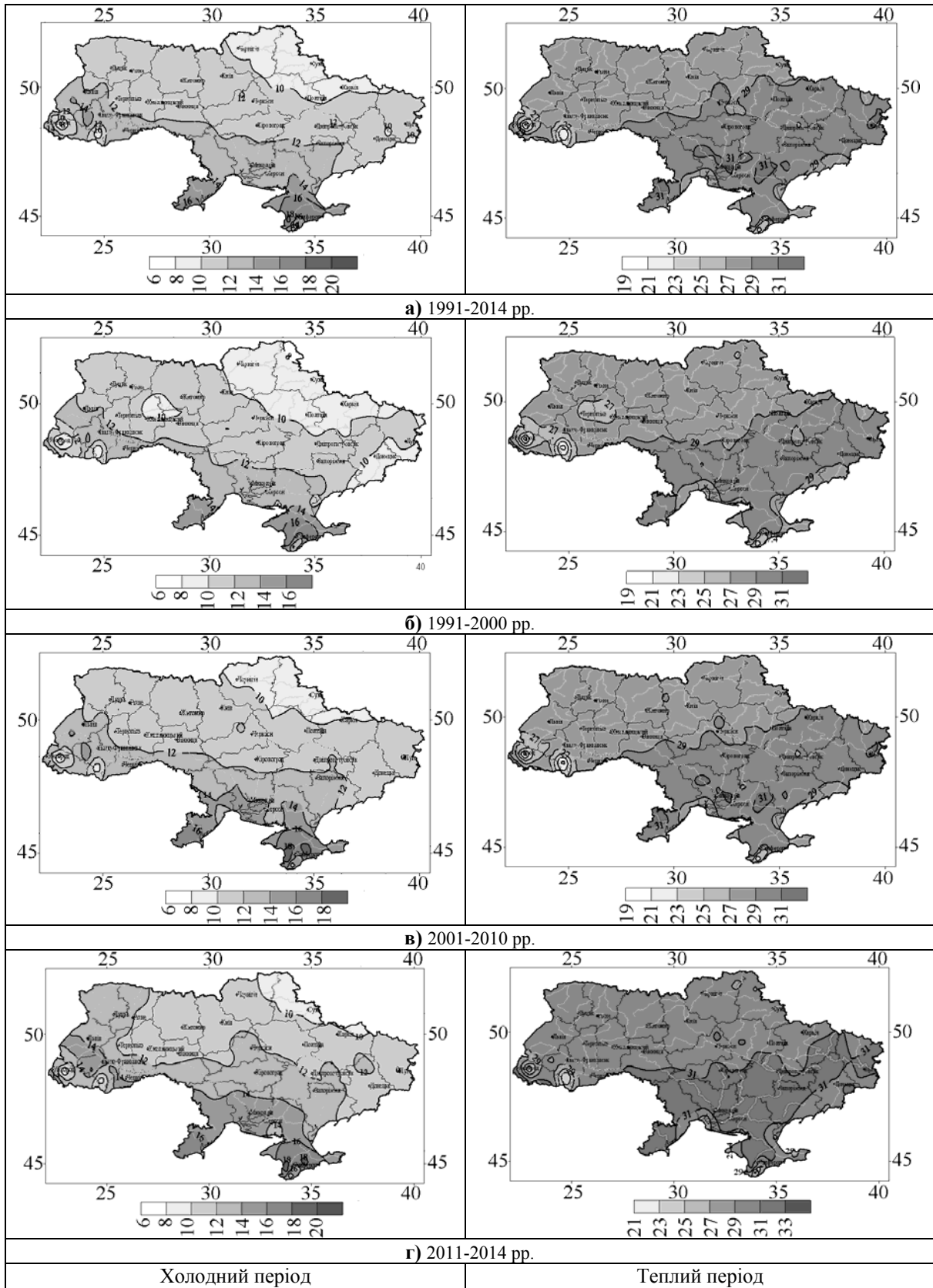


Рис. 1 - Поріг екстремальних значень середнього максимуму температури $\bar{T}_{\max} + 2\sigma$, °C; 1991-2014 pp. (а), 1991-2000 pp. (б), 2001-2010 pp. (в), 2011-2014 pp. (г). Холодний та теплий періоди.

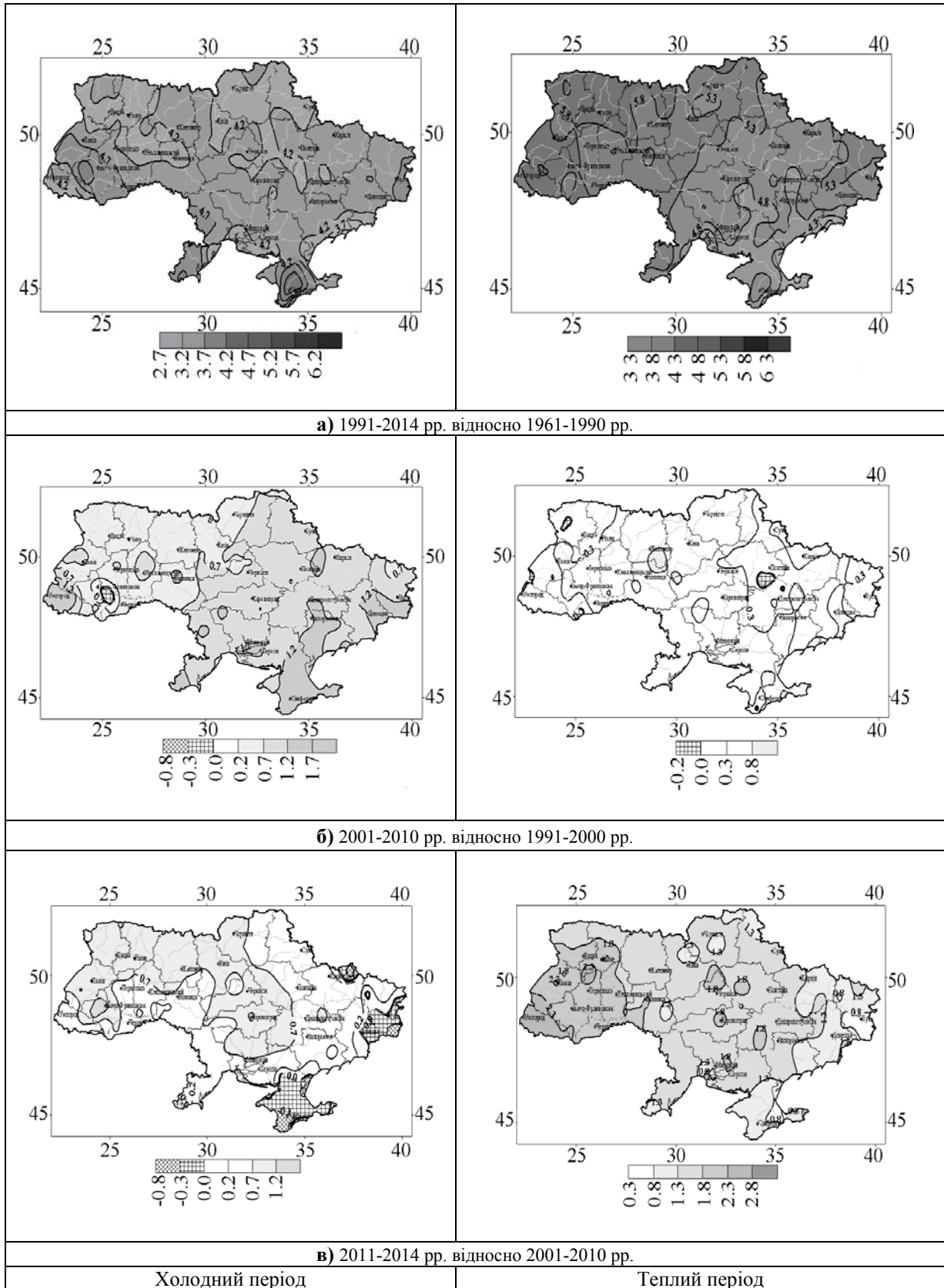


Рис. 2 - Відхилення порогових екстремальних значень середнього максимуму температури повітря ($\bar{T}_{\max} + 2\sigma$) (T , °C) у 1991-2014 рр. відносно 1961-1990 рр. **(а)**, 2001-2010 рр. відносно 1991-2000 рр. **(б)**, 2011-2014 рр. відносно 2001-2010 рр. **(в)**. Холодний та теплий періоди

Важливо, що найбільше додатне відхилення перевищує від'ємне за величиною. Найбільше додатне відхилення порогу середнього максимуму температури повітря реєструється в 1991-2014 рр. відносно 1961-1990 рр. у обох періодах року, з максимумом у теплий період. Найменше додатне відхилення змінює знак у 2001-2010 відносно 1991-2000 рр. і сягає найбільшого від'ємного в 2011-2014 рр. відносно 2001-2010 рр. у холодний період, а у теплий – знов змінює знак, не змінюючи осередків розташування у періоди року залежно від періодів порівняння на півдні, крайньому заході чи АР Крим. Найбільше додатне відхилення у холодний період року між обраними періодами часу зменшується, а в теплий період – в 2011-2014 рр. збільшується, фіксуючись на крайньому заході чи АР Крим. Додатне відхилення порогу температури обох періодів року у 1991-2014 рр. від 1961-1990 рр., та 2011-2014 рр. від 2001-2010 рр. більше на Правобережжі. Але додатне відхилення у 2001-2010 рр. від 1990-х рр. більше у холодний період – на Лівобережжі, а у теплий період року – на Правобережжі, за виключенням західних областей. Також, у 1991-2014 рр. відносно 1961-1990 рр. у холодний період розподіл відхилення має такі особливості: найменше додатне відхилення реєструється на півночі, північному заході, а найвище – на півдні, Прикарпатті, і також в окремому осередку на крайньому сході. А у теплий період просторова картина розподілу більше виражена з південного сходу на захід (рис. 2 а).

4.2 Повторюваність екстремальних значень максимальної температури повітря

На рис. 3 а-б представлено середню по Україні максимальну повторюваність середнього максимуму температури у межах екстремальних значень ($\bar{T}_{\max} + 2\sigma$) і більше у місяці року відповідно порогу СГЯ (35 °C і більше) у місяці теплого періоду.

Найбільшою ця повторюваність максимальної температури повітря у межах екстремальних значень є у вересні теплого періоду 1991-2001 рр. (найбільша за 24 роки), а у 2001-2010 рр. – у березні холодного (рис. 3 а). Середня по Україні максимальна повторюваність температури, що перевищує поріг СГЯ у теплий період значна у липні та особливо серпні, найбільша у липні 1990-х рр. та особливо серпні 2001-2010 рр. У обох періодах року у 2001-2010 рр. відносно 1991-2000 рр. зростає повторюваність екстремальних значень цієї температури: у груд-

ні, березні у холодному періоді; травні-липні та для СГЯ ще у серпні – у теплому періоді (рис. 3, б).

Для уявлення про просторовий розподіл повторюваності максимальної температури повітря у межах екстремальних значень та вище порогу СГЯ, наведено карти сумарної за кожен період року максимальної повторюваності максимальної температури у цих межах (рис. 4). Розподіл максимальної температури повітря категорії СГЯ порівняно з категорією екстремальних значень уточнює та локалізує райони найбільших значень. Найбільша сумарна за кожен з періодів року повторюваність охоплює найбільші значення порогу екстремальних значень середнього максимуму та СГЯ: на крайньому заході, південному заході, півдні у холодний період та на півдні, південному сході, крайньому сході – у теплий.

Розподіл середньої за кожен період максимальної повторюваності екстремальних значень максимальної температури та СГЯ за теплий період має переважно меридіональну орієнтацію (рис. 4, а-б). Незначна повторюваність екстремальних її значень за холодний період спостерігається на півночі, у центрі, осередках сходу, півдня, Правобережжя, а найбільша – на Лівобережжі, особливо півдні, центрі, станціях заходу, півночі. У теплий період повторюваність екстремальних значень незначна на сході, межуючих районах центру, півдня Правобережжя, станціях півдня, заходу, а найбільша – в осередках півдня, заходу, півночі (рис. 4, а). Розподіл цієї повторюваності за критерієм СГЯ ще виразніший, зростаючи з заходу на схід, південний схід, південь (рис. 4, б). Таким чином, найбільші значення максимальної повторюваності екстремальних значень максимальної температури та СГЯ відзначаються на Лівобережжі, особливо на сході, південному сході, півдні, Закарпатті, щодо обох категорій екстремальності в обидва періоди року. Уяву про посилення вразливості виявлених районів за цією повторюваністю температури у межах екстремальних значень та СГЯ дає її відхилення між десятиріччями (рис. 5).

Розподіл та локалізація найбільшого додатного та від'ємного відхилення 2001-2010 рр. від 1991-2000 рр. середньої за періоди року максимальної повторюваності максимальної температури у межах екстремальних значень має свої особливості.

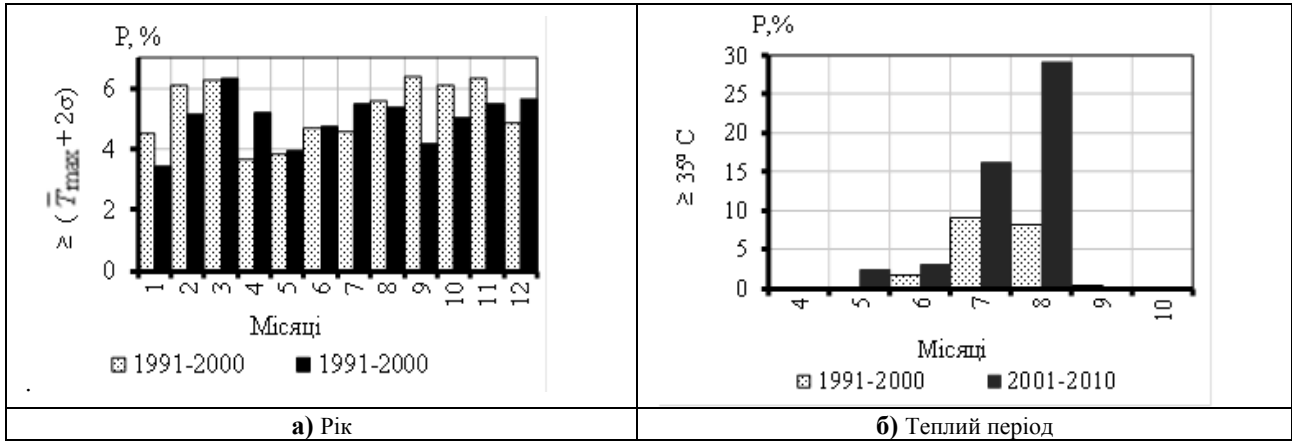


Рис. 3 - Середня по Україні максимальна повторюваність (P, %) середнього максимуму температури повітря (T , °C) у межах категорії екстремальних значень ($\bar{T}_{max} + 2\sigma$) і більше у місяці року **(а)** та вище порогу СГЯ (35°C і більше) у місяці теплого періоду **(б)**. 1991-2000 рр., 2001-2010 рр.

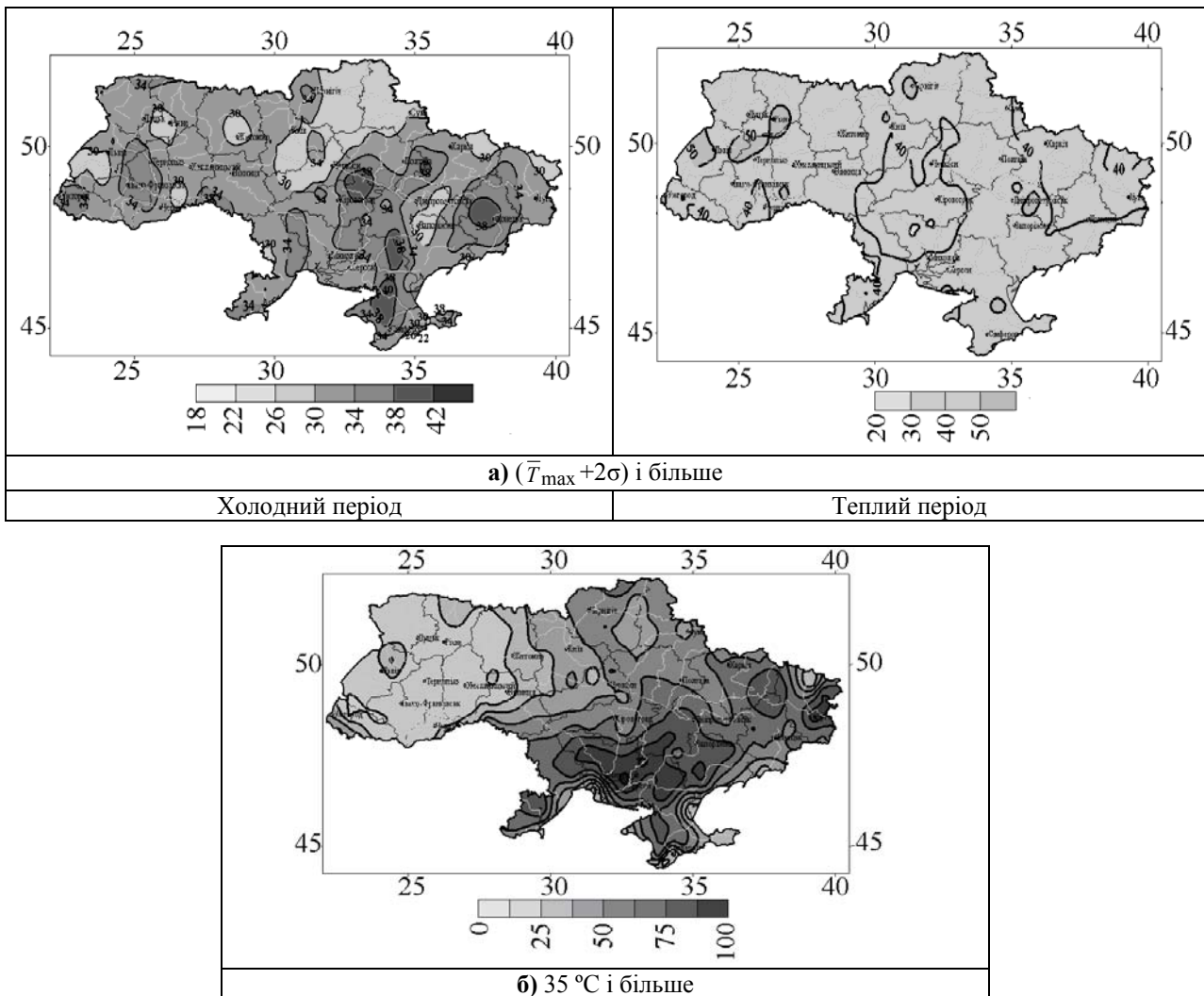


Рис. 4 - Середня за період року максимальна повторюваність (P, %) максимальної температури повітря (T , °C) у межах категорії екстремальних значень ($\bar{T}_{max} + 2\sigma$) і більше **(а)**, та вище порогу СГЯ (35°C і більше) **(б)**. 1991-2014 рр. Холодний та теплий період.

У холодний та теплий періоди локалізація найбільшого додатного та від'ємного значення цього відхилення співпадає лише осередково, на більшості території за знаком відхилення маючи протилежне розташування (рис. 5). У холодний період додатним є відхилення на Правобережжі, крайньому сході, півдні; а у теплий – навпаки, на значній частині Лівобережжя та осередках заходу. У обох періодах значні додатні відхилення цієї повторюваності реєструються у осередках півдня, крайнього сходу, півночі, заходу.

Районування України (рис. 6, а-б) для виявлення посилення вразливості районів, що найчастіше перебувають під впливом екстремальних значень максимальної температури у періоди року, проведено за допомогою співставлення, накладання та співпадіння: осередків найбільших значень порогу екстремальних значень середнього максимуму (а для теплого періоду ще значень згідно критерію СГЯ); сумарної за період року максимальної повторюваності середнього максимуму вище порогу екстремальних значень та СГЯ; та додатного відхилення її повторюваності у 2001-2010 рр. від 1991-2000 рр. Враховано також розташування найбільшого додатного відхилення порогу екстремальних значень середнього максимуму. А саме, у холодний період (рис. 6, а) районування показує:

1) співпадіння трьох показників (найбільші значення порогу середнього максимуму температури, її повторюваності вище порогу екстремальних значень, додатного відхилення цієї повторюваності): станції Причорномор'я, При-

азов'я, Криму, Прикарпаття, Українських Карпат (межуючі райони Львівщини, Івано-Франківщини; Чернівецької, Тернопільської, Хмельницької областей), південний захід Закарпаття;

2) співпадіння двох показників (найбільші значення порогу середнього максимуму температури, її повторюваності вище порогу екстремальних значень): осередки Прикарпаття (північний захід Львівської; межуючі райони Івано-Франківської, Тернопільської, Чернівецької; межуючі райони Чернівецької, Вінницької областей), Причорномор'я, південного Степу (південь Одещини; межуючі райони Одеської, Миколаївської областей; межуючі райони Миколаївської, Дніпропетровської, Запорізької, Херсонської областей, Криму);

3) співпадіння двох з перерахованих показників або найбільші значення повторюваності температури відповідно визначеним критеріям екстремальних значень: станції Закарпаття, Прикарпаття (Чернівецька, межуючі райони Тернопільської, Львівської, Рівненської областей), північного заходу (межуючі райони Волині, Рівненщини), півночі (північний захід Чернігівщини), півдня (межуючі райони Миколаївщини, Кіровоградщини); межуючі райони південних, центральних, східних областей (Миколаївської, Кіровоградської, Черкаської, Полтавської, Харківської, Дніпропетровської); межуючі райони південного сходу, сходу (Запорізької, Дніпропетровської, Донецької, Харківської, Луганської областей).

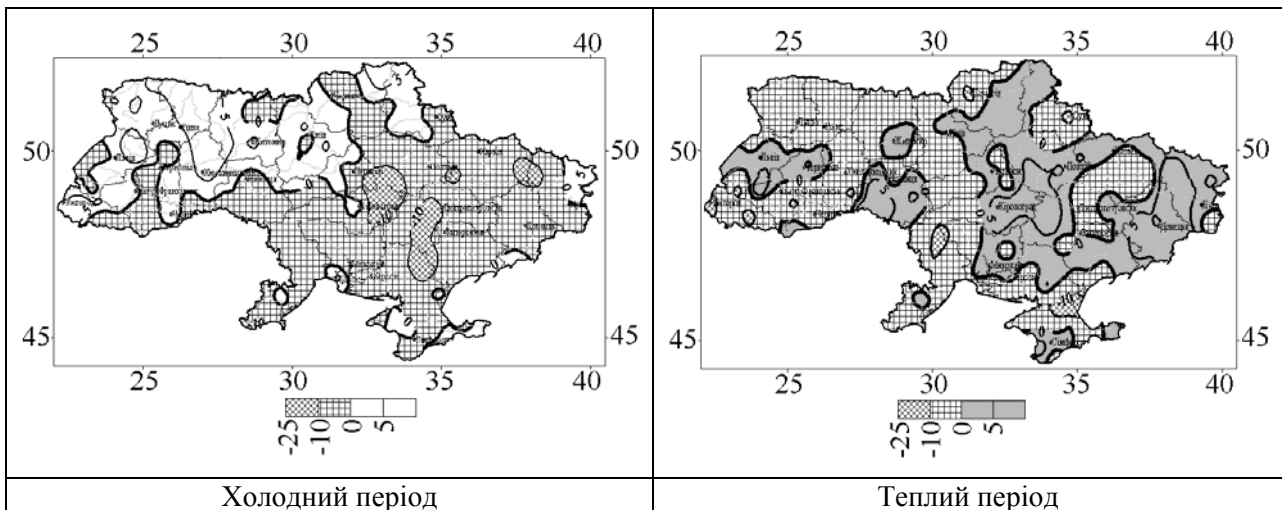


Рис. 5 – Відхилення середньої за період року максимальної повторюваності (P, %) максимальної температури повітря (T, °C) у межах категорії екстремальних значень ($(\bar{T}_{\max} + 2\sigma)$ і більше) у 2001-2010 рр. відносно 1991-2000 рр. Холодний і теплий період.

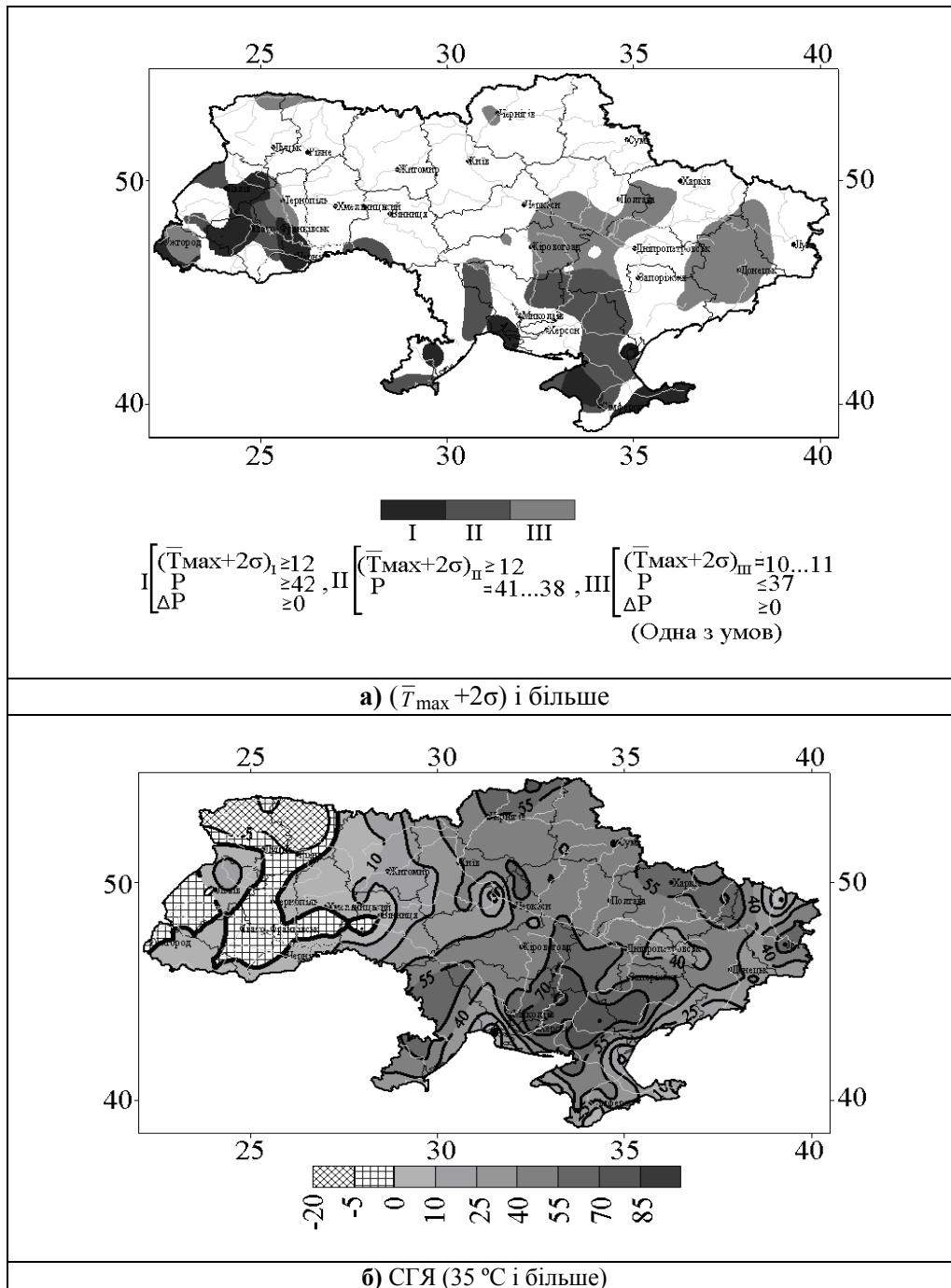


Рис. 6 – Районування за середньою за період року максимальною повторюваністю (P, %) максимальної температури повітря (T, °C) вище порогу екстремальних значень ($\bar{T}_{\max} + 2\sigma$ і більше) та СГЯ (35°C і більше) та її відхиленням (ΔP , %) у цих категоріях у 2001-2010 рр. відносно 1991-2000 рр.: **а)** холодний період. Україна; **б)** теплий період. Україна

У теплий період (рис. 6, б) районування показує райони центру та півдня (схід і південний схід Кіровоградщини, східна частина Миколаївщини, більша частина Херсонщини та Запорізької області, західна частина Дніпропетровщини), осередки сходу (південний схід Сумщини, схід Харківщини та Луганщини), півночі (північ Чернігівщини), центру (межуючі райони Київщини, Черкащини, Полтавщини), півдня (південний захід Одещини).

Райони півдня (станції Причорномор'я, АР Крим, Запорізька, Донецька області), осередки сходу, центру є найбільш кліматовразливими, найчастіше перебуваючи під впливом екстремальних значень максимальної температури, у обох періодах року. Тобто, в цілому, зростає вразливість виявлених районів за даними показників екстремальності максимальної температури повітря.

Наостанок зазначимо, що підвищення ступе-

ню вразливості регіонів за даними максимальної температури повітря відбувається на фоні певних змін у циркуляції атмосфери, зокрема переважанню антициклогенезу у обидва періоди року, із зростанням стійкості елементарного синоптичного процесу у часі [6-7]. З іншого боку, вищезгадане підвищення частоти виникнення небезпечних гідрометеорологічних явищ є наслідком різкої зміни синоптичної ситуації, яка особливо відчувається після періоду стійкої погоди.

5. ВИСНОВКИ

За максимальною добовою температурою повітря на 186 метеорологічних станціях України розраховано параметри екстремальності максимальної температури повітря для окремих часових періодів, а також відхилення між ними у холодний та теплий період року. У теплий та холодний періоди року 2001-2010 рр. відносно 1991-2000 рр. зростає повторюваність екстремальних значень максимальної температури: у березні, грудні; травні-липні та для СГЯ ще у серпні. У холодний період вразливими районами, що найчастіше перебувають під впливом екстремальних значень цієї температури та їх додатних відхилень, є станції Причорномор'я, Приазов'я, Криму, Прикарпаття, південний захід Закарпаття. Районами, що найчастіше перебувають під впливом обох показників екстремальності, є осередки Прикарпаття, межуючі райони Причорномор'я, Південного Степу, Криму. Також за даними одного з двох з перерахованих показників екстремальності виділяють райони Закарпаття, Прикарпаття, північного заходу, півночі, півдня; межуючі райони півдня, центру, сходу; межуючі райони південного сходу, сходу. У теплий період південні області, окремі станції сходу, центру, півночі України – є районами з підвищеним ступенем вразливості, які найчастіше перебувають під впливом максимальної температури вище встановлених порогів. У обох періодах року райони півдня (станції Причорномор'я, Криму, межуючі райони півдня), осередки сходу, центру – є найбільш кліматовразливими, що найчастіше перебувають під впливом показників екстремальності максимальної температури повітря, причому у 2010-2014 рр. цей вплив посилюється.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Bindoff, N.L. et al. (2013). Detection and Attribution of Climate Change: from Global to Regional. In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K. (Eds.). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of*

- Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate. Cambridge University Press, United Kingdom and New York, ch. 10.
2. Клімат України / за ред. Ліпінського В. М., Дячука В. А., Бабіченко В. М. Київ : Вид. Раєвського, 2003. 343 с.
3. Осадчий В. І., Бабіченко В. М. Температура повітря на території України в сучасних умовах клімату. *Український географічний журнал*. 2013. № 4. С. 32-39.
4. Мартазінова В. Ф., Іванова Е. К. Сучасний клімат Київської області. Київ: Аверс, 2010. 70 с.
5. Мартазінова В. Ф., Савчук С. В., Витвицька І. В. Состояние средней суточной температуры воздуха и суточного количества осадков зимнего сезона в XX столетии по Киеву. *Наук. праці УкрНДГМІ*. 2007. Вип. 256. С. 7-18.
6. Мартазінова В. Ф., Іванова Е. К., Чайка Д. Ю. Изменения крупномасштабной атмосферной циркуляции воздуха на протяжении XX века и её влияние на погодные условия и региональную циркуляцию воздуха в Украине. *Геофизический журнал*. 2006. Т. 28(1). С. 51-60.
7. Свердлик Т. А. Эволюция крупномасштабной атмосферой циркуляции воздуха Северного полушария во второй период современного глобального потепления климата. *Наук. праці УкрНДГМІ*. 1999. Вип. 247. С. 63-75.
8. Тимофеев В. Є., Татарчук О. Г. Сучасна мінливість та просторово-часовий розподіл сильних снігопадів на території України в умовах зміни клімату. *Фіз. геогр. та геоморфологія*. 2013. № 1(73). С. 147-154.
9. Бедрицкий А. И., Коршунов А. А., Хандожко Л. А., Шаймарданов М. З. Гидрометеорологическая безопасность и устойчивое развитие России. *Журнал "Право и безопасность"*. 2007. № 1-2(22-23). URL: http://dpr.ru/pravo/pravo_20_2.htm. (дата звернення: 21.05.2018)
10. Загребина Т. А. Статистический анализ матриц сопряженности опасных явлений погоды по территории Удмуртии. *Вестник Удмуртского унив-та*. 2010. Вып. 3. С. 3-11. URL: <http://ru.vestnik.udsu.ru/archive/show/6-2010-3-1>. (дата звернення: 21.05.2018)
11. Настанова по службі прогнозів та попереджень про небезпечні і стихійні явища погоди / за ред. Сосновської Р. П., Кульбиди М. І., Гумоненко Л. В. Київ: Вид-во Держгідромет, 2003. 36 с. URL: http://meteo.gov.ua/files/content/docs/meteo_kerdoc/Nastanova%20po%20sluzhbi%20prognoziv.pdf (дата звернення: 21.05.2018)

REFERENCES

1. Bindoff, N.L. et al. (2013). Detection and Attribution of Climate Change: from Global to Regional. In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K. (Eds.). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate*. Cambridge University Press, United Kingdom and New York, ch. 10.
2. Lipinskiy, V.M., Dyachuk, V.A., Babichenko, V.M. (Eds.). (2003). *Klimat Ukrainy [Climat of Ukraine]*. Kyiv: Publ. Raevskogo.
3. Osadchyi, V.I., Babichenko, V.M. (2013). [Temperature on the territory of Ukraine in the hour of the year]. *Ukrainskyi heografichniy zhurnal [Ukrainian Geographic Journal]*, 4, 32-39. (In Ukr.).
4. Martazinova, V.F., Ivanova, E.K. (2010). *Suchasnyi klimat*

- Kyivskoi oblasti* [The modern climate of Kiev region]. Kyiv: Obers. (In Ukr.).
5. Martazinova, V.F., Savchuk, S.V., Vitvitskaya, I.V. (2007). Sostoyanie sredney sutochnoy temperatury vozdukha i sutochnogo kolichestva osadkov zimnego sezona v XX stoletii po Kievu [On the state of daily mean air temperature and precipitation over the 20th century in Kiev in the winter season]. *Nauk. pratsi UkrNDGMI [Scientific works of the Ukrainian Research Hydrometeorological Institute]*, 256, 7-18. (In Russ.)
 6. Martazinova, V.F., Ivanova, E.K., Chayka, D.Yu. (2006). Izmeneniya krupnomasshtabnoy atmosferynoy tsirkulyatsiyi vozdukha na protyazhenii XX veka i ee vliyanie na pogodnye usloviya i regionalnyu tsirkulyatsiyu vozdukha v Ukrayne [Changes in large-scale atmospheric circulation over the 20th century and its influence on weather conditions and regional air circulation in Ukraine]. *Geofizicheskiy zhurnal [Geophysical Journal]*, 28(1), 51-60. (In Russ.)
 7. Sverdluk, T.A. (1999). Evolyutsiya krupnomasshtabnoy atmosferynoy tsirkulyatsiyi vozdukha Severnogo polushariya vo vtoroy period sovremennoho globalnogo potepeniya klimata [Evolution in the large-scale atmospheric circulation atmosphere of the Northern Hemisphere during in the second period of the global warming period]. *Nauk. pratsi UkrNDGMI [Scientific works of the Ukrainian Research Hydrometeorological Institute]*, 247, 63-75. (In Russ.).
 8. Timofeev, V.E., Tatarchuk, O.G. (2013). Suchasna minlyvist ta prostorovo-chasovyi rozpodil sylnykh snihopadiv na terytorii Ukrainy v umovakh zminy klimatu [Modern variability and spatial and temporal distribution of heavy snowfalls in Ukraine in conditions of the climate change]. *Fiz. geogr. ta geomorfologiya [Physical geography and geomorphology]*, 1(73), 147-154. (In Ukr.).
 9. Bedritskiy, A.I., Korshunov, A.A., Handozhko, L.A., Shaymardanov, M.Z. (2007). Gidrometeorologicheskaya bezo-pasnost i ustoychivoe razvitie Rossii [Hydrometeorological safety and sustainable development of Russia]. *Pravo i bezopasnost [Law and Safety]*, 1-2 (22-23). Available at: http://dpr.ru/pravo/pravo_20_2.htm (accessed: 21.05.2018). (In Russ.).
 10. Zagrebina, T.A. (2010). Statisticheskiy analiz matrits sopryazhennosti opasnykh yavleniy pogody po territorii Udmurtii [Statistical analysis of contingency tables in Udmurtia]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta [Bulletin of the Udmurt University]*, 3, 3-11. Available at: <http://ru.vestnik.udsu.ru/archive/show/6-2010-3-1>. (accessed: 21.05.2018). (In Russ.).
 11. Sosnovska, R.P., Kulbida, M.I., Gumonenko, L.V. (Eds). (2003). *Nastanova po sluzhbi prohoziv ta poperedzhen pro nebezpechni i stykhiini yavyshcha pogody* [Service guidance for forecasting and warning about hazardous and natural weather phenomena]. Available at: http://meteo.gov.ua/files/content/docs/meteo_kerdoc/Nastanova%20po%20sluzhbi%20prohoziv.pdf (accessed: 21.05.2018). (In Ukr.).

REGIONALIZATION OF UKRAINE BASED ON THE INFLUENCE OF EXTREME VALUES OF MAXIMUM AIR TEMPERATURE DURING WARM AND COLD PERIODS OF THE YEAR

S. V. Savchuk¹, N. N. Yuvchenko², V. E. Timofeev¹

¹ *Ukrainian Hydrometeorological Institute,*

37, Pr. Nauki, 03028, Kyiv, Ukraine, Tvvladys@gmail.com

² *Odessa State Environmental University,*

15, Lvivska St., 65016, Odessa, Ukraine, Gonani@ukr.net

Based on the data of maximum daily near-surface air temperature (MSAT) taken from 186 meteorological stations of Ukraine the parameters of extremality with relation to maximum air temperature for different time periods as well as deviations between them during cold and warm periods of the year were calculated. Regionalization of Ukraine was carried out in order to identify climate-vulnerable regions by means of comparison, overlapping and match of the areas with the highest values towards selected extremality thresholds. The conclusion about general increase in extremality over the last decade with relation to a climatic standard is made, the areas with the greatest vulnerability are outlined, and the areas with increase in extremality degree are identified. During both periods of the year certain areas in the southern, central and eastern parts of Ukraine are considered, based on maximum air temperature data, as the most vulnerable ones. During both periods of the year over 2001-2010, as compared to 1991-2000, increase of recurrence of extreme values of average maximum of air temperature was observed: in March and December during the cold period and also from May to July, and in case of EHMP event – in August.

Distribution of maximum air temperature of the EHMP category, in comparison to the category of extreme values, specifies and localizes the regions with the greatest vulnerability. The areas of the highest vulnerability during the cool period comprise the extreme west, south-western and southern regions and during the warm period – southern, south-eastern regions and the extreme east of Ukraine. The spatial distribution of the extreme values of the MSAT for the warm period has a predominantly meridional orientation.

During both periods of the year regions in the south (areas of Black Sea region, Crimea, boundary subregions in the south) areas in the east and center of Ukraine affected by extreme MSAT values are the most vulnerable; in 2010-2014 this influence intensified. Increase in the vulnerability based on the maximum air temperature occurs on the background of certain changes in the atmospheric circulation, under conditions of anticyclonic fields prevalence throughout the year along with increase of the temporal exposure to the elementary synoptic process. On the other hand, the aforementioned increase of recurrence of extreme hydrometeorological phenomena is a consequence of sharp changes of synoptic situation, which is especially the case after a period of settled weather. The conclusion that atmospheric circulation is a main agent responsible for extreme weather and that it is not studied completely so far was made.

Keywords: maximum temperature, cold (warm) period of the year, climatic vulnerability, indicators of extremality

РАЙОНИРОВАНИЕ УКРАИНЫ ПО ВОЗДЕЙСТВИЮ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ МАКСИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ТЕПЛЫЙ И ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОДЫ ГОДА

С. В. Савчук¹, Н. Н. Ювченко², В. Е. Тимофеев¹

¹ Украинский гидрометеорологический институт,
пр. Науки, 37, 03208, Киев, Украина, Tvvladys@gmail.com

² Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, Gonani@ukr.net

По данным максимальной суточной температуры воздуха на 186 метеорологических станциях Украины рассчитаны параметры экстремальности максимальной температуры воздуха для отдельных временных периодов, а также отклонения между ними в холодный и теплый периоды года. Выполнено районирование Украины с целью выявления климатически уязвимых районов, с помощью сопоставления, наложения и совпадения областей наибольших значений выбранных порогов экстремальности. Сделан вывод об общем усилении экстремальности в последнее десятилетие относительно климатической нормы, обозначены районы с наибольшей степенью экстремальности, выделены районы с усилением степени экстремальности. В обоих периодах года районы на юге, очагах востока и центра являются наиболее уязвимыми по данным максимальной температуры воздуха. В обоих периодах года в 2001-2010 относительно 1991-2000 гг. возросла повторяемость экстремальных значений среднего максимума температуры воздуха: в марте и декабре холодного периода года, а также в мае-июле и для случаев СГЯ в августе.

Ключевые слова: максимальная температура воздуха, холодный (теплый) период года, климатическая уязвимость, показатели экстремальности

Подання до редакції : 23. 02. 2018

Надходження остаточної версії : 01. 10. 2018

Публікація статті : 29. 11. 2018

УДК 551.5, PACS: 92.40.De, 92.60.Gn

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПОВТОРЮВАНOSTІ СУХОВІЇВ В УКРАЇНІ В СЕРЕДИНІ ХХ І НА ПОЧАТКУ ХХІ СТОЛІТТЯ

М. О. Сліже

*Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, magribinets@ukr.net*

В статті розглянуто тенденцію зміни просторово-часового розподілу суховіїв на території України в умовах сучасного клімату. Наведено результати аналізу середньої кількості днів з суховієм у періоди 1936-1964 рр. і 1995-2015 рр., та міжсезонної (з квітня по серпень) мінливості днів з суховієм на 14 метеорологічних станціях, розташованих у різних агрокліматичних зонах України. Розглянуто чинники, які могли викликати зміни у повторюваності суховіїв. Результати аналізу свідчать, що зміни у регіональному кліматі, які відбуваються в останні десятиліття, сприяють зростанню повторюваності і розповсюдженості суховіїв на території України.

Ключові слова: суховії, повторюваність суховіїв, просторово-часовий розподіл суховіїв.

1. ВСТУП

Щорічно у тепле півріччя на території України виникає небезпечне явище суховій. Суховій відноситься до гідрометеорологічних явищ, які негативно впливають на продуктивність агропромислового комплексу та родючість ґрунтів. Найбільш шкідливий суховій для ярих зернових культур, тому що на період виникнення суховіїв приходить їх активний розвиток.

Суховії, як і посухи, трапляються на території України майже щорічно у вегетаційний період [1-4], тому дослідження їх просторово-часового розподілу, метеорологічних характеристик і динаміки розвитку в умовах сучасного клімату є актуальною проблемою.

У різних літературних джерелах, явище суховію отримує досить різноманітні визначення, це може пояснюватися як через комплексність самого явища, яке описується одночасно такими метеорологічними величинами як вітер, температура і вологість повітря, так і в залежності від розв'язуваної прикладної задачі, поставленою перед дослідниками. На теперішній час в Україні, за явище суховію, згідно [1], приймають одночасне поєднання хоча б в один строк спостережень таких значень метеорологічних величин: температура повітря $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ і вище, швидкість вітру на висоті 10 м над поверхнею землі 5 м/с і більше та відносна вологість повітря на висоті 2 м над поверхнею землі 30 % і нижче. Суховії, при яких спостерігається температура повітря $\geq 30\text{ }^{\circ}\text{C}$, швидкість вітру $\geq 10\text{ м/с}$ і відносна вологість повітря 25 % і нижче, прийнято вважати інтенсивними.

Одним із перших, хто зробив наукове пояс-

нення виникненню суховіїв був Воєйков А. І. [3, 4]. Він висунув думку, що причиною сухості та високої температури повітря під час суховію є низхідні рухи повітря в передній частині антициклону, або вітри, які дмуть з пустель або сухих степів (адвективний суховій). Далі більш глибокий аналіз було проведено Цубербіллер Е.А. і Ромушкевіч В.І., які показали, що суховії утворюються тільки в певних аеросиноптичних умовах, які надають можливості повітряним масам переміщуватися з північних районів з подальшою їх трансформацією [3, 5]. Наступні дослідження прийшли к висновку, що в будь-якому випадку, виникнення суховіїв пов'язано з формуванням та еволюцією антициклонів. Дзержевський Б. Л. у [6] підкреслюючи відмінність явищ посухи і суховію, вказує на те, що основним процесом, який приводить до утворення посухи і суховію є такий тип загальної циркуляції атмосфери, який забезпечує в будь-якому районі досить тривале існування і розвиток малорухомого антициклону. Далі він зазначає, що часто суховій утворюється наприкінці посушливого періоду, будучи як би завершальним етапом посухи. Зазвичай це пов'язано з поступовим зміщенням антициклону. В роботах Мартазиної В. Ф. та ін. [7-9] показано, що наприкінці ХХ століття частота синоптичних процесів, що призводять до утворення посушливих явищ на території України, різко зменшилася. Але вже перше десятиліття ХХІ століття відзначилося декількома сезонами з сильними та обширними посухами, які утворювалися за рахунок формування стаціонарних або блокуючих антициклонів [10]. Таким чином, визначення тенденцій у повторюваності суховіїв на території України в нинішній

період є достатньо складною, але важливою для агрометеорологічного забезпечення задачею через підвищену міжрічну мінливість та невідомість атмосферних процесів, що викликають суховії.

Мета даного дослідження полягає в уточненні тенденції зміни просторово-часового розподілу суховіїв на території України, яка відбулася у останні десятиліття.

2. МЕТОДИ І МАТЕРІАЛИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Дослідження просторово-часового розподілу суховіїв проводилося шляхом аналізу температурно-вологісного режиму по станціях, розташованих в різних агрокліматичних зонах України. Розглядалися основні агрокліматичні зони, включаючи адміністративні області, що входять в їх кордони [1]. Лісова зона (Полісся) знаходиться на півночі і північному заході України. Лісостепова зона розташована у центральній і східній частинах країни. Зона Степу включає південну і південно-східну частини, та рівнинні райони півострову Крим. До Гірської зони відносяться частина західних областей країни, по яких проходять Українські Карпати, та частина півострову Крим, на якій розташовані Кримські гори.

Як вихідні, у дослідженні були використані дані щоденних строкових спостережень, отримані з сайту агентства NOAA SATELLITE AND INFORMATION SERVICE [11], за період 1995-2015 рр. з квітня по серпень, по 14 метеорологічних станціях, розташованих в різних частинах України.

До станцій, розташованих у зоні Полісся (рис. 1), відносяться: Житомир, Київ, Чернігів. У Лісостеповій зоні – Глухів, Кропивницький, Полтава, Тернопіль. Станції, розташовані у зоні



Рис. 1 – Схема розташування метеостанцій

Степу – Асканія-Нова, Кривий Ріг, Одеса, Сімферополь, Херсон. У Гірській зоні – Ужгород, Чернівці. Вітру за 8 строків щоденних спостережень, за вказаним критерієм були виявлені випадки явища суховіїв, які склали основу відповідної бази випадків суховіїв на відібраних станціях, що надало можливості для визначення міжрічної динаміки їх повторюваності в різних районах України. Метеорологічні параметри суховію були розраховані як середні багаторічні значення відповідних метеовеличин. Для визначення динаміки явища суховію на території України проаналізовано середньорічне і середньомісячне число днів з суховієм на 14 метеорологічних станціях з квітня по серпень за періоди 1995-2015 рр., 2005-2014 рр. і проведено порівняння цих даних з багаторічними даними за періоди 1936-1964 рр. та 1945-1964 рр., взятими з монографії І. С. Бучинського [4]. Для деталізації динаміки в останні десятиліття були приведені дані за період 1991-2000 рр., взяті в роботі [12].

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Аналіз показав, що в межах однієї агрокліматичної зони відбулося як зниження, так і збільшення числа суховійних днів (рис. 2, табл. 1). В Поліссі на ст. Житомир, число суховійних днів зменшилося у 2 рази, у той час як на ст. Чернігів їх кількість збільшилася в 1,3 рази, в порівнянні з періодом 1936-1964 рр. На станціях, розташованих в Гірській зоні Українських Карпат, відзначено зростання числа суховіїв. На ст. Ужгород, їх кількість збільшилася в 3,9 рази, притому значне зростання спостерігалось в останнє десятиліття. У зоні Лісостепу спостерігається як збільшення числа днів з суховієм, так і зменшення. На ст. Тернопіль їх кількість зросла у 2,1 рази в порівнянні з періодом 1945-1964 рр. На ст. Полтава, яка знаходиться в східній частині Лісостепу, число суховійних днів знизилось в 2 рази. Необхідно відзначити, що це зниження спостерігалось вже в 1991-2000 рр., а в останнє десятиліття відбувається продовження цієї тенденції. В зоні Степу, на більшості станцій відзначається зростання числа суховійних днів, найбільш значне збільшення відбулося на станціях Одеса та Сімферополь (в 2,7 і 2,9 рази, відповідно), виняток становили ст. Херсон та Кривий Ріг, де їх зниження склало 2 рази і 1,2 рази, відповідно.

Зміна динаміки річного ходу числа суховійних днів на різних станціях має неоднаковий характер. Однак можна виділити деякі особливості. Так, в квітні місяці зменшення числа сухо-

війні днів зазначалося тільки на двох станціях (Асканія-Нова, Херсон), на інших станціях спостерігалось, або їх збільшення (Київ, Кривий Ріг, Одеса, Полтава, Сімферополь, Ужгород, Чернівці), або відсутність змін в їх числі (Глухів, Житомир, Кропивницький, Тернопіль, Чернігів). В інші місяці, на станціях, розташованих в межах

однієї агрокліматичної зони, може спостерігатися як зростання, так і зменшення числа суховійних днів. Окремо необхідно відзначити станції, де в усі місяці вегетаційного періоду зміна числа суховійних днів має однаковий знак, так на станціях Одеса та Сімферополь ця величина має додатне, а на ст. Херсон від'ємне значення.

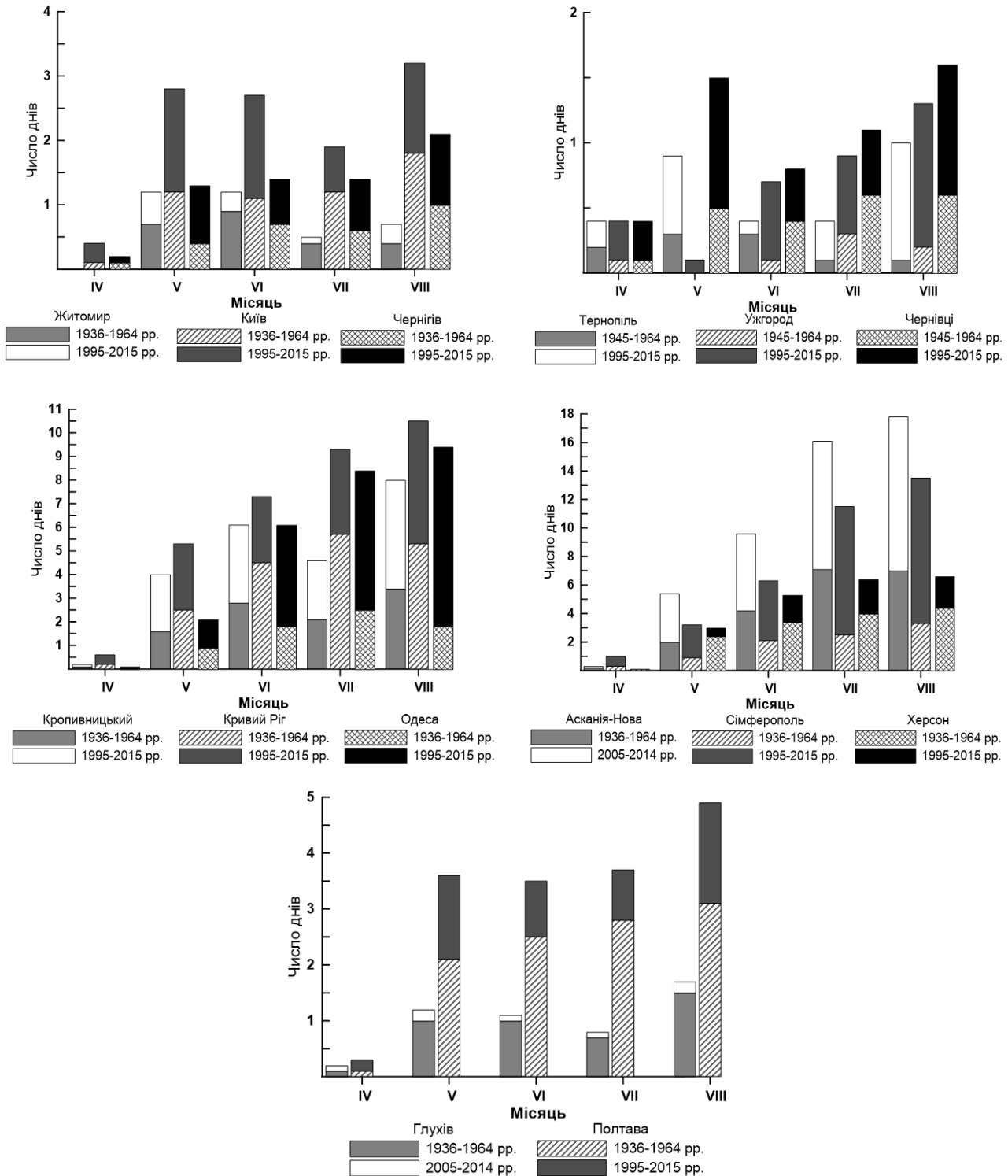


Рис. 2 – Середня кількість днів з суховієм за періоди 1936-1964 pp., 1945-1964 pp., 1991-2000 pp., 1995-2015 pp.

Таблиця 1 – Середнє число днів з суховієм

Період	Місяць					Рік
	IV	V	VI	VII	VIII	
Асканія-Нова						
1936-1964	0,2	2	4,2	7,1	7	20,5
1991-2000	0	1,1	2,6	5,2	4,5	13,4
2005-2014	0,1	3,4	5,4	9	10,8	28,7
Глухів						
1936-1964	0,1	1,0	1,0	0,7	1,5	4,3
2005-2014	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,7
Житомир						
1936-1964	0,0	0,7	0,9	0,4	0,4	2,4
1991-2000	0,0	0,7	0,5	0,1	1,0	2,3
1995-2015	0,0	0,5	0,3	0,1	0,3	1,2
Київ						
1936-1964	0,1	1,2	1,1	1,2	1,8	5,4
1995-2015	0,3	1,6	1,6	0,7	1,4	5,6
Кропивницький						
1936-1964	0,1	1,6	2,8	2,1	3,4	10,0
1991-2000	0,4	1,8	2,8	4,4	3,3	12,7
1995-2015	0,1	2,4	3,3	2,5	4,6	12,9
Кривий Ріг						
1936-1964	0,2	2,5	4,5	5,7	5,3	18,2
1995-2015	0,4	2,8	2,8	3,6	5,2	14,9
Одеса						
1936-1964	0,0	0,9	1,8	2,5	1,8	7,0
1995-2015	0,1	1,2	4,3	5,9	7,6	19,1
Полтава						
1936-1964	0,1	2,1	2,5	2,8	3,1	10,6
1991-2000	0,2	1,7	1,2	1,0	1,4	5,5
1995-2015	0,2	1,5	1,0	0,9	1,8	5,3
Сімферополь						
1936-1964	0,3	0,9	2,1	2,5	3,3	9,1
1995-2015	0,7	2,3	4,2	9,0	10,2	26,4
Тернопіль						
1945-1964	0,2	0,3	0,3	0,1	0,1	1,0
1991-2000	0,1	0,6	0,2	0,5	0,8	2,2
1995-2015	0,2	0,6	0,1	0,3	0,9	2,1
Ужгород						
1945-1964	0,1	0,0	0,1	0,3	0,2	0,7
1991-2000	0,4	0,2	0,2	0,5	0,4	1,7
1995-2015	0,3	0,1	0,6	0,6	1,1	2,7
Херсон						
1936-1964	0,1	2,4	3,4	4,0	4,4	14,3
1995-2015	0,0	0,6	1,9	2,4	2,2	7,1
Чернівці						
1945-1964	0,1	0,5	0,4	0,6	0,6	2,2
1995-2015	0,3	1,0	0,4	0,5	1,0	3,3
Чернігів						
1936-1964	0,1	0,4	0,7	0,6	1,0	2,8
1991-2000	0,1	0,5	1,0	1,7	1,5	4,8
1995-2015	0,1	0,9	0,7	0,8	1,1	3,6

Зміни у повторюваності суховіїв в 1995-2015 рр. у порівнянні з попередніми періодами можуть бути пояснені:

1. Зміною у температурно-вологісному режимі в Україні, яка є наслідком зміни крупномасштабної атмосферної циркуляції повітря, розпочатої у 1974-1983 рр. [1, 7, 8]. Під впливом цієї зміни на території України значно зросли атмо-

сферні процеси, які призводять до виникнення посушливих явищ. У 2007, 2010, 2012-2013 рр. над Східно-Європейською рівниною в період вегетації спостерігалось переважання антициклонічного баричного поля з формуванням блокуючих процесів, що стало причиною виникнення великих посух [9, 10].

Ще однією, не менш важливою причиною, яка призводить до послаблення міжширотного тепло- та вологообміну, є зміщення на схід центрів дії атмосфери, внаслідок чого у холодний період року значно зменшується вплив Сибірського антициклону і відбувається посилення впливу Азорського максимуму [1, 7, 8].

Зміни атмосферної циркуляції, що відбулися наприкінці ХХ – початку ХХІ століття демонструють, що навесні та влітку відзначається збільшення числа днів з меридіональною південною групою циркуляції, та як наслідок панування середземноморських циклонів, і значне зменшення, з середини 30-х років ХХ ст. до першого десятиліття ХХІ ст., числа днів з зональною групою циркуляції, за типізацією Дзердзевського [13]. Сприятливі умови для утворення суховіїв при проходженні середземноморських циклонів пов'язані з посиленням швидкостей вітру і виносом в їх передній частині теплого субтропічного повітря. У центральній і східній частині Середземноморського басейну і на Балканах з квітня по вересень відзначається сухий сезон, під час якого потік вологи в результаті випаровування перевищує потік вологи в результаті випадання опадів, що призводить до зниження вологості повітря [14]. Транспорт вологи через Середземноморський басейн в ці місяці відбувається в напрямку африканського континенту, і здійснюється трьома потоками, що проходять через Єгипет, Лівію і Туніс [15].

При формуванні зональної групи циркуляції відзначається відсутність блокуючих процесів в Північній півкулі, в середній тропосфері спостерігається добре виражений західний перенос, завдяки чому відбувається винос вологого повітря з океанів на континенти і зменшується величина радіаційного балансу, через збільшення хмарності та опадів [16].

2. Починаючи з 1998 р., протягом усіх сезонів на території України відмічалися додатні аномалії середньої річної, середньої мінімальної та середньої максимальної температури повітря [17]. За даними [18], у 1991-2010 рр. середньорічна температура повітря зросла на 0,8 °С, відносно кліматичної норми.

У 2010 р. на всій території східної Європи

спостерігалось аномально спекотне літо, в південно-східних областях України відзначалися інтенсивні хвилі тепла [19]. Для України хвиля тепла 2010 р. була найпотужнішою і найбільш тривалою починаючи з 1911 р., причиною її виникнення було формування блокуючого процесу над Східною Європою [20].

В 1995-2012 рр. в Степовій зоні в кожному вегетаційному сезоні були зафіксовані 7-8 агрометеорологічних посух [21].

3. Кількість атмосферних опадів, що випадає на території України в останні десятиліття зазнало незначної зміни, однак перетворився характер та інтенсивність їх випадання [18; 22]. Збільшення в тепле півріччя температури повітря у сукупності з нерівномірним розподілом опадів не забезпечують ефективного накопичування вологи у ґрунті, і приводять до зростання повторюваності та інтенсивності посух [23].

Крім того, влітку 2000 р. та навесні і влітку 2003 р. по всій території України спостерігалась від'ємна аномалія кількості опадів [17].

4. Зміна режиму швидкості вітру на території України в цілому демонструє зменшення в останні десятиліття середніх швидкостей вітру, проте на деяких станціях (Чернігів, Житомир, Тернопіль, Вінниця, Дніпропетровськ, Ужгород, Чернівці, Сімферополь) відзначається її зростання [12]. У той же час відзначається зростання числа випадків виникнення СГЯ пов'язаних з утворенням сильного вітру (шквал, смерч, пилова буря) [24].

ВИСНОВКИ

Результати дослідження просторово-часового розподілу суховіїв в Україні показали, що в цілому у останні десятиліття кількість випадків суховійних явищ зазнала значного росту на більшості розглянутих станцій, розташованих у різних частинах території України. Як і в попередніх періодах, найбільша повторюваність днів із суховієм спостерігається на півдні і південному сході країни, де на деяких станціях в середньому за вегетаційний сезон може виникати до 27 днів із суховієм.

Причиною зростання числа суховійних днів, по-перше, виникає зміна крупномасштабної атмосферної циркуляції повітря, яка призводить до послаблення міжширотного тепло- та волого обміну, яке в свою чергу стає причиною зміни у температурно-вологісному режимі в Україні. По-друге, зростає повторюваність синоптичних процесів, які супроводжуються виникненням на території країни посушливих явищ. Ці зміни

дуже добро простежуються у додатних аномаліях середньої температури повітря, які спостерігалися у останні десятиліття.

Від'ємні аномалії кількості опадів та зміна їх розподілу сприяє формування умов, які призводять до зростання повторюваності та інтенсивності посух.

Отримані результати свідчать про те, що зміни у регіональному кліматі, які відбуваються у останні десятиліття, сприяють до зростання повторюваності і розповсюдженості суховіїв по території України.

Володіння актуальною інформацією про процеси що призводять до виникнення суховіїв на території України допоможе в розробці методів прогнозу цього небезпечного для агропромислового комплексу явища і в завчасному проведенні необхідних заходів для боротьби з ним.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Клімат України / за ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. Київ : Вид. Раєвського, 2003. 343 с.
2. Семёнова И. Г. Оценка пространственно-временного распределения засух на Украине в вегетационный период. *Труды ГГО*. 2014. Вып. 571. С. 134-146.
3. Бучинский И. Е. Засухи и сушевы. Ленинград : Гидрометеиздат, 1976. 214 с.
4. Бучинский И. Е. Засухи, сушевы и пыльные бури на Украине и борьба с ними. Киев : Урожай, 1970. 236 с.
5. Дзердзеевский Б. Л. Предварительные данные циркуляции атмосферы в дни с сушевами в Прикаспии. Микроклиматические и Климатические исследования в Прикаспийской низменности. Москва : Изд. АН СССР, 1953. С. 18-29.
6. Дзердзеевский Б. Л. Пути исследования происхождения сушевы. *Вестник АН СССР*, 1956. №3. С. 74-78.
7. Мартазинова В. Ф., Сологуб Т. А. Атмосферная циркуляция, формирующая засушливые условия на территории Украины в конце XX столетия. *Наук. праці УкрНДГМІ*. 2000. Вип. 248. С. 36-47.
8. Мартазинова Ф. В., Свердлик Т. А. Крупномасштабная атмосферная циркуляция XX столетия, ее изменение и современное состояние. *Наук. праці УкрНДГМІ*. 1998. Вип. 246. С. 21-27.
9. Семёнова И. Г. Роль процессов блокирования в формировании засух на Украине // *Труды ГГО*. Вып. 569. С. 124-136.
10. Cherenkova, E.A., Semenova, I.G., Kononova, N.K., Titkova, T.B. (2015). Droughts and dynamics of synoptic processes in the south of the East European Plain at the beginning of the twenty-first century. *Arid Ecosystems*, 5(2), 45-56.
11. Електронна база кліматичних даних. URL: <https://www7.ncdc.noaa.gov/CDO/cdo> (дата звернення: 10.08.2016)
12. Татарчук О. Г., Барабаш М. Б. Дослідження просторово-часового розподілу суховіїв на території України в умовах сучасного клімату. *Наук. праці УкрНДГМІ*. 2007. Вип. 256. С. 140-154.
13. Кононова Н. К. Циркуляция атмосферы в Европейском секторе северного полушария в XXI веке и колебания температуры в Крыму. *Геополитика и экогеодинамика регионов*. 2014. Т. 10 (1). С. 633-640.
14. Gomez-Hernandez, M., Drumond, A., Gimeno, L., Garcia-Herrera, R. (2013). Variability of moisture sources in the

- Mediterranean region during the period 1980-2000. *Water resources research*, 49(10), 6781-6794.
15. Schicker, I., Radanovics, S., Seibert, P. (2010). Origin and transport of Mediterranean moisture and air. *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 5089–5105.
 16. Дзердзеевский Б. Л. Общая циркуляция атмосферы и климат. Избранные труды. Москва : Наука, 1975. 286 с.
 17. Балабух В. О., Малицька Л. В., Лавриненко М. О. Особливості погодних умов 2014 року в Україні. *Наук. праці УкрНДГМІ*. 2015. Вип. 267. С. 28-38.
 18. Балабух В. О. Зміна інтенсивності конвекції в Україні: причини та наслідки. URL: <http://meteo.gov.ua/files/content/docs/Vinnitsa/UkrGMI.pdf> (дата звернення: 15.12.2017)
 19. Шевченко О. Г. Характеристика хвилі тепла літнього сезону 2010 р. на території України. *Наук. праці УкрНДГМІ*. 2012. Вип. 262, С. 31-35.
 20. Оценка уязвимости к изменению климата: Украина. URL: <https://climateforumeast.org/uploads/other/0/769.pdf> (дата звернення: 15.12.2017)
 21. Semenova, I. (2016). Basis of droughts catalog for Ukraine in modern period. *Abstract book. The International Conference on Regional Climate-CORDEX 2016 (ICRC-CORDEX)*, 17-20 May, Stockholm, Sweden, p. 292. URL: <http://www.icrc-cordex2016.org>.
 22. Букша И. Ф. Изменение климата и лесное хозяйство Украины. *Наук. праці Лісівничої академії наук України: зб. наук. праць*. 2009. Вип. 7. С. 11–17.
 23. Барабаш М. Б., Гребенюк Н. П., Татарчук О. Г. Особливості зміни ресурсів тепла та вологи в Україні при сучасному потеплінні клімату. *Наук. праці УкрНДГМІ*. 2007. Вип. 256. С. 174-186.
 24. Осадчий В. І., Бабіченко В. М. Динаміка стихійних метеорологічних явищ в Україні. *Український географічний журнал*. 2012. №4. С. 8-14.
 9. Semenova, I.G. [The role of blocking processes in the formation of droughts in Ukraine]. *Trudy GGO im. A. I. Voeykova [Proceedings of Voeikov Main Geophysical Observatory]*, 569, 124-136. (In Russ.).
 10. Cherenkova, E.A., Semenova, I.G., Kononova, N.K., Titkova, T.B. (2015). Droughts and dynamics of synoptic processes in the south of the East European Plain at the beginning of the twenty-first century. *Arid Ecosystems*, 5(2), 45-56.
 11. *Elektronna baza klimatichnykh danykh* [Electronic climate database]. Accessed at: <https://www7.ncdc.noaa.gov/CDO/cdo> (accessed 10.08.2016). (In Ukr.).
 12. Tatarчук, O.H., Barabash, M.B. (2007). [Investigation of the spatial-temporal distribution of dry winds on the territory of Ukraine in conditions of the modern climate]. *Nauk. pratsi UkrNDHMI [Scientific Proc. UkrSRGMI]*, 256, 140-154. (In Ukr.).
 13. Kononova, N.K. (2014). [Circulation of the atmosphere in the European sector of the northern hemisphere in the 21st century and temperature fluctuations in the Crimea]. *Geopolitika i ekogeodinamika regionov [Geopolitics and ecogeodynamics of regions]*, 10(1), 633-640. (In Russ.).
 14. Gomez-Hernandez, M., Drumond, A., Gimeno, L., Garcia-Herrera, R. (2013). Variability of moisture sources in the Mediterranean region during the period 1980-2000. *Water resources research*, 49(10), 6781-6794.
 15. Schicker, I., Radanovics, S., Seibert, P. (2010). Origin and transport of Mediterranean moisture and air. *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 5089–5105.
 16. Dzerdzeevskiy, B.L. (1975). *Obshchaya tsirkulyatsiya atmosfery i klimat. Izbrannye trudy*. [The general circulation of the atmosphere and climate. Selected Works]. Moscow: Science.
 17. Balabukh, V.O., Malyska, L.V., Lavrynenko, M.O. (2015). Features of the weather conditions of 2014 in Ukraine. *Nauk. pratsi UkrNDHMI [Scientific Proc. UkrSRGMI]*, 267, 28-38. (In Ukr.).
 18. Balabukh, V.O. *Zmina intensyvnosti konvektsii v Ukraini: prychny ta naslidky* [Change in intensity of convection in Ukraine: causes and consequences]. Available at: <http://meteo.gov.ua/files/content/docs/Vinnitsa/UkrGMI.pdf> (accessed 15.12.2017) (In Ukr.).
 19. Shevchenko, O.H. (2012). [Characteristics of the warm wave of the summer season 2010 in the territory of Ukraine]. *Nauk. pratsi UkrNDHMI [Scientific Proc. UkrSRGMI]*, 262, 31-35. (In Ukr.).
 20. *Otsenka uязvimosti k izmeneniyu klimata: Ukraina* [Assessment of vulnerability to climate change: Ukraine]. Available at: <https://climateforumeast.org/uploads/other/0/769.pdf> (accessed 15.12.2017) (In Russ.).
 21. Semenova, I. (2016). Basis of droughts catalog for Ukraine in modern period. *Abstract book. The International Conference on Regional Climate-CORDEX 2016 (ICRC-CORDEX)*, 17-20 May, Stockholm, Sweden, p. 292. Available at: <http://www.icrc-cordex2016.org>.
 22. Buksha, Y.F. (2009). [Climate change and forestry in Ukraine]. *Nauk. pratsi Lisivnychoyi akademiyi nauk Ukrayiny [Scientific Proc. Forestry Academy of Sciences of Ukraine]*, 7, 11-17. (In Russ.).
 23. Barabash, M.B., Hrebenyuk, N.P., Tatarчук, O.H. (2007). [Features of changes of heat and moisture resources in Ukraine under modern warming of the climate]. *Nauk. pratsi UkrNDHMI [Scientific Proc. UkrSRGMI]*, 256, 174-186. (In Ukr.).
 24. Osadchyy, V.I., Babichenko, V.M. (2012). [Dynamics of natural meteorological phenomena in Ukraine]. *Ukrayins'kyi heohrafichnyy zhurnal [Ukrainian Geographic Magazine]*, 4, 8-14. (In Ukr.).

REFERENCES

1. Lipins'kyu, V.M., Dyachuk, V.A., Babichenko, V.M. (Eds). (2003). *Klimat Ukrainy* [Climate of Ukraine]. Kyiv: Rayevs'kyu Publ., 2003. 343 p. (In Ukr.).
2. Semenova, I.G. (2014). [An estimation of spatial and temporal distribution of drought in Ukraine during the vegetation period]. *Trudy GGO im. A. I. Voeykova [Proceedings of Voeikov Main Geophysical Observatory]*, 571, 135-147. (In Russ.).
3. Buchinskii, I.E. (1976). *Zasukhi i sukhovei* [Droughts and hot dry winds]. Leningrad: Gidrometeoizdat. (In Russ.).
4. Buchinskiy, I.E. (1970). *Zasukhi, sukhovei i pyl'nye buri na Ukraine i bor'ba s nimi* [Droughts, hot dry winds and dust storms in Ukraine and the fight against them]. Kiev: Urozhay. (In Russ.)
5. Dzerdzeevskiy, B.L. (1953). *Predvaritel'nye dannye tsirkulyatsii atmosfery v dni s sukhoveyami v Prikaspii. Mikroklmaticheskie i klimaticheskie issledovaniya v Prikaspiyskoy nizmennosti* [Preliminary data of the circulation of the atmosphere on days with hot dry winds in the Caspian region. Microclimatic and climatic studies in the Caspian Lowland]. Moscow: Publ. AS USSR. (In Russ.)
6. Dzerdzeevskiy, B.L. (1956). *Puti issledovaniya proiskhozhdeniya sukhoveev* [Ways of investigating the origin of dry winds]. Moscow: Publ. AS USSR. (In Russ.)
7. Martazinova, V.F., Sologub, T.A. (2000). [Atmospheric circulation, which forms arid conditions on the territory of Ukraine at the end of the 20th century]. *Nauk. pratsi UkrNDHMI [Scientific Proc. UkrSRGMI]*, 248, 36-47. (In Russ.).
8. Martazinova, V.F., Sverdlik, T.A. (1998). [Large-scale atmospheric circulation of the 20th century, its change and its present state]. *Nauk. pratsi UkrNDHMI [Scientific Proc. UkrSRGMI]*, 246, 21-27. (In Russ.).

COMPARATIVE ANALYSIS OF FREQUENCY OF DRY WINDS OCCURRENCE IN UKRAINE IN THE MID-20TH CENTURY AND AT THE BEGINNING OF THE 21ST CENTURY

M. O. Slizhe

*Odessa State Environmental University,
15, LvivskaSt., 65016 Odessa, Ukraine, magribinets@ukr.net*

Dry winds in Ukraine present a dangerous phenomenon which can significantly impact on crop yields. The winds damage agricultural crops active development of which occurs in spring and summer time. Their impact can in a short time reduce or destroy further yield. Study of spatial and temporal distribution of the dry winds, their meteorological characteristics, dynamics of their development and circulation processes resulting in their formation in Ukraine is a very urgent problem because almost every year the dry winds and droughts occur at the time of vegetation period.

The current research of spatial and temporal distribution of the dry winds and its meteorological characteristics on the territory of Ukraine under the conditions of changed climate is an urgent problem because this phenomenon occurs over almost every vegetation period.

The paper describes the results of comparative analysis of average number of days witnessing the dry winds at 14 meteorological stations in Ukraine located in different agro-climatic zones for the periods of 1936-1964 and 1995-2015.

The number of dry winds significantly increased at most of such stations located in different parts of Ukraine. Same as over previous periods, the greatest repetition of days with the dry winds occurred in the south and the south-east of the country where, according to the data from some meteorological stations, vegetation period may, on average, consist of up to 27 days when dry winds blow.

The reason for such increase is explained, firstly, by change of the large-scale atmospheric circulation resulting in weakening of the heat and moisture inter-latitude exchange which in its turn causes change of the temperature and humidity regime in Ukraine and, secondly, by increase of frequency of synoptic processes accompanied by formation of arid phenomena on the territory of the country. These changes could be traced when observing the positive anomalies of average air temperature during recent decades.

The negative anomalies of precipitation and change in their distribution contribute to the formation of conditions that increase frequency and intensity of droughts.

The obtained results indicate that changes of the regional climate contributed to the increase of frequency and prevalence of the dry winds in Ukraine.

Keywords: dry winds, spatial-temporal distribution of dry winds, repeatability of dry winds.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОВТОРЯЕМОСТИ СУХОВЕЕВ В УКРАИНЕ В СЕРЕДИНЕ XX И НАЧАЛЕ XXI ВЕКА

М. О. Слиже

*Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, magribinets@ukr.net*

В статье рассмотрены тенденции изменения пространственно-временного распределения суховеев на территории Украины в условиях современного климата. Приведены результаты анализа среднего количества дней с суховеем в периоды 1936-1964 гг. и 1995-2015 гг., а также межсезонной (с апреля по август) изменчивости дней с суховеем на 14 метеорологических станциях, расположенных в различных агроклиматических зонах Украины. Рассмотрены факторы, которые могли вызвать изменения в повторяемости суховеев. Результаты анализа свидетельствуют, что изменения в региональном климате, происходящие в последние десятилетия, способствуют росту повторяемости и распространенности суховеев в Украине.

Ключевые слова: суховей, повторяемость суховеев, пространственно-временное распределение суховеев.

*Подання до редакції : 09. 03. 2018
Надходження остаточної версії : 18. 06. 2018
Публікація статті : 29. 11. 2018*

УДК 551.509

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ СИСТЕМЫ CGMS ДЛЯ МОНИТОРИНГА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОСЕВОВ В УКРАИНЕ

А. А. Кривобок¹, А. О. Кривошеин¹, Т. И. Адаменко²

¹ Украинский гидрометеорологический институт,
03028, г. Киев, проспект Науки, 37, kryvoshein@uhmi.org.ua

² Украинский гидрометцентр, 01601 г. Киев, ул. Золотоворотская 6-В, adamenko@meteo.gov.ua

В статье рассматриваются особенности технологической адаптации системы CGMS (Crop Growth Monitoring System – Система мониторинга роста сельскохозяйственных посевов), а именно: создание метеорологической базы данных за период 2000–2017 гг., используя стандартные метеорологические наблюдения сети Украинского гидрометеорологического центра; создание базы данных почвенных характеристик, путем нахождения соответствия между таксономией почвенной карты Украины и классификацией почв WRB; создание баз данных фенологических характеристик и статистической урожайности на областном и районном уровнях. Кроме того, в статье рассматривается пространственная схематизация расчетов и агрегация показателей продуктивности сельскохозяйственных посевов, полученных в результате работы биофизической модели WOFOST (WOrld FOod STudies). Изложена схема прогноза урожайности сельскохозяйственных культур в разрезе административных единиц, а также проведена оценка точности прогноза урожайности озимой пшеницы в административных районах Киевской области.

Ключевые слова: система мониторинга; сельскохозяйственные культуры; характеристики продуктивности; биофизическое моделирование; прогноз урожайности; WOFOST; CGMS.

1. ВВЕДЕНИЕ

Украина занимает одно из ведущих мест в мире в области производства сельскохозяйственной продукции и экспорта продовольствия. По оценкам экспертов, потенциально, Украина может производить такое количество продовольствия, которым может обеспечить около 200 млн. человек, что в 5 раз превышает сегодняшнее население страны. Очевидно, что производство такого количества сельскохозяйственной продукции – это значительный экспортный потенциал страны, который требует не только достаточно высокого технологического уровня производства, но и современную государственную систему мониторинга состояния и прогноза урожайности основных сельскохозяйственных культур для принятия необходимых управленческих решений. Такая система позволит максимально быстро и эффективно оценивать изменения метеорологических условий, их влияние на развитие растительности, возможную урожайность, принятие мер для обеспечения продовольственной безопасности, поддержки производителей сельскохозяйственной продукции и проведения определенной маркетинговой поли-

тики на внешних рынках. В настоящее время одной из наиболее совершенных подобных систем является система CGMS, разработанная в Объединенном исследовательском центре ЕС (Испра, Италия). По оценкам, полученным [1], ошибка прогнозов урожайности по основным сельскохозяйственным культурам на европейском континенте с помощью данной системы за период 1975–1997 гг. была в пределах 3–5 %. В основном, эта система давала значительные ошибки прогноза урожайности на ранних стадиях вегетации и меньшие на поздних. Данная система положена в основу постоянно действующих проектов MARS-FOOD (Мониторинг урожайности для продовольственной безопасности), MARS-STAT (Сельскохозяйственная статистика), MARS-PAC (Поддержка общей сельскохозяйственной политики), поддерживаемых Европейской Комиссией.

Система CGMS состоит из биофизической модели WOFOST [2, 3], базы данных, которая включает метеорологические, агрометеорологические, статистические, почвенные геопространственные данные и статистическую модель прогноза урожайности. В общем, все ее составляющие объединены в несколько независимых мо-

дулей, представленные на рис. 1. В этой схеме указаны входные данные, а также выходная информация для каждого модуля, которая может быть использована как самостоятельный продукт для дальнейшего анализа. Учитывая, что данная система использует структурированную базу данных, что упрощает, в значительной степени, ее наполнение, она была адаптирована во многих странах мира для проведения мониторинга за состоянием сельскохозяйственных посевов [4-6]. В основном адаптация сводится к следующим шагам:

- создание базы метеорологических и фенологических данных, доступных для этой территории. База данных должна включать не менее 15 лет ежедневных наблюдений;
- создание базы данных по характеристикам почвы (как правило, используется наиболее точная почвенная карта для данной территории);
- калибровка агрометеорологической модели WOFOST;
- создание базы данных по урожайности сельскохозяйственных культур в масштабах административных единиц, доступных в местных статистических организациях;
- адаптация схемы прогноза урожайности сельскохозяйственных культур в разрезе административных единиц.
- технологическая адаптация программных средств для проведения расчетов системы.

Проведение соответствующих этапов адаптации позволит повысить точность определяемых характеристик развития сельскохозяйственных посевов на протяжении вегетационного периода для, практически, любого района земного шара.

Целью этой работы является описание технической и методологической адаптации системы CGMS в Украине.

2. ФОРМИРОВАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Входными для этого модуля являются ежедневные срочные стандартные метеорологические данные в форматах WMO [7] с метеорологических станций Гидрометцентра Украины (рис. 2а). Эти данные включают измерения температуры, осадков, скорости ветра, высоты снежного покрова, бала облачности и температуры точки росы. В дальнейшем они трансформируются в суточные данные со следующим набором параметров: минимальная и максимальная температура, суммарное количество осадков, высота снежного покрова, средние значения скорости ветра, балла облачности и парциального давления водяного пара (P_a), которое рассчитывается по следующей формуле [8, 9]

$$P_a = P_s \times \frac{H}{100}, \quad (1)$$



Рис. 1 - Общая схема системы CGMS.

где P_s – давление насыщенного водяного пара, гПа:

$$P_s = 0.61121 \times \exp\left(\left(18.678 - \frac{T}{234.5}\right) \times \left(\frac{T}{257.14 + T}\right)\right)$$

для $T > 0$ °С;

$$P_s = 0.61115 \times \exp\left(\left(23.036 - \frac{T}{333.7}\right) \times \left(\frac{T}{279.82 + T}\right)\right)$$

для $T < 0$ °С;

$$H = 100 \times \frac{\exp\left(\frac{17.625 \times TD}{243.04 + TD}\right)}{\exp\left(\frac{17.625 \times T}{243.04 + T}\right)},$$

TD – значение температуры точки росы, °С;

T – значение температуры, °С;

H – значение относительной влажности воздуха, %.

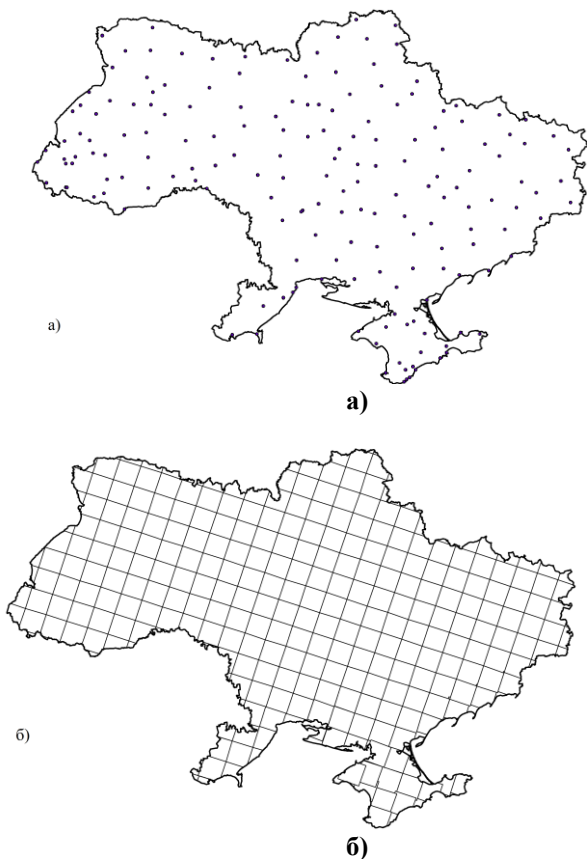


Рис. 2 - Расположение метеорологических станций Украинского гидрометцентра (а) и узлов регулярной сетки (б)

По среднесуточным данным рассчитываются значения солнечной радиации и испаряемость над водной, растительной и земной (свободной от растительности) поверхностями [10]. Суточ-

ные данные интерполируются в узлы регулярной сетки в азимутальной проекции Ламберта размером 50×50 км (рис. 2,б). Выбор размера узла регулярной сетки основывался на том, что метеорологические данные в его пределах изменяются незначительно [11-12]. Схема интерполяции состоит из двух шагов, первый - определение для станций, находящихся в радиусе 250 км от центра узла регулярной сетки, так называемой, меры «подобности» [13-14]. В основу расчета положена мера, которая учитывает расстояние от центра узла до метеорологической станции, высоту над уровнем моря, на которой расположена метеорологическая станция, расстояние до ближайшей морской поверхности станции и центра узла, а также расположение станции и центра узла относительно, так называемого «климатического барьера», например, горного массива. Мера «подобности» выражается в километрах, чем выше значение, тем менее подобны метеорологические условия на определенной станции и центра узла регулярной сетки. Окончательно, мера «подобности» рассчитывается следующим образом

$$SS = dist + D_{alt} + W_{alt} + D_d C_{scorr} + C_{lbn}, \quad (2)$$

где SS - мера подобности центра узла сетки относительно метеорологической станции, км; $dist$ - расстояние между центром узла сетки и метеорологической станцией, км; D_{alt} - абсолютная разница в высоте относительно уровня моря, м; W_{alt} - весовой фактор для D_{alt} км/м. Значение W_{alt} принимается 0.5 км/м и основано на предположении, что разница в высоте составляет 100 м на 50 километрах расстояния по горизонтали; $D_d C_{scorr}$ - абсолютная разница в расстоянии до ближайшей морской поверхности между центральной точкой узла регулярной сетки и метеорологической станцией, км; C_{lbn} - значение «климатического барьера», км.

Для интерполяции метеорологических данных в узлы регулярной сетки использовались измерения от одной до четырех станций. Для определения наиболее подходящего набора станций для интерполяции метеорологических данных рассчитывается суммарная мера «подобности» в соответствии с (1). Она основана на средних значениях мер «подобности» метеостанций. Окончательное выражение будет выглядеть следующим образом

$$SetScore = dist_{avg} + D_{alt_{avg}} \times W_{alt} + D_d C_{scorr_{avg}} + FnS \times Score_{min}, \quad (3)$$

где $SetScore$ – оценка пригодности набора метеорологических станций по отношению к соответствующему центру ячейки сетки, км; $distavg$ – среднее расстояние между центром узла сетки и метеорологической станцией, км; $Daltavg$ – средняя абсолютная разница в высоте относительно уровня моря, м; $DdCstcorravg$ – средняя абсолютная разница в скорректированном расстоянии до побережья, км; FnS – критерий, учитывающий число станций при интерполяции; $Score_{min}$ – минимальное значение меры «подобности» для станций при интерполяции, км.

На втором шаге, после того, как был определен оптимальный набор метеорологических станций, для получения метеорологических параметров для каждого узла сетки, что выражается минимальной установленной оценкой, данные просто усредняются. Значение температуры и давления водяного пара корректируются на разницу в высоте между выбранной метеорологической станцией и центром ячейки климатической сетки. Для получения интерполированных данных по осадкам использовалась упрощенная схема [14], когда узлу регулярной сетки соответствуют осадки, выпавшие на станции, имеющей самое низкое значение меры «подобности».

Таким образом, были получены ежедневные интерполированные метеорологические данные в узлах сетки по всей территории Украины в период с 2000 до 2017 года.

3. ФОРМИРОВАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ФЕНОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Для формирования базы фенологических данных были использованы стандартные фенологические наблюдения сети Украинского гидрометеорологического центра. Такие наблюдения проводятся на агрометеорологических станциях и постах по всей территории Украины. Всего наблюдения за посевами озимой пшеницы проводятся на 117, кукурузы – на 54, ярового ячменя – на 77, подсолнечника – на 70 и сои – на 23 станциях и постах. В число этих наблюдений входит даты сева, всходов и созревания сельскохозяйственной культуры. Так как в CGMS-Украина вся информация, как уже было отмечено ранее, представлена в узлах регулярной сетки, то все фенологические данные для каждой культуры были проинтерполированы в эти узлы. В качестве метода интерполяции был использован метод осреднения данных близлежащих, в радиусе 250 км от центра узла регулярной сетки, станций и постов. Таким образом были получены интерполированные фенологические данные

для узлов регулярной сетки за период с 2000 по 2015 годы. В дальнейшем используется подход, описанный в [15], в соответствии с которым определяется климатически оптимальная дата сева сельскохозяйственных культур.

4. ФОРМИРОВАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ПО ХАРАКТЕРИСТИКАМ ПОЧВЫ

Данные почвенных характеристик являются одним из самых сложных источников информации для CGMS-Украина. Как правило, они получаются из различных баз данных почвенных характеристик и обрабатываются в соответствии с алгоритмами, описанными в [16]. От масштаба почвенной карты, которая берется за основу при формировании базы входных данных напрямую зависит количество элементарных расчетных единиц и необходимое время обработки. Информация о характеристиках почвы используется в CGMS-Украина двояко. Во-первых, она используется при моделировании, когда определяются влажность почвы и глубина залегания корневого слоя, а во-вторых – при определении пригодности типа почв для выращивания той или иной сельскохозяйственной культуры. Степень пригодности выражается в процентах от 0 до 100. Для территории Украины почти все типы почв пригодны для выращивания сельскохозяйственных культур, за исключением горных массивов и солончаков, находящихся на юге Херсонской области. В системе CGMS-Украина учитываются почвенные характеристики, связанные с ее водоудерживающей способностью. Такими характеристиками являются влажность завядания, полевая влагоемкость и максимальная влагоемкость, которые необходимы для расчетов влагообеспеченности сельскохозяйственных культур. Каждый тип почвы также характеризуется глубиной корневого слоя (*rooting depth*), которая оценивается с использованием, так называемых, педотрансферных функций (*Pedotranfer functions*) [17], когда по названию почвы в классификации WRB [18] (*World Reference Base* – международный стандарт классификации почв) и механическому составу оценивается глубина корневого слоя.

В качестве основной информации для заполнения базы данных системы использовалась оцифрованная почвенная карта Украины 1:2500000. На первом шаге было найдено соответствие между таксономией почвенной карты Украины и классификацией почв WRB [19, 20]. Из почвенной карты было извлечено 40 типов почв (табл. 1), которые использовались для

Таблица 1 - Соответствие между таксономией почвенной карты Украины и классификацией почв WRB

Классификация типов почв по WRB	Таксономия почвенной карты Украины
Podzoluvisols (PD)	
Stagnic (PDj)	Дерново-слабоподзолистые оглеенные (DSLO 3)
Eutric (Pde)	Дерново-слабоподзолистые песчаные и глинисто-песчаные (DSPG 1)
Gleyic (PDg)	Дерново - среднеподзолистые оглеенные (DSRO 4)
Gleyic (PDg)	Дерново-среднеподзолистые супесчаные (DSS 2)
Gleyic (PDg)	Дерново - средне и сильноподзолистые поверхностно - оглеенные (DSRPO 5)
Eutric (Pde)	Светло- серые и серые оподзоленные (YASS 6)
Gleyic (PDg)	Дерновые оподзоленные суглинистые (DOS 36)
Solonetz (SN)	
Haplic (SNh)	Солонцы (SS 33)
Chernozems (CH)	
Calcic (CHk)	Черноземы южные остаточные - солонцеватые (CHPZS 22)
Calcic (CHk)	Черноземы преимущественно солонцеватые на тяжелых глинах CHSG (18)
Calcic (CHk)	Черноземы и дерновые почвы щебневые на элювии безкарбонатных пород (сланцы) (CHDR 19)
Calcic (CHk)	Черноземы обычные малогумусные , а) мицеллярно - карбонатные (CHZMM 15)
Luvic (CHI)	Черноземы типичные остаточные - солонцеватые (CHPZS 21)
Haplic (CHh)	Черноземы обычные малогумусные маломощные , а) мицеллярно - карбонатные (CHZMK 16)
Haplic (CHh)	Черноземы типичные малогумусные (CHTM 11)
Haplic (CHh)	Черноземы типичные среднегумусные (CHTS, 12)
Haplic (CHh)	Черноземы обычные среднегумусные (CHZS 14)
Calcic (CHk)	Черноземы обычные мало - и среднегумусные мощные : а) мицеллярно - карбонатные (CHZM 13)
Haplic (CHh)	Черноземы реградируемые (CHR 10)
Haplic (CHh)	Черноземы южные малогумусные и слабо гумусованные : а) мицеллярно - карбонатные (CHPM 17)
Calcic (CHk)	Черноземы и дерновые карбонатные почвы на элювии карбонатных пород (мел) (CHDRK 20)
Phaeozems (PH)	
Haplic (PHh)	Лугово - черноземные и дерново - осолоделые (LCHDO 34)
Luvic (PHI)	Лугово - черноземные глубоко солонцеватые (LCHGS 25)
Luvic (PHI)	Лугово - черноземные поверхностно - солонцеватые (LCHPS 24)
Luvic (PHI)	Черноземы оподзоленные (CHO, 8)
Gleysols (GL)	
Mollic (GLm)	Луговые солонцеватые (LS 30)
Umbric (GLu)	Луговые (L 29)
Dystric (GLd)	Дерновые оглеенные песчаные со слабогумусовыми песками (DOP 35)
Mollic (GLm)	Лугово - болотные и болотные (LB 31)
Kastanozems	
Luvic (KSI)	Темно - каштановые остаточные - солонцеватые (TEMSZ 26)
Luvic (KSI)	Темно - каштановые солонцеватые (TEMSS 27)
Luvic (KSI)	Каштановые солонцеватые (KZS 28)
Cambisols (CM)	
Distric (CMd)	Бурые горно - лесные щебневые и дерново - буроземные (BGDB, 38)
Distric (SKe)	Дерново - буроземные и горно - луговые (DBG L, 39)
Chromic (CMx)	Коричневые горные щебневые (KG 40)
Eutric (CMe)	Буроземно - подзолистые и поверхностно - оглеенные (BPPO 37)
Greyzems (GR)	
Haplic (GRh)	Темно - серые оподзоленные (TEMS 7)
Haplic (GRh)	Темно - серые реградируемые (TEMSR 9)
Histosols (HS)	
Histosols (HS)	Торфяно - болотные (TB 32)

оценки глубины залегания корневого слоя на основе упоминавшихся ранее педотрансферных функций.

Следующим шагом было определение объемного содержания влаги в почве при максимальной влагоемкости (SAT), минимальной (WP) и полевой влагоемкости (FC) каждого типа почв с использованием информации, полученной из различных справочных материалов, опубликованных в Украине [21-23]. Эти характеристики влажности почвы представлены в виде вертикальных профилей гравиметрических масс (θ_m) каждые 10 см от поверхности до глубины 2,5 м. Для преобразования θ_m в объемное содержание влаги (θ_v) используется следующее уравнение

$$\theta_v = \theta_m \times \frac{P_t}{P_w}, \quad (4)$$

где P_t - объемная плотность почвы, P_w - плотность воды ($P_w = 1$).

Эти значения доступны для каждого типа почв в [23]. Таким образом SAT, WP и FC конкретных типов почв оцениваются как средние значения вертикального профиля:

$$\theta_{SAT} = \frac{\sum \theta_{SAT}^i}{n}, \quad (5)$$

$$\theta_{WP} = \frac{\sum \theta_{WP}^i}{n}, \quad (6)$$

$$\theta_{FC} = \frac{\sum \theta_{FC}^i}{n}, \quad (7)$$

где θ_{SAT}^i , θ_{WP}^i , θ_{FC}^i - объемное содержание влаги на определенной глубине почвы i , n - количество уровней.

5. КАЛИБРОВКА АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ WOFOST

Как уже указывалось ранее неотъемлемой частью системы CGMS-Украина является биофизическая модель WOFOST [24-27], которая используется для моделирования развития сельскохозяйственных посевов, т.е. расчета общей биомассы (кг/га), биомассы продуктивных органов (кг/га), индекса листовой поверхности, стадии развития и относительной влажности почвы. Для более корректного описания этого процесса в определенных географических районах необходимо проведение калибровки этой модели, т.е. адаптации ее для использования в указанных регионах. Адаптация предполагает нахождение определенных коэффициентов, используемых

для моделирования развития растений. Все коэффициенты в модели WOFOST делятся на две группы: одни, связанные с физическими процессами, происходящими в растениях, другие – с влиянием локальных факторов на развитие сельскохозяйственных культур. Для первой группы коэффициентов необходимо проведение, достаточно, сложных натуральных экспериментов, которые не рассматриваются в данной статье. Для второй группы коэффициентов, которые определяют фенологическое развитие и включают T_{SUMEM} (сумма температур от даты посева до всходов), T_{SUM1} (сумма температур от всходов до цветения) и T_{SUM2} (сумма температур от цветения до созревания), были рассчитаны эти значения по фенологическим данным, полученным с агрометеорологических постов и станций сети Гидрометцентра Украины за период 2000 – 2015 годы по пяти основным сельскохозяйственным культурам (озимая пшеница, кукуруза, яровой ячмень, соя и подсолнечник). В качестве примера в таблице 2 приведено количество наблюдений для расчета указанных коэффициентов для посевов озимой пшеницы.

Для оценки T_{SUMEM} мы оцениваем эффективную дневную температуру (T_{eff}), которая необходима для развития посевов с даты сева (ВВСН00) до всходов (ВВСН09). Эффективная суточная температура рассчитывается как

$$T_{eff} = T - T_{base}, \quad (8)$$

где $T_{base} = 0$ °C для посевов озимой пшеницы, $T_{base} = 10$ °C для посевов кукурузы, $T_{base} = 0$ °C для посевов ярового ячменя, $T_{base} = 7$ °C для посевов сои, $T_{base} = 3$ °C для посевов подсолнечника.

Значения коэффициентов T_{SUM1} и T_{SUM2} рассчитываются как сумма T_{eff} от стадии всходов растений (ВВСН09) до цветения (ВВСН65) и от ВВСН65 до стадии созревания (ВВСН89), соответственно.

$$T_{sum} = \sum_{i=1}^d T_{eff}, \quad (9)$$

где d – день года, который соответствует конкретной стадии фенологического развития,

$$T_{eff} = \begin{cases} 0, & T < T_{base} \\ T - T_{base}, & T_{base} \leq T \leq T_{effmx} \\ T_{effmx}, & T > T_{effmx} \end{cases}, \quad (10)$$

Таблица 2 - Фенологические данные, которые используются для расчета значений T_{SUMEM} , T_{SUM1} , T_{SUM2} для посевов озимой пшеницы за период 2000-2015 г.

Область	Число станций, постов	Фаза фенологического развития (ВВСН коды [28])				Число наблюдений
		00	09	65	89	
Черкасская	6	00	09	65	89	168
Черновицкая	2	00	09	65	89	29
Черниговская	3	00	09	65	89	43
Днепропетровская	6	00	09	65	89	193
Донецкая	8	00	09	65	89	235
Житомирская	2	00	09	65	89	43
Ивано-Франковская	2	00	09	65	89	39
Киевская	5	00	09	65	89	131
Крым	11	00	09	65	89	206
Волынская	4	00	09	65	89	93
Львовская	5	00	09	65	89	102
Луганская	7	00	09	65	89	156
Николаевская	8	00	09	65	89	184
Одесская	9	00	09	65	89	254
Полтавская	6	00	09	65	89	100
Ровенская	2	00	09	65	89	40
Сумская	4	00	09	65	89	90
Тернопольская	4	00	09	65	89	101
Винницкая	5	00	09	65	89	118
Харьковская	7	00	09	65	89	183
Херсонская	7	00	09	65	89	156
Хмельницкая	5	00	09	65	89	128
Закарпатская	2	00	09	65	89	30
Запорожская	6	00	09	65	89	124

где T_{effmx} – максимальная эффективная температура для развития посевов (для озимой пшеницы, кукурузы, ячменя; $T_{effmx} = 30$ С, подсолнечника $T_{effmx} = 32$ С и сои $T_{effmx} = 22$ С).

Для озимой пшеницы T_{SUMEM} и T_{SUM1} рассчитываются с фактической даты сева, учитывая осенние условия развития. Такой подход отличается от того, как рассчитывается T_{SUM1} , например, в CGMS-Eurore в Объединенном центре JRC, где моделирование начинается с 1 января и не учитывает условия роста осенью. Рассчитанные значения T_{SUM1} , T_{SUM2} для каждого узла географической сетки, для посевов озимой пшеницы по территории Украины, в качестве примера, представлены на рис. 3-4.

6. СОЗДАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ПО УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР, ДОСТУПНЫХ В МЕСТНЫХ СТАТИСТИЧЕСКИХ ОРГАНИЗАЦИЯХ

Для оценки урожайности сельскохозяйственных культур в Украине была создана база данных по урожайности и площадям посевов (областные и районные данные) уже упоминавших-

ся пяти сельскохозяйственных культур за период 2000 – 2017 годы. Эти данные были получены из областных и районных управлений статистики Государственной службы статистики Украины. Эта база данных состоит из 46350 записей, каждая из которых включает информацию об урожайности сельскохозяйственной культуры, площадях посевов и источник получения данных.

7. ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СХЕМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТОВ И АГРЕГАЦИИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОДУКТИВНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОСЕВОВ

Одной из основных особенностей системы CGMS-Украина является возможность получения достоверных характеристик продуктивности сельскохозяйственных культур в масштабах страны, области, района путем учета метеорологических и почвенных неоднородностей в масштабах выделенных административных единиц. Для этого территория Украины делится на, так называемые, таксоны, которые являются условно однородными по метеорологическим и почвенным характеристикам и принадлежащими

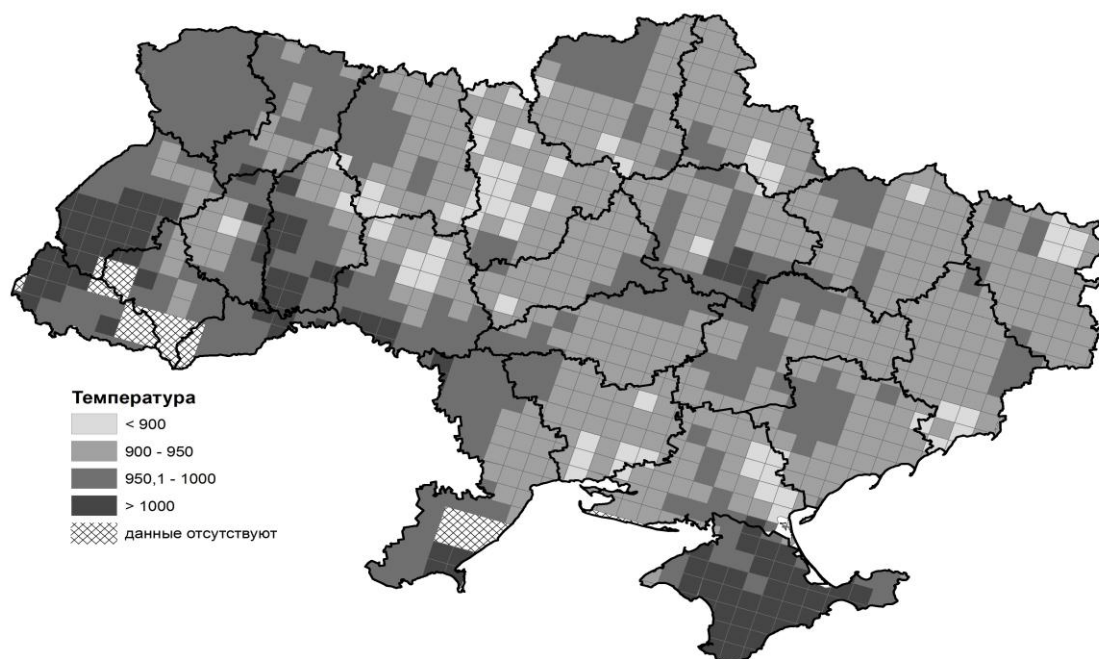


Рис. 3 - Рассчитанные значения T_{SUM1} в узлах регулярной сетки

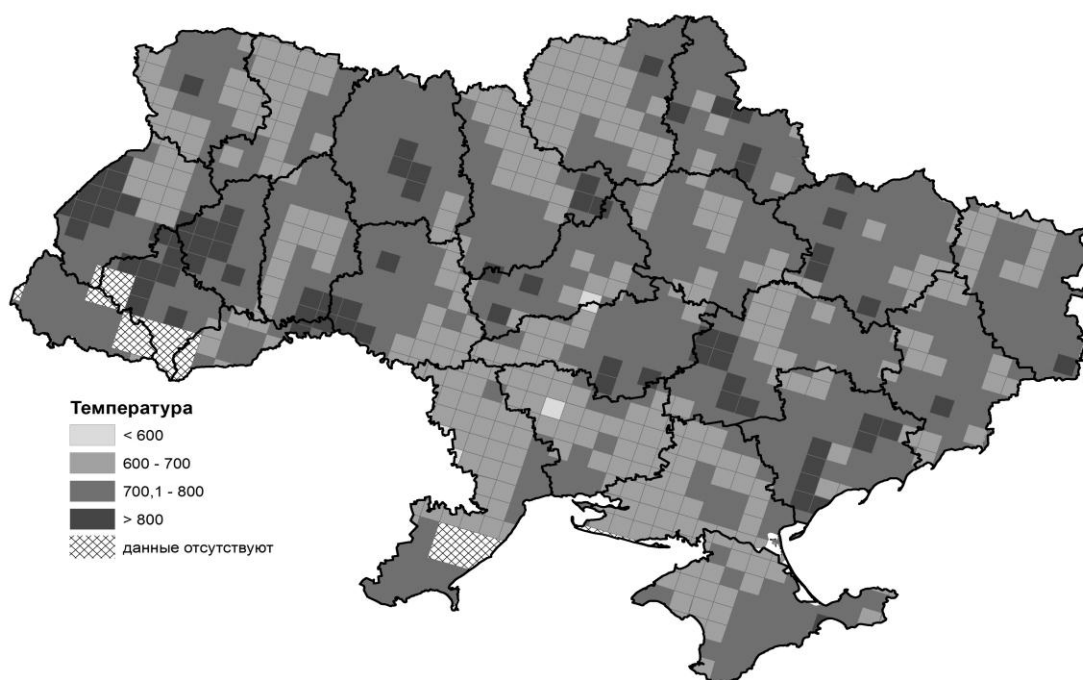


Рис. 4 - Рассчитанные значения T_{SUM2} в узлах регулярной сетки

к определенной административной единице. Это сделано в связи с тем, что для расчета характеристик продуктивности используется одномерная модель WOFOST. При таком подходе, смоделированные индикаторы продуктивности определенной сельскохозяйственной культуры являются репрезентативными для однородной

территориальной единицы и отличаются от характеристик продуктивности этой культуры в других метеорологических и почвенных условиях. Кроме того, поскольку параметры продуктивности используются в статистической подсистеме прогнозирования урожайности, то они должны быть обобщены и на уровне админи-

стративных единиц. В расчетной схеме CGMS-Украина используются такие таксономические единицы: узел регулярной сетки (GRID) – таксономическая единица с однородными климатическими (погодными) условиями, геометрическим центром которого является узел регулярной климатической сетки; SMU – таксономическая единица с однородным почвенным покровом; NUTS – административная территориальная единица: NUTS-0 – государственное административное деление; NUTS-1 – областное административное деление; NUTS-2 – районное административное деление; EMU – элементарная

картографическая единица, которая является результатом объединения всех рассмотренных таксонов в рамках которых моделируются характеристики продуктивности сельскохозяйственных культур (рис. 5).

Для выделения элементарных картографических единиц на территории Украины были использованы карта узлов регулярной сетки (50x50 км), карта почв в масштабе 1: 2500000 и карта административного деления Украины на уровне районов.

В результате наложения этих трех карт (рис. 6) было выделено 6913 EMU,

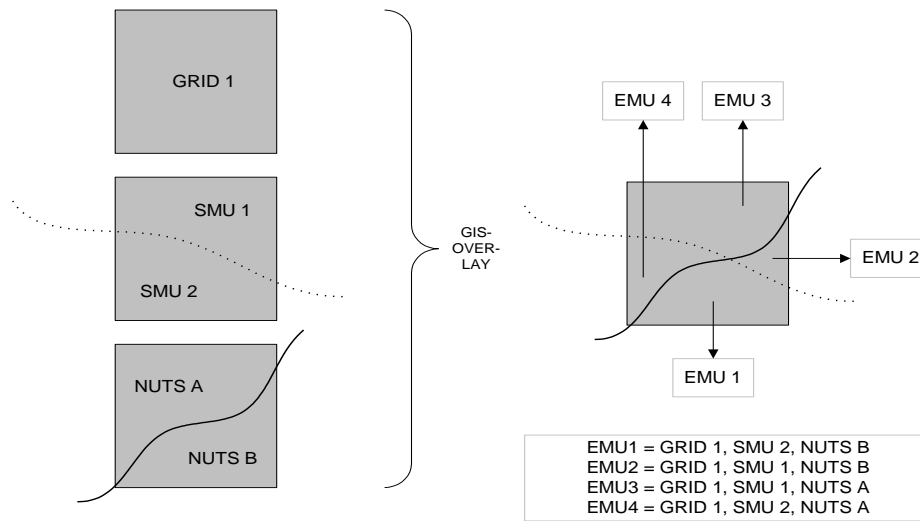


Рис. 5 - Схема выделения элементарных картографических единиц (EMU) [10].

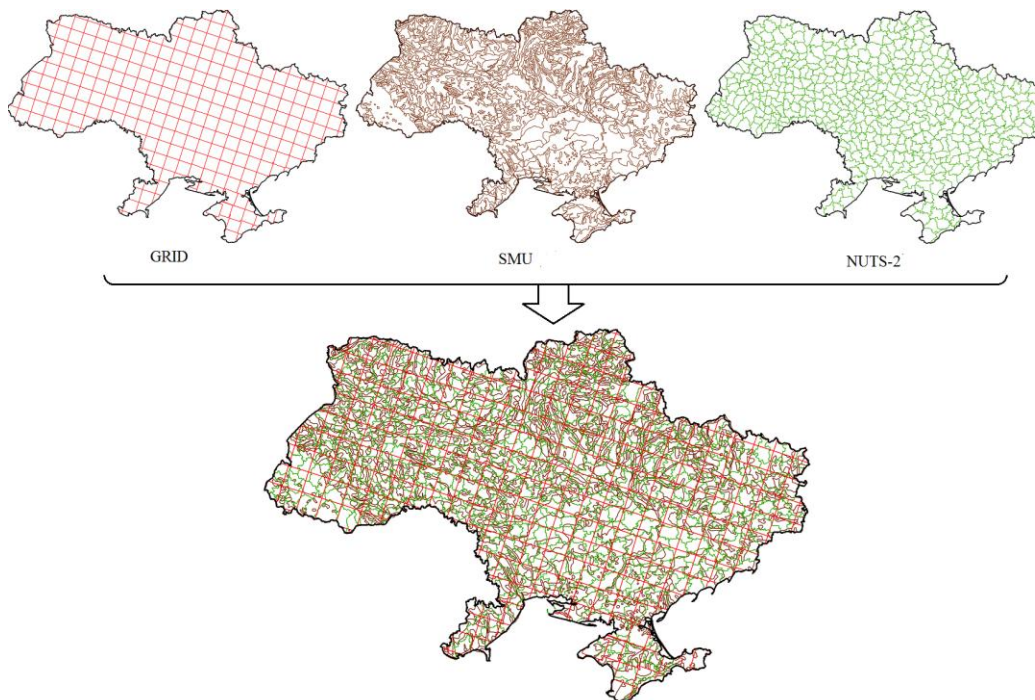


Рис. 6 - Схема выделения элементарных картографических единиц (EMU) для Украины

для каждого из которых и применяется точечная модель WOFOST. Затем параметры продуктивности сельскохозяйственных культур, рассчитанные для каждой EMU, агрегируются как на уровень узлов регулярной сетки, так и административных территориальных единиц (районов, областей, страны). Метод объединения (агрегации) отдельных EMU в узлы регулярной сетки основан на учете весового показателя каждой EMU в рамках данного узла. Весовой показатель EMU определяется отношением площади почв, пригодных для выращивания той или иной культуры в рамках данной EMU, к общей площади пригодных почв для этой культуры в рамках всего узла (по всем EMU). Объединение смоделированных параметров продуктивности сельскохозяйственных культур на административных территориальных уровнях осуществляется по тем же принципам.

Для территории административного района агрегированный показатель продуктивности определяется по формуле

$$Y_{N_2} = \frac{\sum_{i=1}^n C_{E,i} \times A_{E,i} \times Y_{E,i}}{\sum_{i=1}^n C_{E,i} \times A_{E,i}}, \quad (11)$$

где Y_{N_2} – показатель продуктивности сельскохозяйственной культуры в границах административного района; Y_E – смоделированные показатели продуктивности в пределах EMU; A_E – площадь EMU; C_E – часть площади EMU, пригодной для выращивания данной культуры; n – количество EMU в границах административного района (NUTS-2).

По формуле (11) также могут быть получены агрегированные показатели продуктивности сельскохозяйственных посевов и на других территориальных уровнях – областном или страны в целом.

8. АДАПТАЦИЯ СХЕМЫ ПРОГНОЗА УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В РАЗРЕЗЕ АДМИНИСТРАТИВНЫХ ЕДИНИЦ (РАЙОНОВ И ОБЛАСТЕЙ)

Как уже указывалось, в системе CGMS-Украина используется статистическая модель прогноза урожайности. Для этого используется подход, предложенный в [29, 30], в котором в качестве предикторов служат результаты биофизического моделирования роста сельскохозяйственных культур. Эти результаты не что иное,

как интегральная характеристика развития сельскохозяйственных культур в зависимости от метеорологических условий и почвенных характеристик, т.е. их влияние на урожайность этих культур. В таком случае окончательная урожайность может быть записана как [31]

$$Y_T = b_0 + f(T) + f(simulation) + e, \quad (12)$$

где $f(simulation)$ является функцией, описывающей вклад результатов биофизического моделирования роста сельскохозяйственных культур в зависимости от погодных условий в общую урожайность, т/га; $f(T)$ – технологический тренд как функция времени, т/га; e – остаточный член, не связанный с трендом, т/га; b_0 – значение урожайности без учета метеорологических факторов и тренда, т/га.

Следуя работе [32], уравнение (12) может быть переписано как

$$Y_T = b_0 + b_1 T + b_2 S_T, \quad (13)$$

где Y_T и S_T – оцениваемая урожайность и предикторы, полученные в результате биофизического моделирования, т/га; T , b_0 , b_1 и b_2 – постоянные регрессии; b_0 – константа представляющая собой среднюю официальную статистическую урожайность, т/га; b_1 – ежегодный технологический тренд урожайности, т/га; b_2 – константа, описывающая вклад метеорологических условий и изменяющаяся от 0 до 1.

Адаптация схемы прогноза, которая используется в CGMS-Украина, проводилась для всех областей и включала ранее упоминавшиеся пять сельскохозяйственных культур, которые составляют основной аграрный экспортный потенциал страны. Процесс адаптации состоял из следующих шагов:

1. выбор оптимальных предикторов для прогноза урожайности с использованием регрессионной модели;
2. сравнительный анализ точности прогноза урожайности по регрессионной модели с фактическими данными.

8.1 Выбор оптимальных предикторов для прогнозирования урожайности озимой пшеницы по регрессионным моделям

К параметрам биопроductивности посевов сельскохозяйственных культур относятся общая сухая биомасса, биомасса продуктивных органов растений, индекс площади поверхности листьев,

которые могут быть определены для двух типов расчетов – для достаточного и недостаточного увлажнения.

Для определения наиболее информативного предиктора используется метод наименьших квадратов, по которому определяется минимальная разница между спрогнозированной и фактической урожайностью.

Проведенные исследования показали, что наименьшая квадратическая ошибка наблюдалась при использовании в качестве предикторов индекса площади поверхности листьев при недостаточном увлажнении (WLAI) и сухой биомассы продуктивных органов в условиях недостаточного увлажнения (WLYS). Первый предиктор (WLAI) является более информативным в начальной фазе развития – до формирования продуктивных органов, а другой предиктор (WLYS) – в более поздние сроки, после начала формирования продуктивных органов.

8.2 Сравнительный анализ точности прогноза урожайности по регрессионной модели с фактическими данными

С использованием выше указанного предиктора было оценена точность прогноза озимой пшеницы по каждому району Киевской области за 2007 г. (в качестве примера). Для оценки были использованы следующие статистические характеристики:

а) относительная ошибка прогноза

$$APE = \frac{|Y_f - Y_T|}{Y_T} \times 100, \quad (14)$$

где Y_f – фактическая урожайность, т/га;

б) дисперсия ошибки

$$RMSE = \sqrt{\frac{(Y_f - Y_T)^2}{N}}, \quad (15)$$

где N – количество точек;

в) среднее отклонение между фактическими и прогностическими значениями урожайности

$$RES = \frac{(Y_f - Y_T)}{N}. \quad (16)$$

Относительная ошибка прогноза урожайности озимой пшеницы, составленного во второй декаде июня 2007 г. по административным районам Киевской области, варьирует в достаточно больших пределах, однако, в основном не превышает 20 % (табл. 3). Средняя относительная

ошибка равна 12 %.

В абсолютных значениях средняя квадратическая ошибка прогноза составила 0,33 т/га, что находится в допустимых границах точности прогнозирования, определенных для системы CGMS-Europe.

Наименьшая урожайность спрогнозирована в Иванковском (1,17 т/га) и Вышгородском (1,95 т/га) районах. В то время, фактическая урожайность была, соответственно 1,38 и 1,73 т/га.

Наибольшая урожайность спрогнозирована в Обуховском, Кагарлицком и Рокитнянском районах и составляла, соответственно, 4,52 т/га, 5,02 т/га и 4,58 т/га, фактическая урожайность в этих районах составила, соответственно, 4,09 т/га, 4,27 т/га и 4,09 т/га.

Таким образом, регрессионный метод прогноза урожайности озимой пшеницы, где в качестве предикторов использованы параметры продуктивности посевов, позволил получить удовлетворительные значения средней районной урожайности с месячной заблаговременностью.

9. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ АДАПТАЦИЯ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТОВ СИСТЕМЫ CGMS-УКРАИНА

Технологическая адаптация системы заключалась в модификации и компиляции исходных кодов программы, написанных на языке программирования C++, компилятором Microsoft Visual C++ 6.0 в среде Windows 7, включая блок статистической обработки данных для прогнозирования урожайности использующий такие функции как линейная регрессия и сценарный анализ [33], который состоял из пакета программ MathPack Professional Edition (<http://www.lohninger.com/mathpack.html>) и представлен в виде специальной DLL библиотеки. Таким образом, были сформированы исполняющие файлы *CGMS.exe* и *CGMSBAT.exe*, которые вместе с базой данных могут работать как в интерактивном режиме, когда оператор может самостоятельно манипулировать параметрами для проведения расчетов, так и автоматическом, путем прописывания последовательности команд в *CGMS.ini* файле. В настоящее время в УкрГМИ действуют две версии этой системы, одна из которых использует районные статические данные по урожайности, а другая – областные. Различие в этих двух версиях также состоит в использовании различных элементарных расчетных единицах, которые зависят от принимаемого уровня административного деления.

Таблица 3 - Оценка точности прогноза урожайности озимой пшеницы в административных районах Киевской области 2007 г.

Административный район	Фактическая урожайность, т/га	Расчетная урожайность, т/га	Относительная погрешность прогноза, %
Барышевский	3.28	3.14	4
Белоцерковский	3.37	3.4	1
Богуславский	2.66	3.01	13
Бориспольский	3.21	3.13	2
Бородянский	2.47	2.33	6
Броварской	2.96	2.49	16
Васильковский	3.38	4.2	24
Володарский	3.75	4.01	7
Вышгородский	1.38	1.95	41
Згуровский	3.69	3.24	12
Иванковский	1.73	1.17	32
Кагарлицкий	4.27	5.02	18
Киево-Святошинский	3.51	4.01	14
Макаровский	1.95	2.28	17
Мироновский	3.24	4.03	24
Обуховский	4.09	4.52	11
Переяслав-Хмельницкий	2.89	2.9	0
Рокитнянский	4.09	4.58	12
Сквирский	2.99	3.23	8
Ставищенский	3.2	3.04	5
Таращанский	2.98	3.25	9
Тутаевский	2.99	3.1	4
Фастовский	3.2	3.12	3
Яготинский	3.87	3.65	6

Результаты работы системы CGMS-Украина доступны на web страничке <http://entln.uhmi.org.ua/case/CGMS>

10. ВЫВОДЫ

Таким образом, по результатам проведенных исследований осуществлено методическую и технологическую адаптацию системы CGMS (Crop Growth Monitoring System - системы мониторинга условий роста и развития сельскохозяйственных культур и прогнозирования урожайности) для использования в Украине.

Для работы системы создана комплексная база входящих данных в формате MSAccess, которая включает метеорологическую, фитофенологическую, почвенную и статистическую информацию.

Метеорологическая информация состоит из интерполированных в сетку гридов 50×50 км ежедневных срочных стандартных метеоданных в форматах WMO, полученных из сети станций

Гидрометцентра Украины.

Фитофенологическая информация включает множество биологических коэффициентов растений, а также дату сева, всходов и созревания сельскохозяйственных культур, которые были получены в результате полевых исследований и наблюдений на агрометеорологических станциях и постах по всей Украине.

В качестве почвенной информации использовалась оцифрованная карта почв в масштабе 1:2500000 с предварительно проведенной согласованностью между таксономией Украины и классификацией почв WRB. Из почвенной карты извлечено 40 типов почв, характеристики которых были вовлечены в процесс моделирования, а именно глубина залегания корневого слоя и параметры влажности (наименьшая полевая влагемкость, точка увядания и пр.).

Статистическая информация получена из областных и районных управлений Государственной службы статистики Украины и состоит из 46350 записей, в которых указаны урожайность

и площади посевов озимой пшеницы, кукурузы, ячменя, подсолнечника и сои.

Выполнена пространственная схематизация для расчетов и дальнейшей агрегации показателей продуктивности сельскохозяйственных посевов, в результате которой выделено 6913 элементарных картографических единиц, для каждой из которых и применяется точечная модель WOFOST.

Адаптирована схема прогноза урожайности, которая базируется на модели регрессии и для которой определены оптимальные предикторы (индекс площади поверхности листьев WLAI в начальной фазе развития растений и биомасса продуктивных органов WLYS для более поздних сроков вегетации).

Проведена технологическая адаптация программных средств для проведения расчетов, которая заключалась в модификации и компиляции исходных кодов программы, написанных на языке программирования C++.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Genovese, G.P. (2001). Introduction to the MARS Crop Yield Forecasting System (MCYFS). *Meeting on 4 and 5 October 2001, Luxembourg*. Space Applications Institute, Joint Research Centre of the European Commission, Ispra, Italy, pp. 15.
- Keulen, H. van, Diepen, C.A. van. (1990). Crop growth models and agro-ecological characterization. In: A. Scaife (Ed.). *Proceedings of the first congress of the European Society of Agronomy*, 5-7 December, Paris, CEC, ESA, INRA, pp. 1-16.
- Keulen, H. van, Wolf, J. (Eds). (1986). *Modelling of agricultural production: weather, soils and crops: Simulation monographs*. Pudoc, Wageningen, The Netherlands.
- Huang Qing, Chen Zhongxin, Wenbin Wu, Wit Allard, Teng Fei, Li Dandan. (2011). *China crop growth monitoring system-methodology and operational activities overview*, pp. 2961-2964. DOI: <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2011.6049837>
- El Aydam, M., Balaghi, R. Promising 2010-2011 crop season for winter cereals. (2011). *Mars Bulletin: Crop monitoring in Morocco, Special Issue*, 19(1).
- Buffet, D., Dehem, D., Wouters, K., Tychon, B., Oger, R., Veroustater, F. (1999). *Adaptation of the European Crop Growth Monitoring System to the Belgian Conditions*. URL: <https://www.researchgate.net/deref/cgms.cragx.fgov.be> (accessed at 05.07.2017)
- Код для оперативной передачи данных приземных гидрометеорологических наблюдений. *Википедия:веб-сайт*. URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/KH-01> (дата обращения 07.07.2017)
- Buck, A.L. (1981). New equations for computing vapor pressure and enhancement factor. *J. Appl. Meteorol.*, 20, 1527-1532.
- Alduchov, O.A., Eskridge, R.E. (1996). Improved Magnus' form approximation of saturation vapor pressure. *J. Appl. Meteorol.*, 35, 601-609.
- CGMS Version 9.2, *User Manual and Technical Documentation draft*. (2003). Institute for the Protection and Security of the Citizen (IPSC/JRC) & Alterra - Wageningen University and Research Centre.
- Beek, E.G. (1991). *Spatial interpolation of daily meteorological data. Theoretical evaluation of available techniques. Report 53.1*. DLO Winand Staring Centre, Wageningen, The Netherlands, pp. 43.
- Diepen, C.A. van. (1998). Application of simple interpolation methods in agrometeorology. In: B. Gozzini, M. Hims (Eds). *Proceedings of workshop on dealing on spatialisation, 24-25 September, 1996, Toulouse*. EUR 18473 EN, Office for Official Publications of the EU, Luxembourg, pp. 3-17.
- Goot, E. van der. (1998). Spatial interpolation of daily meteorological data for the Crop Growth Monitoring System (CGMS). In: M. Bindi, B. Gozzini (Eds). *Proceedings of seminar on data spatial distribution in meteorology and climatology, 28 September - 3 October, 1997, Volterra, Italy*. EUR 18472 EN, Office for Official Publications of the EU, Luxembourg, pp. 141-153.
- Goot, E. van der. (1997). *Technical description of interpolation and processing of meteorological data in CGMS*. Joint Research Centre of the European Commission, Ispra, Italy.
- Savin, I. et al. (2007). *Climatically Optimal Planting Dates. JRC Scientific and Technical Report*. p. 57.
- New soil information for CGMS (Crop Growth Monitoring System) (SINFO). Final report*. (2005). Alterra - Wageningen University and Research Centre and INRA.
- King, D. et al. (1995). The EU soil geographic database. In: D. King, R.J.A. Jones, A.J. Thomasson (Eds). *European land information systems for agro-environmental monitoring*. EUR 16232 EN, Office for Official Publications of the EU, Luxembourg, pp. 43-60.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations*. (2017). FAO Soils portal. URL: <http://www.fao.org/soils-portal> (accessed at 26.07.2017)
- Stolbovoy, V., Montenerella, V., Medvedev, V. (2001). New soil information for MARS Crop Yield Forecasting System, JRC, 2006. Integration of data soil information in Russia, Belorussia, Ukraine and Moldova in soil data base of Europe. *Pedology*, 7, 772-790.
- Медведев В. Опыт использования международной почвенной классификации в Украине. *Бюллетень аграрных наук*. 1999. № 1. С. 11-18.
- Атлас почв Украины /под ред. Н.Г. Крупского, Н.И. Полулана. Киев: Урожай, 1978. 160 с.
- Справочник по агрохимическим и агроэкологическим свойствам почв в Украине /под ред. Б.С. Носко, Б.С. Пристер, М.В. Лободы. Киев: Урожай, 1994. 333 с.
- Йовенко Н. Г. Водно-физические свойства и водный режим почв в УССР. Ленинград: Гидрометиздат, 1960. 350 с.
- Diepen, C.A. van. (1997). *Delivery CGMS version 5.1*. DLO Winand Staring Centre, Wageningen, The Netherlands.
- Diepen, C.A. van, Rappoldt, C., Wolf, J., Keulen, H. van. (1988). *Crop growth simulation model WOFOST. Documentation version 4.1. for World Food Studies*. Wageningen, The Netherlands.
- Diepen, C.A. van, Wolf, J., Keulen, H. van. (1989). WOFOST: a simulation model of crop production. *Soil Use and Management*, 5(1), 16-24.
- Boogaard, H.L. et al. (1998). *WOFOST 7.1; user's guide for the WOFOST 7.1 crop growth simulation model and WOFOST Control Center 1.5. Technical Document 52*.

- DLO Winand Staring Centre, Wageningen, The Netherlands.
28. Growth stages of mono- and dicotyledonous plants. (2001). In: Uwe Meier (Ed.). *BBCB Monograph. 2nd ed.* Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry, p. 158.
 29. Vossen, P. (1990). Comparative statistical validation of two ten-day water use models and three reduction hypotheses for yield assessments in Botswana. *Agricultural and Forest Meteorology*, 51, 177-195.
 30. Vossen, P. (1995). Early crop production assessment of the European Union, the systems implemented by the MARS-STAT project. In: J.F. Dallemand, P. Vossen (Eds). *Workshop for Central and Eastern Europe on agrometeorological models: theory and applications in the MARS project, 21-25 November 1994, Ispra, Italy.* EUR 16008 EN, Office for Off. Publ. of the EU, Luxembourg, pp. 21-51.
 31. Vossen, P. (1992). Forecasting national crop yields of E.C. countries: the approach developed by the agriculture project. In: F. Toselli, J. Meyer-Roux (Eds). *Proceedings of conference on the application of remote sensing to agricultural statistics, 26-27 November 1991, Belgirate, Italy.* EUR 14262 EN, Office for Official Publications of the EU, Luxembourg, pp. 159-176.
 32. Vossen, P., Rijk, D. (1995). *Early crop yield assessment of the EU countries: the system implemented by the Joint Research Centre.* EUR 16318 EN, Office for Official Publications of the EU, Luxembourg.
 33. Boogaard, H. et al. (2002). *METAMP. Methodology Assessment of MARS Predictions Description of the MARS Crop Yield Forecasting System, December 2002.*
- REFERENCES**
1. Genovese, G.P. (2001). Introduction to the MARS Crop Yield Forecasting System (MCYFS). *Meeting on 4 and 5 October 2001, Luxembourg.* Space Applications Institute, Joint Research Centre of the European Commission, Ispra, Italy, pp. 15.
 2. Keulen, H. van, Diepen, C.A. van. (1990). Crop growth models and agro-ecological characterization. In: A. Scaife (Ed.). *Proceedings of the first congress of the European Society of Agronomy, 5-7 December, Paris, CEC, ESA, INRA,* pp. 1-16. .
 3. Keulen, H. van, Wolf, J. (Eds). (1986). *Modelling of agricultural production: weather, soils and crops: Simulation monographs.* Pudoc, Wageningen, The Netherlands.
 4. Huang Qing, Chen Zhongxin, Wenbin Wu, Wit Allard, Teng Fei, Li Dandan.(2011). *China crop growth monitoring system-methodology and operational activities overview,* pp. 2961-2964. DOI: <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2011.6049837>
 5. El Aydam, M., Balaghi, R. Promising 2010-2011 crop season for winter cereals. (2011). *Mars Bulletin: Crop monitoring in Morocco, Special Issue,* 19(1).
 6. Buffet, D., Dehem, D., Wouters, K., Tychon, B., Oger, R., Veroustater, F. (1999). *Adaptation of the European Crop Growth Monitoring System to the Belgian Conditions.* Available at: <https://www.researchgate.net/deref/cgms.cragx.fgov.be> (accessed at 05.07.2017)
 7. Wikipedia. (2017). *Code for the operational data transmission of surface hydrometeorological observations.* Available at: <http://ru.wikipedia.org/wiki/KH-01> (accessed 07.07.2017). (in Russ)
 8. Buck, A.L. (1981). New equations for computing vapor pressure and enhancement factor. *J. Appl. Meteorol.*, 20, 1527-1532
 9. Alduchov, O.A., Eskridge, R.E. (1996). Improved Magnus' form approximation of saturation vapor pressure. *J. Appl. Meteorol.*, 35, 601-609
 10. *CGMS Version 9.2, User Manual and Technical Documentation draft.* (2003). Institute for the Protection and Security of the Citizen (IPSC/JRC) & Alterra - Wageningen University and Research Centre.
 11. Beek, E.G. (1991). *Spatial interpolation of daily meteorological data. Theoretical evaluation of available techniques. Report 53.1.* DLO Winand Staring Centre, Wageningen, The Netherlands, pp. 43.
 12. Diepen, C.A. van. (1998). Application of simple interpolation methods in agrometeorology. In: B. Gozzini, M. Hims (Eds). *Proceedings of workshop on dealing on spatialisation, 24-25 September, 1996, Toulouse.* EUR 18473 EN, Office for Official Publications of the EU, Luxembourg, pp. 3-17.
 13. Goot, E. van der. (1998). Spatial interpolation of daily meteorological data for the Crop Growth Monitoring System (CGMS). In: M. Bindi, B. Gozzini (Eds). *Proceedings of seminar on data spatial distribution in meteorology and climatology, 28 September - 3 October, 1997, Volterra, Italy.* EUR 18472 EN, Office for Official Publications of the EU, Luxembourg, pp. 141-153.
 14. Goot, E. van der. (1997). *Technical description of interpolation and processing of meteorological data in CGMS.* Joint Research Centre of the European Commission, Ispra, Italy.
 15. Savin, I. et al. (2007). *Climatically Optimal Planting Dates. JRC Scientific and Technical Report.* p. 57.
 16. *New soil information for CGMS (Crop Growth Monitoring System) (SINFO). Final report.* (2005). Alterra - Wageningen University and Research Centre and INRA.
 17. King, D. et al. (1995). The EU soil geographic database. In: D. King, R.J.A. Jones, A.J. Thomasson (Eds). *European land information systems for agro-environmental monitoring.* EUR 16232 EN, Office for Official Publications of the EU, Luxembourg, pp. 43-60.
 18. *Food and Agriculture Organization of the United Nations.* (2017). FAO Soils portal. Available at: <http://www.fao.org/soils-portal> (accessed at 26.07.2017)
 19. Stolbovoy, V., Montenerella, V., Medvedev, V. (2001). New soil information for MARS Crop Yield Forecasting System, JRC, 2006. Integration of data soil information in Russia, Belorussia, Ukraine and Moldova in soil data base of Europe. *Pedology*, 7, 772-790.
 20. Medvedev, V. (1999). [Experience of using the international soil classification in Ukraine]. *Byulleten agrarnykh nauk* [Bulletin of Agrarian Sciences], 1, 11-18. (in Russ)
 21. Krupskiy, N.G., Polupan, N.I. (Eds). (1978). *Atlas pochv Ukrainy* [Atlas of Soils of Ukraine]. Kiev : "Urozhai". (in Russ)
 22. Nosko, B.S., Prister, B.S., Loboda, M.V. (Eds). (1994). *Spravochnik po agrokhimicheskim i agroekologicheskim svoystvam pochv v Ukraine* [Manual on agrochemical and agroecological properties of soils in Ukraine]. Kiev : "Urozhai". (in Russ.)
 23. Yovenko, N.G. (1960). *Vodno-fizicheskiye svoystva i vodnyy rezhim pochv v USSR* [Water-physical properties and water regime of soils in the Ukrainian SSR]. Leningrad : Gidrometizdat. (in Russ).
 24. Diepen, C.A. van. (1997). *Delivery CGMS version 5.1.* DLO Winand Staring Centre, Wageningen, The Netherlands.
 25. Diepen, C.A. van, Rappoldt, C., Wolf, J., Keulen, H. van.

- (1988). *Crop growth simulation model WOFOST. Documentation version 4.1. for World Food Studies*. Wageningen, The Netherlands.
26. Diepen, C.A. van, Wolf, J., Keulen, H. van. (1989). WOFOST: a simulation model of crop production. *Soil Use and Management*, 5(1), 16-24.
27. Boogaard, H.L. et al. (1998). *WOFOST 7.1; user's guide for the WOFOST 7.1 crop growth simulation model and WOFOST Control Center 1.5. Technical Document 52*. DLO Winand Staring Centre, Wageningen, The Netherlands.
28. Growth stages of mono- and dicotyledonous plants. (2001). In: Uwe Meier (Ed.). *BBCB Monograph. 2nd ed.* Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry, p. 158.
29. Vossen, P. (1990). Comparative statistical validation of two ten-day water use models and three reduction hypotheses for yield assessments in Botswana. *Agricultural and Forest Meteorology*, 51, 177-195.
30. Vossen, P. (1995). Early crop production assessment of the European Union, the systems implemented by the MARS-STAT project. In: J.F. Dallemand, P. Vossen (Eds). *Workshop for Central and Eastern Europe on agrometeorological models: theory and applications in the MARS project, 21-25 November 1994, Ispra, Italy*. EUR 16008 EN, Office for Off. Publ. of the EU, Luxembourg, pp. 21-51.
31. Vossen, P. (1992). Forecasting national crop yields of E.C. countries: the approach developed by the agriculture project. In: F. Toselli, J. Meyer-Roux (Eds). *Proceedings of conference on the application of remote sensing to agricultural statistics, 26-27 November 1991, Belgirate, Italy*. EUR 14262 EN, Office for Official Publications of the EU, Luxembourg, pp. 159-176.
32. Vossen, P., Rijks, D. (1995). *Early crop yield assessment of the EU countries: the system implemented by the Joint Research Centre*. EUR 16318 EN, Office for Official Publications of the EU, Luxembourg.
33. Boogaard, H. et al. (2002). *METAMP. Methodology Assessment of MARS Predictions Description of the MARS Crop Yield Forecasting System, December 2002*.

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ АДАПТАЦІЇ СИСТЕМИ CGMS ДЛЯ МОНІТОРИНГУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПОСІВІВ В УКРАЇНІ

О. А. Кривобок¹, О. О. Кривошеїн¹, Адаменко Т. І.²

¹ Український гідрометеорологічний інститут,
03028, м. Київ, проспект Науки, 37, kryvoshein@uhmi.org.ua

² Український гідрометцентр
01601, м. Київ, вул. Золоторітська 6-В, adamenko@meteo.gov.ua

Система моніторингу росту рослин (CGMS) – одна з найсучасніших систем моніторингу умов росту та розвитку сільськогосподарських культур та прогнозування їхньої врожайності в агрометеорологічній практиці. CGMS дозволяє оцінити умови росту, розвитку та накопичення продуктивної біомаси для значного переліку сільськогосподарських культур – озимої пшениці, ячменю, кукурудзи, рису, соняшнику, картоплі, сої та ін. Для кожної культури система повинна бути адаптована в межах певної території з урахуванням метеорологічної, фенологічної, ґрунтової та біологічної інформації. У статті розглядаються особливості технологічної адаптації системи CGMS (системи моніторингу умов росту і розвитку сільськогосподарських культур), а саме: створення метеорологічної бази даних за період 2000-2017 рр., використовуючи стандартні метеорологічні спостереження мережі УкрГМЦ; створення бази даних ґрунтових характеристик, шляхом знаходження відповідності між таксономією ґрунтової карти України і класифікацією ґрунтів WRB; створення бази даних фенологічних характеристик, таких як T_{SUMEM} (сума температур від дати посіву до сходів), T_{SUM1} (сума температур від сходів до цвітіння) і T_{SUM2} (сума температур від цвітіння до стиглості), що були розраховані за даними, отриманими з агрометеорологічних постів і станцій мережі Гідрометцентру України за період 2000-2015 роки по п'яти основних сільськогосподарських культурах (озима пшениця, кукурудза, ярий ячмінь, соя і соняшник); створення бази даних статистичної врожайності на обласному та районному рівнях. Крім того, в статті розглядається просторова схематизація розрахунків і агрегація показників продуктивності сільськогосподарських посівів, отриманих в результаті роботи біофізичної моделі WOFOST. Викладена схема прогнозу врожайності сільськогосподарських культур в розрізі адміністративних одиниць, а також проведена оцінка точності прогнозу врожайності озимої пшениці в адміністративних районах Київської області. Створена web-сторінка результатів оперативної роботи системи CGMS-Україна <http://entln.uhmi.org.ua/case/CGMS>

Ключові слова: система моніторингу; сільськогосподарські культури; показники продуктивності; біофізичне моделювання; прогноз врожайності; WOFOST; CGMS.

PECULIARITIES OF TECHNOLOGICAL ADAPTATION OF THE CGMS SYSTEM FOR AGRICULTURAL CROPS MONITORING IN UKRAINE

O. A. Kryvobok¹, O. O. Kryvoshein¹, T. I. Adamenko²

¹ Ukrainian Hydrometeorological Institute,
37 Nauki av., 03028, Kyiv, Ukraine, kryvoshein@uhmi.org.ua

² Ukrainian Hydrometeorological Center
6 Zolotovoritska str., 01601, Kyiv, Ukraine, adamenko@meteo.gov.ua

The Crop Growth Monitoring System (CGMS) is one of the most advanced systems of monitoring the conditions of crops growth and development and forecasting their yields in agrometeorological practice. The CGMS allows to assess the conditions of growth, development and accumulation of productive biomass of a number of agricultural crops - winter wheat, barley, maize, rice, sunflower, potatoes, soybean etc. For each of the crops the system must be adapted to specific territories taking into account meteorological, phenological, biological information and soil characteristics. The paper discusses the peculiarities of technological adaptation of the CGMS system (Crop Growth Monitoring System) including creation of a meteorological database for the period of 2000-2017 using standard meteorological observations of the Ukrainian Hydrometeorological Center (UkrHMC) network; creation of a soil characteristics database by finding a correspondences of taxonomy of the soil map of Ukraine (scale:1:2500000) to classification of soils of the WRB; creation of a database of phenological characteristics such as T_{SUMEM} (sum of temperatures within the period from sowing to coming-up), T_{SUM1} (sum of temperatures within the period from coming-up to blossoming) and T_{SUM2} (sum of temperatures within the period from blossoming to maturity) calculated according to the data obtained from agrometeorological posts and stations of the UkrHMC network for the period of 2000 - 2015 with regard to five main crops (winter wheat, maize, spring barley, soybean and sunflower); creation of a statistical crop capacity database at the regional and district levels. In addition, the paper considers spatial schematization of calculations and aggregation of agricultural crops productivity indicators obtained as a result of the WOFOST biophysical model application. It also outlines the scheme of crop capacity forecasting based on administrative units and the estimation of forecast accuracy for winter wheat crop capacity in administrative districts of Kiev region. The link to the website containing results of operation of the CGMS-Ukraine system is as follows: <http://entln.uhmi.org.ua/case/CGMS>

Keywords: monitoring system, agricultural crops, productivity indicators, biophysical modeling, crop capacity forecast, WOFOST, CGMS.

Подання до редакції : 20. 02. 2018
Надходження остаточної версії : 18. 05. 2018
Публікація статті : 29. 11. 2018

УДК 556.16.06 (321):556.166

МЕТОД ПРОГНОСТИЧНОЇ ОЦІНКИ ХАРАКТЕРИСТИК МАКСИМАЛЬНОГО СТОКУ РІЧОК БАСЕЙНУ ДНІПРА У ВЕСНЯНИЙ ПЕРІОД РОКУ

Ж. Р. Шакирзанова¹, В. М. Бойко², М. В. Гопцій¹, О. І. Тодорова¹,
А. О. Докус¹, З. Ф. Сербова¹, Н. М. Швець¹

¹ Одеський державний екологічний університет,

вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, natzin@ukr.net

² Український гідрометеорологічний центр ДСНС України,

вул. Золотоворітська, 6-В, 01030, Київ, Україна, vicbojko@meteo.gov.ua

В роботі запропонований метод територіальних довгострокових прогнозів характеристик весняних водопіль річок (на прикладі басейну р. Дніпро в межах території України), що дозволяє при використанні комплексу гідрометеорологічних чинників і встановленні типу водності водопілля за районними залежностями вести щорічне прогнозування шарів стоку та максимальних витрат води водопіль, визначати ймовірність їх настання у багаторічному періоді. Прогностична оцінка характеристик гідрологічного режиму річок басейну Дніпра при картографічному представленні прогнозних величин (у вигляді модульних коефіцієнтів) і їх ймовірнісних показників виконана для весняного водопілля 2017-2018 р. Оцінка методики прогнозів показала задовільні результати, а в умовах багаторічної тенденції до зменшення шарів стоку та максимальних витрат води у період весняного водопілля річок басейну р. Дніпро пропонується здійснювати уточнення середньобагаторічних значень цих величин, які є базовими в методиці територіальних довгострокових прогнозів максимального весняного стоку річок.

Ключові слова: комплекс гідрометеорологічних чинників, тип водності водопілля, багаторічні тенденції, прогнозні характеристики.

1. ВСТУП

В Україні в умовах сучасних коливань клімату змінюється водність річок, у тому числі й періоду весняного водопілля. На фоні загальної тенденції зменшення стокових характеристик весняного водопілля, не виключено формування на річках катастрофічних повеней, що призводять до затоплення територій та руйнування господарських об'єктів. У рамках Угоди про асоціацію між Україною та Європейським Союзом, одним із важливих зобов'язань нашої країни є впровадження Паводкової Директиви 2007/60/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 23 жовтня 2007 року [1] про оцінки і управління ризиками затоплення.

Дослідження спрямоване на розв'язання важливої науково-прикладної та соціально-економічної проблеми покращення водогосподарської обстановки в басейні крупної водної артерії країни р. Дніпро шляхом ймовірнісних оцінок гідрологічних небезпек, до яких відносяться весняне водопілля та його наслідки – повені різного масштабу. При цьому необхідним є створення єдиної універсальної математичної

моделі формування, розрахунку та довгострокового прогнозування характеристик водопіль, її реалізація для річок басейну Дніпра (у тому числі й для невеликих, зазвичай не охоплених даними стокових спостережень) з урахуванням кліматичних змін зимово-весняного періоду. При виникненні загрози затоплення територій, методика прогнозування водопіль з картографічним представленням можливих небезпек надає підґрунтя для обґрунтування планів дій відповідних підрозділів по безпечній евакуації та захисту населення.

Метою роботи є прогностична оцінка характеристик гідрологічного режиму річок басейну Дніпра у період найбільш повноводної фази їх водного режиму – весняного водопілля з метою просторового моніторингу стану водних об'єктів в цей період. В основу довгострокового прогнозування характеристик весняного стоку покладено комплексну прогностичну модель, яка базується на теорії руслових ізохрон та врахуванні комплексу стокоформуєчих гідрометеорологічних чинників при попередньому визначенні типу водності весняного водопілля річок.

Просторове представлення прогнозних вели-

чин у картографічному вигляді (у тому числі при використанні сучасних цифрових технологій) дозволить оцінювати розміри водопілля і його багаторічної повторюваності на усій території басейну, у тому числі скласти прогноз по окремих річках, незалежно від ступеня їх гідрологічної вивченості.

Об'єктом дослідження є гідрологічний режим весняного водопілля річок басейну Дніпра (у межах України) – з притоками Прип'ять, Десна, Сейм, Сула, Псел, Ворскла, Інгулець, Оріль, Самара та ін.

В даній роботі вирішуються питання аналізу умов формування та визначення природних факторів, які призводять до екстремальних весняних водопіль, використання методичної бази щодо територіальних довгострокових прогнозів характеристик максимального стоку весняного водопілля невеликих річок басейну Дніпра (на прикладі весняного водопілля 2017-2018 р.).

Робота виконується в рамках науково-дослідної роботи за рахунок видатків загального фонду державного бюджету «Науково-методична база для встановлення розрахункових характеристик весняного водопілля в басейні Дніпра в умовах мінливості клімату», № ДР0117U002424 (2017-2019 рр.).

2. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Існуючі в практиці гідрологічних прогнозів моделі довгострокових прогнозів шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля розроблені і застосовуються в основному для річок з наявністю часових рядів стокових спостережень на них. Але при формуванні багатководних водопіль, що іноді призводять до затоплень заплавлених територій, потрібна просторова оцінка їх характеристик в цілому для деяких регіонів, де мають місце й річки недостатньо вивчені у гідрологічному відношенні. Вирішення такої задачі можливе при створенні територіальних прогностичних методик, які дозволяли б прогнозувати розмір весняних витрат води для будь-якого за площею і географічним положенням водозбору розглядуваної території.

Головним напрямком досліджень при накопиченні матеріалів спостережень за чинниками весняного стоку в басейнах різних річок, а також застосування математичних методів до вирішення задач прогнозування стоку стало отримання більш надійних і фізично обґрунтованих методів прогнозів стоку як по окремих річках, так і загальних – для значних за площею тери-

торій. Наявність географічних закономірностей розподілу по території гідрологічних характеристик весняного водопілля і можливості їх просторової інтерполяції встановили ще у 20-30-ті роки минулого сторіччя Д.І. Кочерин і Д.Л. Соколовський. Досліджуванням географічного розподілу весняного стоку присвячені також роботи А.В. Огієвського, І.Д. Антонова, П.С. Кузіна та ін.

Просторові узагальнення талого стоку для річок районів з однорідними фізико-географічними умовами, а також даних про запаси води у сніговому покриві, весняні опади, глибини промерзання ґрунтів, втрати талих вод, коефіцієнти весняного стоку й інші елементи вперше виконані В.Д. Комаровим [2] у вигляді карт ізоліній норм цих величин на Європейській території СРСР. Автор також уперше підійшов до питання територіальних прогнозів шарів стоку водопілля у вигляді побудови узагальнених по низці річок балансових залежностей шарів стоку від факторів, які їх визначають, а також надав їх аналітичний опис у вигляді

$$Y = X - P_0 \operatorname{th} \frac{X}{P_0}, \quad (1)$$

де Y - шар тало-дощового стоку за період весняного водопілля, мм; X – сумарний запас вологи на басейні на початку весняного водопілля, мм.

В редакції В.Д. Комарова [2], параметр P_0 є поверхнева ємність і втрати води на інфільтрацію в мерзлий ґрунт. Для річок степової і лісостепової зон ЄТС він встановив, що

$$P_0 = Ae^{-w(bl+a)}, \quad (2)$$

де w – запас вологи в шарі ґрунтів на початок весни, мм; l – глибина промерзання ґрунтів, см; A , a , b – емпіричні параметри.

Використання територіально загальних залежностей для довгострокових прогнозів стоку весняного водопілля розглядалися у дослідженнях низки авторів різних років. Слід зазначити територіальні методики для прогнозування стоку весняного водопілля В.Н. Паршина і М.С. Салова [3] на прикладі річок степової і лісостепової зон (у басейні р. Дон), С.І. Харченка [4] – річок зони недостатнього зволоження, Є.Г. Попова [5] – для деяких північних річок, В.А. Романенка [6] – для невеликих річок басейну Дніпра (в межах України), В.В. Салазанова [7] – для річок Верхнього Дніп-

ра. В подальші роки з'явилися розробки О.С. Змієвої [8] для річок басейну Волги, А.І. Суботіна [9] – для річок Нечорноземної зони ЄТС та ін.

Зазначені територіальні методики використовуються для шарів чи об'ємів стоку весняного водопілля. При переході до максимальних витрат води Q_m або модулів q_m весняного водопілля, які залежать від площ водозборів, пов'язаних з трансформацією паводкових хвиль гідрологічною мережею, завжди використовують індивідуальні залежності $Q_m = f(Y)$ для окремих річкових басейнів. В 50-ті роки минулого сторіччя Г.П. Калініним і Т.Т. Макаровою (1958 р.) були побудовані узагальнені для низки річок прогностичні залежності максимальних витрат води від розрахункового шару талого стоку, виражені у модульних коефіцієнтах, проте, вони не знайшли широкого застосування в практиці.

Побудова територіальної методики для довгострокового прогнозу максимальних витрат води весняного стоку є розробка О.С. Змієвої [10]. В основу моделі покладено одномодальний гідрограф у вигляді редуційної формули, параметри якої одержані як осереднені для річок однорідного району, відповідно до ландшафтно-гідрологічного районування території [11]. Прогностична модель побудована і реалізується на основі залежностей максимальних витрат води від шару стоку за повінь, де як третя змінна виступає площа водозбору. Прогноз максимуму весняного припливу для різних за розмірами водозборів здійснюється на основі розрахунку шару стоку за повінь, як середнього значення для річок однорідного району, що вносить додаткові похибки в прогнозну схему.

Прикладом довгострокового прогнозу максимальних витрат води весняного водопілля по узагальнених для низки річок залежностях максимальних модульних коефіцієнтів від факторів водопілля (максимальних снігозапасів разом з опадами та показником попереднього зволоження ґрунту на басейні) може бути метод, що запропонований в [12]. Використання методу для територіальних прогнозів Q_m пов'язане з можливістю надійного обчислення норми Q_0 , що може здійснюватися лише для басейнів, по яких є часові ряди спостережень і які зазвичай відсутні на відносно невеликих річках (з площею водозбору декілька тисяч квадратних кілометрів [12]).

Сучасна модель для довгострокових гідрологічних прогнозів шарів стоку і максимальних витрат води весняного водопілля рівнинних

річок «СЛОЙ-2» (автор М.М. Сусідко) призначена для дослідження динаміки зимово-весняних процесів на річковому водозборі та дозволяє виконувати довгострокове прогнозування характеристик весняного стоку [13].

Модель формування весняного стоку «СЛОЙ-2» дозволяє використовувати її в різних ландшафтних умовах як для аналізу процесів снігонакопичення та сніготанення, зміни стану підстильної поверхні водозбору – динаміки глибини промерзання і відтаювання ґрунтів [14], їх зволоженості, так і прогнозування шарів (об'ємів) стоку водопілля. Оцінка динаміки цих природних процесів здійснюється для відкритих і залісених частин річкових басейнів, у тому числі й у районах з зимовими відлигами, що порушують хід процесів снігонакопичення і сніготанення та можуть суттєво впливати на стан підстильної поверхні [13].

Для прогнозу шарів стоку за водопілля з річкового водозбору в моделі «СЛОЙ-2» використаний воднобалансовий підхід. Втрати талої води виражаються в моделі двома показниками за допомогою коефіцієнту стоку та через шар поверхневого утримання. Принципова схема методу, включеного в модель «СЛОЙ-2», розроблена І.Г. Рубцовим [15], котрий використав його при прогнозуванні стоку в лісостепових та степових районах України [16]. Для розрахунку водовіддачі під час зимових відлиг в моделі використаний методичний підхід з використанням коефіцієнтів танення та показників водоутримуючої спроможності снігу [13].

В моделі «СЛОЙ-2» обґрунтована й можливість просторових довгострокових гідрологічних прогнозів максимальних витрат води весняного водопілля рівнинних річок на основі встановлення графічних залежностей між шарами стоку і максимальними витратами води, побудованих для основних створів річок басейнів, що розглядаються в моделі.

Для визначення максимальних весняних витрат води з малих водозборів, при відсутності гідрометричних спостережень, необхідно мати шар стоку та відомості про площу і похил місцевості водозборів. Однак, використання цього методу для прогнозування максимальних витрат води весняного водопілля потребує наявності шарів весняного стоку, які не відомі на дату випуску прогнозу і підлягають їх завчасному прогнозуванню.

До територіальних моделей прогнозування шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля рівнинних річок в роботах [17,18] запропонований прогностичний метод,

що враховує комплекс гідрометеорологічних чинників, які в щорічному їх сполученні призводять до формування різних за висотою та об'ємом водопіль. Реалізація методу виконана авторами на прикладі окремих річкових басейнів України [17, 19-21], в тому числі у вигляді програмних автоматизованих прогностичних комплексів (зокрема для басейнів Прип'яті, Десни з Сеймом, інших приток Середнього Дніпра), що розроблені на замовлення Українського гідрометцентру ДСНС України та використовуються в їх практичній діяльності [22, 23].

3. ОБ'ЄКТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Річка Дніпро є основною водною артерією України. Протікає з півночі на південь в межах Росії, Білорусі і через всю Україну, де знаходиться 58% площі її басейну [24,25]. Українська частина басейну розташована в південно-західній частині Східноєвропейської рівнини, на півночі і північному сході обмежена Державним кордоном України, на заході межує з басейнами Вісли, Дністра і Південного Бугу, на сході – з річковим басейном Сіверського Дінця, а на південному сході, до Дніпровського лиману Чорного моря – з басейнами річок Приазов'я.

Річковий басейн Дніпра розташований на території від 52°20' півн. ш. до 46°30' півн. ш. і від 23°41' сх. д. до 37°48' сх. д., знаходячись у трьох географічних зонах: мішаних лісів, лісостеповій і степовій, що зумовлює особливості формування кліматичних умов, ґрунтового і рослинного покриву, гідрографічної сітки та гідрологічного режиму річок.

На території України Дніпро приймає свої найбільші притоки. На півночі це р. Прип'ять (права) і р. Десна (ліва), в середній частині – річки Тетерів, Рось, Сула, Псел, Ворскла. До Нижнього Дніпра впадають річки Інгулець, Оріль, Самара. Відповідно гідрографічного районування території України, виконаного авторами роботи [26] згідно вимог Водної Рамкової Директиви (Директива 2000/60/ЄС Європейського Парламенту і Ради від 23 жовтня 2000 року про встановлення рамок діяльності Співтовариства у сфері водної політики [27]) в межах району річкового басейну Дніпра (на території України) виділено 4 суббасейни: Прип'яті, Десни, Середнього Дніпра та Нижнього Дніпра. На даний час згідно Наказу від 03.03.2017 №103 «Про затвердження Меж районів річкових басейнів, суббасейнів та водогосподарських ділянок» [28] територія Дніпра поділяється на 5 частин, включаючи, крім перелічених, суббасейн

Верхнього Дніпра (р. Дніпро від державного кордону до початку Київського водосховища (включаючи р. Сож у межах України).

Характер рельєфу басейну Дніпра загалом рівнинний. Басейн охоплює декілька орографічних областей: Придніпровську височину, південно-західний схил Середньоруської височини, північну частину Подільської та північний схил Приазовської височини, а також Поліську, Придніпровську і Причорноморську низовини.

Характер ґрунтового покриву на території басейну Дніпра дуже різноманітний. В суббасейні Прип'яті та північної частини суббасейну Десни перевагу мають дерново-підзолисті ґрунти, за механічним станом піщані, глинисто-піщані та піщані суглинисті. Також зустрічаються торф'яно-болотні ґрунти. В суббасейні Середнього Дніпра поширені сірі лісові ґрунти та опідзолені чорноземи. Далі зону суббасейна Нижнього Дніпра покривають звичайні та південні чорноземи, а також каштанові ґрунти.

Рослинність рівнинної частини України в значній мірі змінена внаслідок господарської діяльності людини. В суббасейні Прип'яті залісеність змінюється від 4% до 67%. Найбільші площі лісів збереглися в північній частині: в басейнах річок Стир (24%), Стохід (35%), Уборть (67%). Найбільш залісеними є території верхньої та середньої частини суббасейну Десни. В басейнах річок Ветьма та Болва залісеність становить 30-61%, безпосередньо у верхів'ях Десни - 27-40%, а в басейні р. Соля - 96% поверхні водозбору вкрито лісами. У суббасейні Десни лісові масиви представлені переважно дубами та соснами і зосереджені окремими масивами. Середні ж показники заболоченості на території змінюються від 1% до 6%. Заболоченість суббасейна Середнього Дніпра коливається від 2% до 11%, відповідно, болотна рослинність в зоні займає незначну площу і зосереджена головним чином у Придніпровській низовині і в басейнах приток Дніпра – Супія, Сули (заболоченість складає 5-12%) і Псла, де також переважають низинні заплавні болота, а залісеність змінюється від 10% (р.Рось) до 27% (р. Ірпінь). В суббасейні Нижнього Дніпра природних лісів практично немає (за винятком заплавної і плавневих), залісеність складає 1-7% (р. Інгулець). В умовах недостатнього і посушливого клімату дана зона, не сприятлива для утворення боліт – її заболоченість менш 1% [24,25,29].

Через значну протяжність басейну різні його частини мають кліматичні відмінності. Основні риси клімату описуваної території формуються під впливом загальних і місцевих кліматичних

факторів. Головним з них є приплив тепла від сонця, який в основному залежить від географічної широти місцевості, збільшуючись з півночі на південь. В цілому клімат помірно континентальний з прохолодною зимою (з короткочасними відлигами) і теплим (інколи спекотним) літом. Зміна хвиль теплої і холодної повітря створює нестійку погоду, викликає грозові дощі влітку [24,30,31]. Кількість та інтенсивність відлиг збільшуються у південно-західному напрямку і призводять до нестійкості погоди в зимовий період.

Показниками термічного режиму є середні річні температури повітря, які змінюються з півночі на південь від 6°C - 7°C до 10°C - 11°C. Найхолодніший зимовий місяць – січень, його середня місячна температура складає (-6°C) - (-7°C) на півночі, до 2,2°C на півдні. Найвищі середні температури спостерігаються в липні і складають 19°C-23°C.

У розподілі кількості опадів на території спостерігається така закономірність: вони поступово зменшуються з півночі і північного заходу (600 мм – 630 мм) на південь і південний схід (400 мм). Найбільша кількість опадів випадає в липні і в середньому за багаторіччя становить 80-90 мм, досягаючи в багатоводні роки 180-250 мм [31]. Найменша їх сума спостерігається у лютому і дорівнює в середньому 25-35 мм.

Сніговий покрив та інтенсивність сніготанення є визначальними у формуванні весняного водопілля річок. В середньому величини максимальних снігозапасів змінюються від 80-90 мм на північному сході, до 50 мм - в середній частині та до 40-20 мм – в південній частині басейну Дніпра.

Максимальні глибини промерзання ґрунтів, що визначають їх інфільтраційну спроможність під час формування і розвитку весняного водопілля змінюються в середньому від 70-80 см на півночі і північному сході до 40-20 см – на півдні басейну [32].

Хронологічні графіки багаторічного ходу (1960-2015 рр.) максимальних запасів води в сніговому покриві та глибин промерзання ґрунтів показують тенденцію до їх зменшення у зв'язку з сучасним підвищенням температур повітря зимових місяців у регіоні [31,33,34].

Дніпро є головним стрижнем водних шляхів країни. Стік Дніпра формується переважно у верхній його частині (до м. Київ), де кліматичні умови найбільш сприятливі. Дніпро протікає в різних природних умовах, де на величину весняного стоку впливає значна кількість факторів.

Домінуючими факторами є осінньо-зимово зволоженість ґрунту, величина снігозапасів в басейні, характер сніготанення. Крім того, величина максимуму залежить від співпадіння або зміщення у часі піків на основних притоках (рр. Сожі, Прип'яті, Десни та Верхньому Дніпрі) [24]. Кліматичні фактори обумовлюють розподіл стоку на великих і середніх річках, а фактори підстильної поверхні й антропогенний вплив – формують гідрологічний режим малих річок. Елементи водного балансу відповідно до загальної закономірності розподілу зменшуються з півночі на південь.

За характером водного режиму річки басейну Дніпра відносяться до рівнинного типу, переважно снігового живлення. Найбільші середньомісячні витрати води спостерігаються у березні-квітні, найменші – наприкінці літа або на початку осені.

Для режиму внутрішньорічного розподілу стоку суббасейна Прип'яті характерно ярко виражене весняне водопілля і низька межінь, яка порушується короткочасними літніми та зимовими паводками від опадів та відлиг. Початок водопілля на малих і середніх річках відноситься до першої декади березня, іноді до другої і третьої декад лютого; закінчується – у другій половині квітня, іноді у першій декаді травня. Тривалість водопілля 1,5-2 місяці. У цей сезон по річках проходить 45-60% їх річного стоку. Пік зазвичай спостерігається наприкінці травня – початку квітня [24,35]. У зимовий період (20-25% річного стоку) спостерігається підвищення стоку за рахунок талих вод під час відлиг.

Такий внутрішньорічний розподіл стоку спостерігається й для деяких річок суббасейну Середнього Дніпра (праві притоки Дніпра нижче Прип'яті) – річок Тетерева і Росі.

Режим річок басейнів лівих приток Дніпра від Десни до Орелі (суббасейн Середнього Дніпра) і самого суббасейну Десни характеризується високим весняним водопіллям, яке має два-три піки, що обумовлені нерівномірним таненням снігу або дощами. Найвищий рівень під час водопілля спостерігається на початку квітня (на малих річках) та середині квітня (на річках суббасейну Десни). Весняне водопілля починається на початку-середині березня, а закінчується на малих і середніх річках в середині-кінці квітня, на великих – у середині-кінці травня. Тривалість водопілля в роки з інтенсивним сніготаненням становить у середньому 40-45 днів, а при слабкому розвитку весняних процесів – до 80-100 днів. Весняне водопілля на річках формує 65-70% річного стоку. Зимові

паводки тут рідше спостерігаються, ніж на Правобережжі Дніпра [35].

Внутрішньорічний розподіл стоку в суббасейні Нижнього Дніпра та р. Тясмин (суббасейн Середнього Дніпра) характеризується досить високим весняним водопіллям, яке настає зазвичай у лютому-квітні (майже 70 % річного стоку), і низькою літньою меженню (травень-серпень), що порушується незначними дощовими паводками. Для малих річок стік характерний лише під час весняної та дощових повеней. Весняне водопілля спостерігається не щорічно і зазвичай проходить у лютому-березні. Сезоном, на який припадає найменша частка річного стоку є осінь (5-10 %) [35]. На більшості річок території рівневий режим втрачає достовірність за рахунок наявності ГЕС, насосних споруд та млинів, забору води на зрошення й інші господарські потреби.

У зв'язку з особливостями кліматичних умов останніх десятиріч в цілому на рівнинних річках України строки проходження водопіль у різних

частинах території можуть значно коливатись від дуже ранніх до більш пізніх [36]. Тому за багаторічний період (з початку стокових спостережень на річках по 2015 р.) отримані хронологічні графіки (при трирічному згладжуванні) дат початку весняного водопілля для деяких річок басейну Дніпра, які вказують на тенденцію до зміщення цих дат до більш ранніх строків (рис. 1).

Виконаний також аналіз багаторічних змін у рядах гідрологічних спостережень періоду весняного водопілля.

Для п'яти річок, розташованих в різних частинах досліджуваної території і з найбільш тривалими гідрологічними рядами, були побудовані хронологічні графіки (при трирічному ковзному осередненні) та різниці інтегральні криві – як для шарів весняного стоку (рис. 2, 3 відповідно), так і для максимальних витрат води весняного водопілля (рис. 4, 5), виражені у відносних величинах.

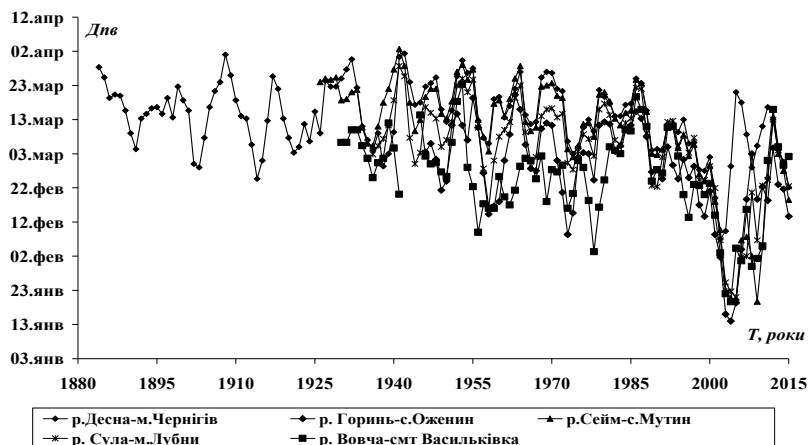


Рис. 1 – Хронологічний хід (трирічні ковзні) дат початку весняного водопілля деяких річок басейна Дніпра.

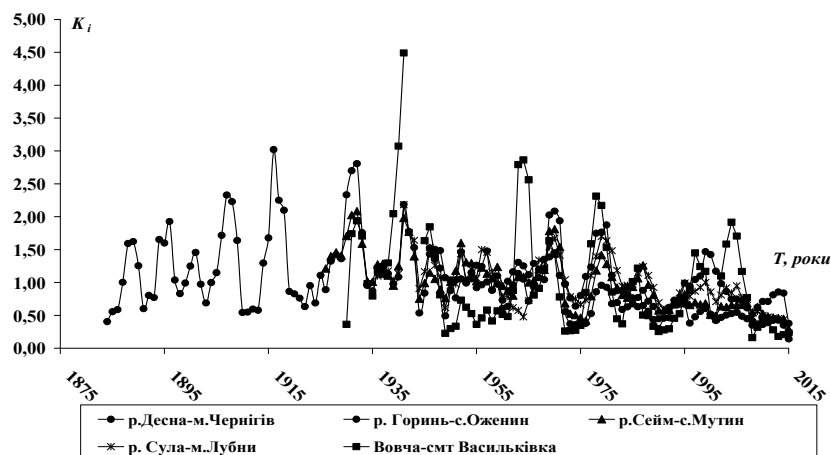


Рис. 2 – Хронологічний хід (трирічні ковзні) модульних коефіцієнтів шарів стоку весняного водопілля деяких річок басейна Дніпра

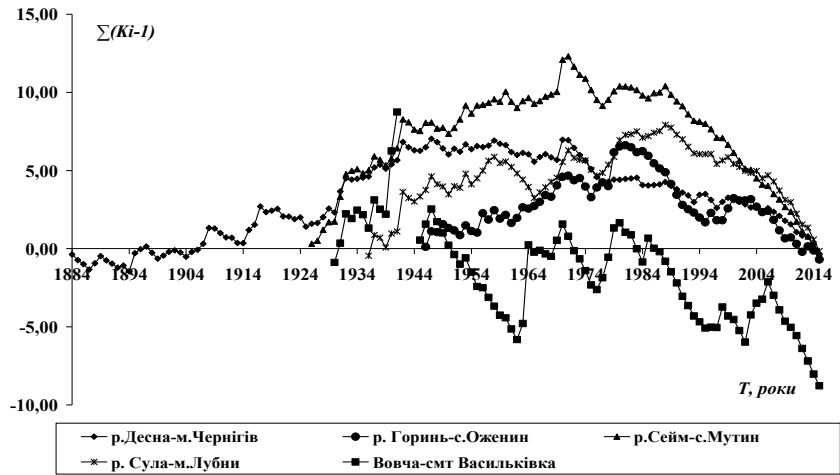


Рис. 3 – Різницеви інтегральні криві шарів стоку весняного водопілля деяких річок басейна Дніпра.

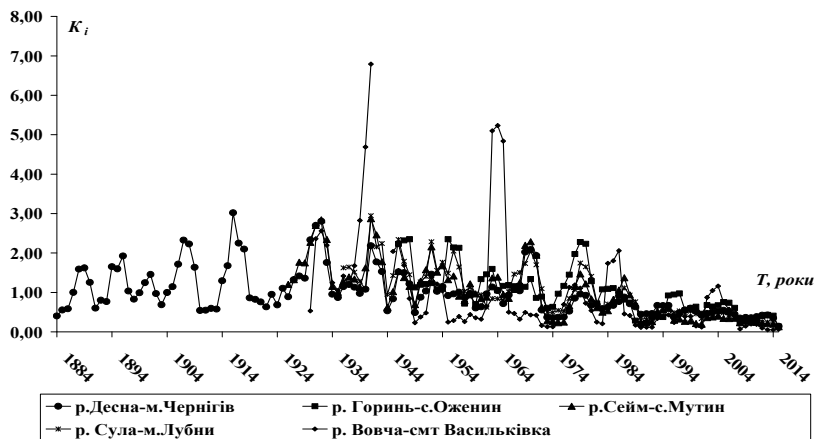


Рис. 4 – Хронологічний хід (трирічні ковзні) модульних коефіцієнтів максимальних витрат води весняного водопілля деяких річок басейна Дніпра.

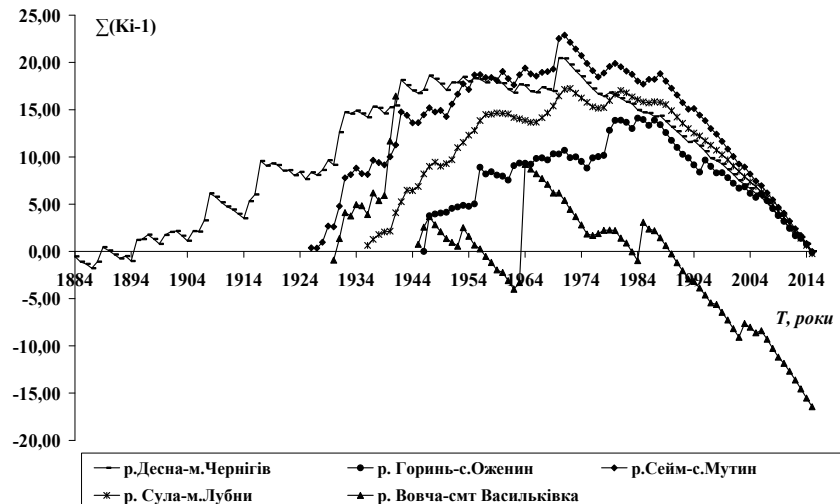


Рис. 5 – Різницеви інтегральні криві максимальних витрат води весняного водопілля деяких річок басейна Дніпра.

Графіки свідчать про наявність сталої, майже у сторічний період, тенденції до зменшення стокових характеристик весняного водопілля річок, а різниці інтегральні криві дозволяють виділити періодичну убутну складову стоку з початку вісімдесятих років минулого сторіччя.

4. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Методичною базою комплексного підходу до територіальних довгострокових прогнозів характеристик весняного водопілля (шарів стоку та максимальних витрат води) рівнинних річок є встановлення регіональних залежностей стокових величин від сумарної кількості води, що формує стік водопілля - максимальних запасів води в сніговому покриві, дощових опадів періоду танення снігу і на спаді водопільної хвилі. Враховуючи обмеженість вихідної інформації по стоку річок, особливо по невеликих водотоках, де матеріали спостережень майже завжди відсутні, прогностичні залежності будуються для обраних опорних гідрологічних водозборів, що забезпечені багаторічними сумісними рядами гідрологічних, метеорологічних та агрометеорологічних спостережень (для басейну Дніпра прийнято 50 опорних річкових водозборів в межах його суббасейнів та дані 193 метеорологічних станцій і постів).

Для подальшого географічного узагальнення кількісних параметрів прогнозує схеми регіональні залежності представлені у вигляді модульних коефіцієнтів, тобто нормовані по їх середньобаторічних величинах [17,18]

- для шарів стоку

$$\frac{Y_m}{Y_0} = f\left(\frac{S_m + X_1 + X_2}{S_0 + X_{1_0} + X_{2_0}}\right)$$

або $k_Y = f(k_X);$ (3)

- для максимальних витрат води

$$\frac{q_m}{q_0} = f\left(\frac{S_m + X_1}{S_0 + X_{1_0}}\right)$$

або $k_q = f(k_X),$ (4)

де Y_m і Y_0 – шар весняного стоку і його середньобаторічна величина, мм; q_m і q_0 – максимальний модуль весняного водопілля і його

середньобаторічна величина, $\text{м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$; S_m і S_0 – максимальний запас води в сніговому покриві і його середньобаторічна величина, мм; X_1 і X_{1_0} – опади періоду танення снігу і їх середньобаторічна величина, мм; X_2 і X_{2_0} – опади періоду спаду весняного водопілля і їх середньобаторічна величина, мм; k_Y та k_q – модульний коефіцієнт шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля; k_X – модульний коефіцієнт сумарного надходження води на водозбір у період формування загального шару стоку чи максимальної витрати води весняного водопілля.

Регіональні залежності для прогнозу шарів стоку чи максимальних витрат води весняного водопілля річок басейну Дніпра виду (3) та (4) відповідно, побудовані авторами за даними багаторічних часових спостережень для опорних водозборів річок в басейні Дніпра – в суббасейнах Прип'яті, Десни, Середнього та Нижнього Дніпра.

Враховуючи багатofакторність процесу формування максимального стоку весняного водопілля річок, який пов'язаний с процесами зимового накопичення та весняного танення снігу на водозборах, випадіння дощових опадів, формування поверхневого схилового стоку за різних умов підстильної поверхні, утворення руслового стоку річок, в основу побудови прогнозних залежностей для визначення шарів весняного стоку (3) чи максимальних витрат води (4) від цих чинників покладено типізацію водопіль за їх водністю. Ймовірне сполучення гідрометеорологічних чинників весняного водопілля у кожному році призводить до формування багато-, середньо- чи маловодних за об'ємом чи максимальною ординатою водопіль. Для виявлення угруповань використано апарат дискримінантної функції – багатовимірної статистичної моделі, яка дозволяє за комплексом гідрометеорологічних чинників (вектор-предиктором), що впливають на формування процесу, поділити вихідну вибірку на групи або класи [37]. При цьому дискримінантне рівняння є рівнянням площини, що розділяє всі випадки за умов $DF(x_1, x_2, \dots, x_m) = 0$, а вектор лінійних коефіцієнтів $A(a_0, a_1, a_2, \dots, a_m)$ повинен вибиратися так, щоб, при найкращому поділенні, два одновимірні розподіли «перекривалися» в найменшій мірі [38]. Коефіцієнт a_0 обчислюється за умови, що рівність $DF = 0$ визначає точку розділу між

двома групами подій. При цьому, якщо $DF > 0$, подія відноситься до першої групи, якщо $DF < 0$ – до другої.

Стокоформуєчими чинниками весняного водопілля в річковому басейні р. Дніпро є максимальні запаси води в сніговому покриві, рідкі опади періоду весняного водопілля, а також зволоження та глибина промерзання ґрунтів, які визначають втрати тало-дощових вод на басейнах. Враховуючи різноманітність умов формування стоку весняного водопілля в суббасейнах Дніпра – Прип'яті, Десни з Сеймом, Середнього та Нижнього Дніпра, що розташовані в різних природних умовах в роботі виконаний ретельний аналіз гідрометеорологічних чинників весняного водопілля в різних районах розглядуваної території. Такий аналіз покладено в основу складання вектор-предиктора дискримінантної функції при діагнозі весен за типом їх водності.

Для басейну Дніпра в межах всієї рівнинної території України одержані районні рівняння дискримінантних функцій DF у вигляді:

- для лівобережної частини басейну

$$DF = a_0 + a_1 k_x + a_2 k_{q_{09-01}} + a_3 k_L + a_4 \Theta_{02}; \quad (5)$$

- для правобережної частини басейну

$$DF = a_0 + a_1 k_x + a_2 k_{Q_{mn}} + a_3 k_L + a_4 \Theta_{02}. \quad (6)$$

Вектор лінійних коефіцієнтів A (a_0, a_1, a_2, a_3, a_4) дискримінантних рівнянь (5) і (6) розрізняється для різних річок території, але є сталим для суббасейнів річок басейну Дніпра з близькими умовами формування водопілля, в межах виділених під час розробки прогностичної методики однорідних природних районів і підрайонів [18].

Модульний коефіцієнт сумарного надходження води на водозбір у період формування весняного водопілля k_x включає запаси води в сніговому покриві на дати складання прогнозу (з урахуванням середньобаторічної добавки снігу до максимальних снігозапасів води $\Delta \bar{S}$) та дощові опади періоду формування весняного стоку X_1 та X_2 . Не відомі на дату випуску прогнозу добавки снігу і кількість рідких опадів приймалися як осереднені в ранжованому за багаторіччя ряді величини з урахуванням прогнозу погоди (температури повітря у лютому та березні, кількості опадів за весняні місяці).

Важливими гідрометеорологічними чинниками втрат тало-дощових вод в період форму-

вання весняного водопілля є характеристики передвесняного стану басейнів – головним чином попереднє зволоження та ступінь промерзання ґрунтів.

Індексом зволоження ґрунтів перед весняним таненням снігу в методі територіальних довгострокових прогнозів весняного стоку прийнята непряма його характеристика – середній річковий модуль стоку.

У складному у географічному і природному відношенні басейні р. Дніпро, де типові риси формування стоку весняного водопілля річок визначаються зональними особливостями геолого-геоморфологічної будови, характером рельєфу, ґрунтів, рослинності і клімату, індекс передвесняного зволоження ґрунтів прийнятий різним для лівобережної і правобережної частин басейну.

Так, для лівобережного Дніпра (суббасейн Десни, приток Сейму, Сули, Псла, Ворскли, Орелі і Самари), де стан підстильної поверхні формується протягом всього осінньо-зимового періоду, використаний середній річковий модуль стоку з вересня попереднього по січень поточного (q_{09-01} , л/с км²) років, виражений у вигляді відносної величини – модульного коефіцієнта $k_{q_{09-01}}$.

Для правобережжя Дніпра (української частини суббасейну Прип'яті, невеликих приток Уж, Тетерів, Рось, Інгулець та ін.), де часто спостерігається додаткове зволоження ґрунтів у періоди зимових відлиг, в якості індексу передвесняного стану басейнів у вектор-предиктор дискримінантної моделі введений середньомісячний річковий стік в попередній від початку водопілля місяць або ж навіть передпаводкова витрата води (Q_{nb} , м³/с), віднесені до середньобаторічного значення витрати води розрахункового місяця – у вигляді модульного коефіцієнта $k_{q_{nb}}$.

За відсутності спостережень прийняті характеристики зволоження ґрунтів (як для багаторічного періоду, так і у поточному році) визначаються за встановленими регіональними залежностями середнього модуля стоку від географічної широти геометричних центрів водозборів або їх площ.

Величини максимальних глибин промерзання ґрунтів наприкінці зими (під озимими), прийняті до вектор-предиктора дискримінантних рівнянь, осереднені по водозборах з урахуванням даних усіх пунктів спостережень, розташованих у їх межах – у вигляді їх модульних коефіцієнтів k_L .

Показником температурних умов зимово-весняного сезону в дискримінантній функції прийнята середньомісячна температура повітря у лютому, $\Theta_{02}^{\circ}\text{C}$.

Встановлення прогностичних зв'язків у вигляді відносних величин (модульних коефіцієнтів) шарів стоку k_Y виду (3) та максимальних витрат води весняного водопілля річок k_q виду (4) здійснюється в прогностичній методиці при врахуванні груп водності водопіль, що одержані за знаком дискримінантних рівнянь (більше або менше нуля) за районними рівняннями типу

$$k_Y(k_q) = b_0 + b_1 k_X + b_2 k_X^2 + b_3 k_X^3, \quad (7)$$

де b_0, b_1, b_2, b_3 – коефіцієнти при модульних коефіцієнтах сумарних запасів води на водозборі k_X , що формують весняний стік річок.

Такі залежності побудовані для опорних, забезпечених тривалими даними сумісних гідрологічних і метеорологічних спостережень річкових водозборів басейну Дніпра (в межах суббасейнів), а коефіцієнти встановлені для кривих відповідно до знаку дискримінантних рівнянь і узагальнені для річок з однотипними умовами формування водопіль, що розташовані в межах однорідних районів і підрайонів [18].

В комплексному методі територіальних довгострокових прогнозів характеристик весняного водопілля річок перехід від прогнозованих за методикою модульних коефіцієнтів до величин шарів стоку чи максимальних витрат води здійснюється відповідно за рівняннями:

$$Y_m = k_Y \cdot Y_0 \quad (8)$$

чи

$$Q_m = k_q \cdot Q_0 = k_q \cdot q_0 \cdot F, \quad (9)$$

де Y_0 або $Q_0(q_0)$ – середньобагаторічні величини шарів весняного стоку або максимальних витрат (модулів) води; F – площі річкових водозборів, км^2 .

За наявності тривалих стокових спостережень на річках визначення середньобагаторічних величин шарів стоку або максимальних витрат (модулів) води водопіль здійснюється для кожної річки за часовим рядом спостережень на ній. Для здійснення територіального прогнозу стокових величин весняного водопілля, тобто включаючи річки, не вивчені у гідрологічному відношенні, задача

визначення цих величин ускладнюється.

В роботі обґрунтований метод територіального узагальнення шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля річок для встановлення цих характеристик й для річок, по яких відсутні дані регулярних стокових спостережень. Саме в цьому полягає територіальний прогноз гідрологічних характеристик весняного водопілля в запропонованому комплексному методі.

Просторове узагальнення шарів стоку весняного водопілля в басейні р.Дніпро виконано при побудові картосхеми розподілу їх величин по території. Зазначена карто-схема побудована авторами роботи на основі існуючих регіональних залежностей середньобагаторічних величин шарів стоку від географічного положення центрів водозборів, їх залісеності і заболоченості шляхом поступового виключення впливу на стік цих чинників.

Так, встановлено, що для річок басейну Дніпра, як і інших рівнинних річок України, в цілому прослідковується направлена помірною редукція шарів стоку зі збільшенням заболоченості водозборів (f_6) і незначна тенденція до збільшення весняного стоку – при збільшенні залісеності водозборів (f_n) [18]. При цьому в [18] встановлені регіональні рівняння для визначення коефіцієнтів впливу залісеності k_n і заболоченості k_6 на середньобагаторічні величини шарів стоку Y_0 .

В основу методики визначення середньобагаторічного максимального модуля стоку весняного водопілля за відсутності спостережень на річках басейну Дніпра покладено модель типового редукційного гідрографа водопілля у вигляді рівняння [39]

$$q_0 = q'_0 \psi(t_p / T_0) \varepsilon_F \cdot r, \quad (10)$$

де q_0 – середньобагаторічний модуль максимального стоку, $\text{м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$; q'_0 – середньобагаторічний модуль максимальної витрати води схилового припливу, $\text{м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$; $\psi(t_p / T_0)$ – трансформаційна функція розпластування повенеких хвиль під впливом руслового добігання; ε_F – коефіцієнт руслозаплавного регулювання; r – коефіцієнт трансформації водопіль під впливом озер і водосховищ руслового типу.

Середньобагаторічний модуль максимальної

витрати води схилового припливу q'_0 в (10) визначається в рамках редуційних гідрографів [39,40]

$$q'_0 = 0,28 \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} Y_0, \quad (11)$$

де $(n+1)/n$ – коефіцієнт нерівномірності схилового припливу тало-дощових вод у часі, що встановлений для басейнів рівнинних річок України, і зокрема басейну р. Дніпро, на рівні 8,1 [18]; T_0 – тривалість схилового припливу тало-дощових вод, год; Y_0 – середньобагаторічний шар стоку весняного водопілля, мм.

Після виконаних розрахунків величин тривалості схилового припливу T_0 для просторового їх узагальнення досліджувався вплив на T_0 місцевих чинників – залісеності і заболоченості. Встановлено, що для річок басейну Дніпра, як і інших рівнинних річок України, в цілому прослідковується збільшення тривалості припливу тало-дощової води зі схилів при збільшенні частки лісів на водозборі та його зростання зі збільшенням заболоченості [18].

Після послідовного виключення впливу географічної складової, а потім і місцевих чинників – залісеності і заболоченості на T_0 в роботі побудовано картосхему розподілу по території величин тривалості схилового припливу на водозборах. Зняті з картосхеми величини тривалості схилового припливу коректуються регіональними коефіцієнтами впливу на T_0 залісеності k'_d і заболоченості k'_b [18].

Комплексний метод територіальних довгострокових прогнозів шарів стоку чи максимальних витрат води весняного водопілля річок дає змогу визначення не тільки кількісних характеристик стоку, а й встановлення ймовірнісних величин їх настання чи повторюваності у багаторічному періоді, що стає найбільш актуальною задачею при прогнозуванні водопіль рідкісної ймовірності перевищення та виникнення небезпеки підтоплення територій, особливо коли стокові спостереження на річках відсутні.

Здійснений статистичний аналіз часових рядів шарів стоку та максимальних витрат води водопіль (встановлення коефіцієнтів асиметрії C_s , варіації C_v , співвідношення C_s/C_v) дозволив для оцінки забезпеченостей настання прогнозних величин $P_{Y(Q)}$ прийняти криву

трипараметричного гама-розподілу С.Н.Крицького і М.Ф. Менкеля (для встановленого середнього за територією значення $C_s/C_v=2,5$) [41]. При цьому прийнятий інтервал забезпеченостей (верхня P_1 і нижня P_2 межі, %), які встановлюються за таблицями [42] у вигляді

$$P_1 < P_{Y(Q)} < P_2. \quad (12)$$

У сучасних моделях, які використовуються для прогнозу елементів водного режиму річок, зокрема територіальному методі довгострокових прогнозів шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля, дат початку водопілля та проходження його максимальних витрат (рівнів) води формою представлення прогнозів є найбільш наглядний метод – картографічне представлення прогнозних величин (у вигляді ізолій цих величин) [18]. Це відноситься й до гідрометеорологічних чинників, що формують весняне водопілля (максимальні запаси вологи в сніговому покриві, глибини промерзання ґрунтів та дати їх настання, температура повітря та ін.). Картографічна форма представлення запасів води в сніговому покриві та прогнозованих величин шарів весняного стоку передбачена й в моделі «Слой-2», автором якої є М.М.Соседко [13].

Картосхеми дозволяють одержувати прогнозні значення для будь-яких водозборів в межах розглядуваної території, включаючи річки і невеликі водотоки, по яких відсутні дані гідрологічних спостережень, і надавати завчасну оцінку можливих гідрологічних небезпек, пов'язаних з затопленням територій при проходженні високих весняних водопіль, відповідно вимог Паводкової Директиви 2007/60/ЄС [1]. При цьому корисним є представлення прогнозних стоківих характеристик на основі карто-схем в відносних величинах – модульних коефіцієнтах [18]. Крім того, прогнозні забезпеченості ($P\%$) прогнозних величин шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля у багаторічному розрізі також представляються у картографічному вигляді, що дає змогу їх визначення для будь-якого водозбору території незалежно від стану гідрологічної вивченості річок і оцінки ймовірності, у тому числі й рідкісної, повторюваності гідрологічного явища за період, згідно вимог ВПД 2007/06/ЄС.

5. ОПИС І АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

Оцінка ефективності методики територіальних довгострокових прогнозів шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля, яка запропонована в роботі, була здійснена за перевірними прогнозами 50 опорних річкових постів басейну Дніпра (в межах його суббасейнів). В цілому запропоновану методику територіальних довгострокових прогнозів весняного водопілля для басейнів Дніпра, враховуючи отримані критерії її точності (відсоток справдженості перевірних прогнозів за методикою сягає 89-96) і згідно положенням [43,44] можна вжити ефективною і рекомендувати для випуску щорічних довгострокових прогнозів характеристик весняного водопілля на річках в оперативних гідрометеорологічних центрах України.

В умовах багаторічних виражених тенденцій до зменшення шарів стоку (рис. 3) та максимальних витрат води (рис. 5) у період весняного водопілля в басейні р. Дніпро [17-19, 35], спостерігається і зменшення середньо-багаторічних значень цих величин, які є базовими в методиці територіальних довгострокових прогнозів максимального весняного стоку. Тому пропонується здійснювати уточнення цих характеристик шляхом, наприклад, введення до Y_0 і Q_0 (q_0) відповідних поправочних коефіцієнтів у вигляді співвідношень середньо-багаторічних величин стоку за різні періоди (наприклад, станом на 2000 і 2010 роки). Такі коефіцієнти узагальнені в межах рівнинної території України, включаючи басейн р. Дніпро, в залежності від географічної широти центрів водозборів річок (φ в частках $^\circ$) у вигляді регіональних рівнянь:

- для шарів весняного стоку (при $r = 0,27$)

$$K_{Y_{2010}} = 0,91 - 0,01(\varphi^\circ - 50); \quad (13)$$

- для максимальних витрат води водопілля (при $r = 0,23$)

$$K_{Q_{2010}} = 0,86 - 0,08(\varphi^\circ - 50). \quad (14)$$

В такому разі одержання спрогнозованих за методикою територіальних довгострокових прогнозів величин шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля в басейні р. Дніпро здійснюється відповідно (8) і (9) у вигляді:

- при прогнозі шарів весняного стоку

$$Y'_m = k_Y \cdot Y_0 \cdot K_{Y_{2010}}; \quad (15)$$

- при прогнозі максимальних витрат води весняного водопілля

$$Q'_m = k_q \cdot q_0 \cdot K_{Q_{2010}} \cdot F. \quad (16)$$

Результати прогнозування шарів стоку весняного водопілля річок басейну Дніпра за (15) (за період 2001-2010 рр.) показали, що тіснота зв'язків спостережених і спрогнозованих величин шарів стоку $Y_m = f(Y'_m)$ оцінюється коефіцієнтами кореляції на рівні 0,59-0,63 на різні дати складання прогнозів. Забезпеченість $P\%$ допустимої похибки ($\delta_{\text{дон}}$, мм) складених прогнозів (за відношенням $\delta/\delta_{\text{дон}}$, де δ – абсолютна похибка прогнозів шарів стоку, мм) змінюється в межах 68-86%.

Аналогічно були виконані перевірені прогнози максимальних витрат води весняного водопілля у басейні Дніпра з урахуванням коефіцієнту $K_{Q_{2010}}$ за (16), які показали задовільні результати збіжності спостережених і спрогнозованих величин максимальних витрат води водопілля.

Завчасність довгострокових прогнозів шарів весняного стоку та максимальних витрат води обумовлена у кожному році швидкістю розвитку весняних процесів, тривалістю весняного водопілля річок, різних за географічним положенням і розмірами водозборів.

Так, при даті випуску основного прогнозу 20 лютого (встановленої Українським гідрометцентром ДСНС України) завчасність прогнозів шарів стоку змінюється від 75-90 діб на північному сході басейну (річки суббасейну Десни) до 50-65 діб – на півдні території (річки суббасейну Нижнього Дніпра), а максимальних витрат води – дещо нижча і в середньому становить 30-40 діб.

Практична реалізація методу територіальних довгострокових прогнозів гідрологічних характеристик весняного водопілля річок басейну Дніпра здійснена на прикладі аналізу умов формування та довгострокового прогнозування шарів стоку та максимальних витрат води водопілля 2017-2018 року за даними УкрГМЦ ДСНС України (<http://meteo.gov.ua>). При цьому гідрометеорологічна ситуація за осінньо-зимовий та весняний періоди у басейнах річок Дніпра характеризувалася наступним чином.

Перша половина зими 2017 р. була аномально-теплою. Середня за грудень температура повітря була позитивною (1-3 $^\circ\text{C}$ тепла) і на 3-7 $^\circ\text{C}$ вищою за норму. 17-23 грудня спостерігалася короткочасне похолодання до 2-6 $^\circ\text{C}$ морозу, встановився невисокий сніговий покрив (переважно до 20 см), який, внаслідок наступного

потепління, швидко розтанув.

Стійкий перехід температури повітря через 0°C в сторону від'ємних значень відбувся 8 січня (на 1,5 місяця пізніше середніх строків) одночасно по усій території басейну, а в середині другої декади встановився стійкий сніговий покрив. Зимовий режим погоди перервався 28 січня – 4 лютого короткою інтенсивною відлигою (температура повітря підвищувалася до $2-8^{\circ}\text{C}$, на півдні території – до 10°C тепла).

Кількість опадів за вересень-грудень перевищувала середні показники: в північній і західній частинах басейну – на 60-90 %, в східній частині – на 15-50 %. На крайньому півдні території кількість опадів була нижчою за норму. Такі опади і танення снігового покриву у грудні обумовили загальне підвищення водності більшості річок в осінньо-зимовий період. Водність річок басейну Десни (за виключенням Сейму), більшої частини басейну Прип'яті і правобережних приток Середнього Дніпра перевищувала норму на 10-100 %. На лівих притоках Середнього Дніпра і р. Сейм витрати води були нижчими за норму на 10-35 %, а на річках півдня території – на 40 % -70 %.

Підстильна поверхня впродовж зими характеризувалася достатнім зволоженням метрового шару ґрунту (близько та більше за норму) та неглибоким його промерзанням – від 14 см до 46 см. В басейнах Прип'яті і правих приток Середнього Дніпра промерзання ґрунту на кінець лютого складало 28 % – 86 % від середніх багаторічних значень, в басейнах лівих приток Середнього Дніпра і Сейму – від 44 % до 57 %, а в басейнах Десни і Нижнього Дніпра промерзання ґрунту становило 27 % – 53 % від норми.

На кінець лютого в басейні Дніпра утримувався зимовий режим погоди, продовжувалося інтенсивне накопичення запасів води в сніговому покриві і на більшій частині території 5 березня спостерігалися найбільші з початку зими значення снігозапасів. За даними снігозйомок в середньому по водозбору Дніпра висота снігового покриву змінювалася від 10 до 50 см. Запаси води у ньому зменшувалися у напрямку з північного сходу на південь і південний захід. Найбільша величина снігозапасів спостерігалася в басейнах річок суббасейну Десни і лівобережної частини суббасейну Середнього Дніпра (рр. Сула, Псел, Ворскла). Тут середні запаси по басейнах становили 70 мм – 120 мм, що на 20 % – 65 % вище норми максимальних за зиму снігозапасів, а в басейні р. Псел перевищення складало від 50 % до 89 %. Середні значення снігозапасів в басейнах річок суббасейну Прип'яті й

правобережної частини Середнього Дніпра (рр. Уж, Тетерів, Ірпінь, Рось) на 5 березня змінювались від 46 до 70 мм, що є біля норми або на 5 % -20 % вище норми, і лише на північному заході суббасейна Прип'яті величини снігозапасів (17 мм - 36 мм) складали 55-80 % від норми. В суббасейні Нижнього Дніпра запаси води в сніговому покриві (2 мм-48 мм) були також нижче норми (на 10 % - 90 %), за виключенням басейну р. Базавлук, де їх величина на 79 % перевищувала норму максимальних снігозапасів.

Зміна гідрометеорологічних умов протягом березня місяця призвела до додаткового снігонакопичення майже на всій території басейну Дніпра (з формуванням максимальних снігозапасів 20-25 березня) за винятком північно-західних і південно-західних областей (в межах суббасейна Прип'яті та правих приток Середнього і Нижнього Дніпра), де річний максимум снігозапасів не був перевищений.

Враховуючи наявні гідрометеорологічні умови поточного року, складання прогнозу здійснювалося в дату 5 березня (коли на річках зберігався режим стійкої підвищеної зимової межени з незначними добовими коливаннями рівнів води і на водних об'єктах відмічався льодостав, льодостав з ополонками) за умови подальшого випадіння опадів у вигляді снігу чи дощу на рівні та вищих за норму. По запропонованій методиці довгострокових прогнозів характеристик весняного водопілля для річок басейну Дніпра були складені довгострокові прогнози шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля 2017-2018 р. по даних 50 опорних створів річок басейну. Прогнозні величини шарів стоку весняного водопілля представлені у вигляді картосхеми розподілу по території очікуваних модульних коефіцієнтів k_{γ} , що відносяться до геометричних центрів водозборів (рис. 6) та їх забезпеченостей у багаторічному розрізі $P\%$ (рис. 7). Аналіз картосхем розподілу модульних коефіцієнтів шарів стоку весняного водопілля річок та ймовірності їх настання у багаторічному періоді показує значну нерівномірність їх розподілу по території, враховуючи різноманітність фізико-географічних умов формування стоку в басейні р. Дніпро.

Прогнозні значення шарів весняного стоку і їх забезпеченості змінюються в широкому діапазоні. Так, в суббасейні Прип'яті модульні коефіцієнти k_{γ} становлять від 0,50 – на півдні суббасейну до 1,50 – на півночі при їх повторю-

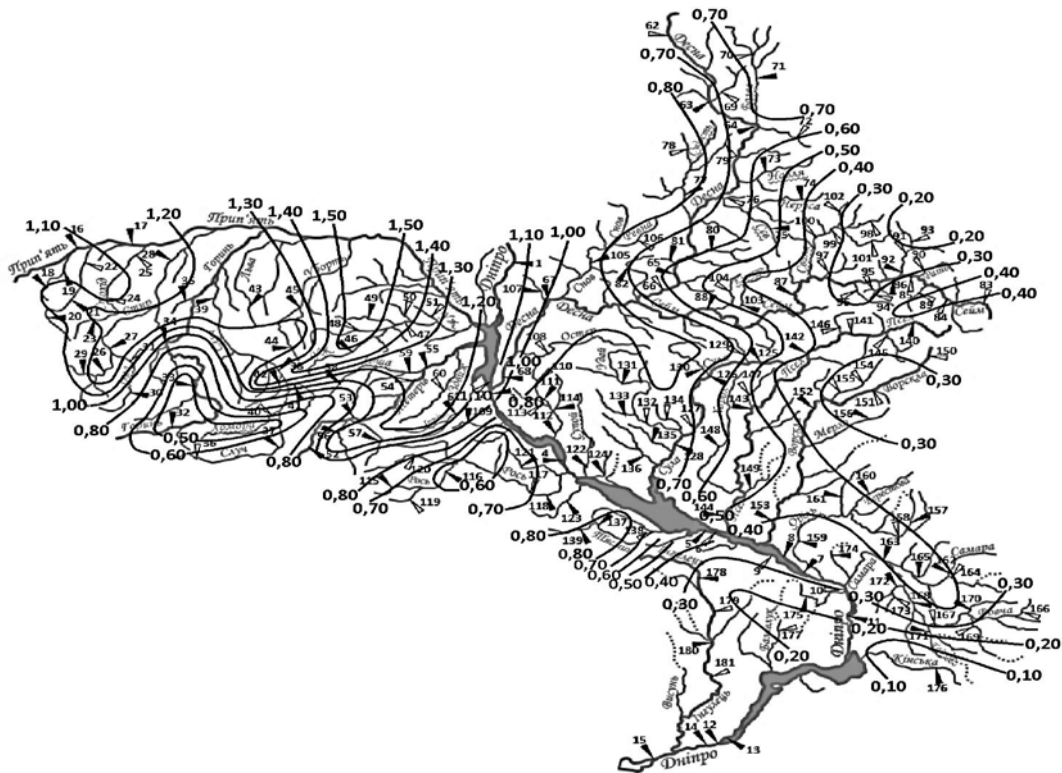


Рис. 6 – Розподіл прогностичних величин модульних коефіцієнтів шарів стоку (k_{γ}) весняного водопілля 2017-2018 року в басейні Дніпра.

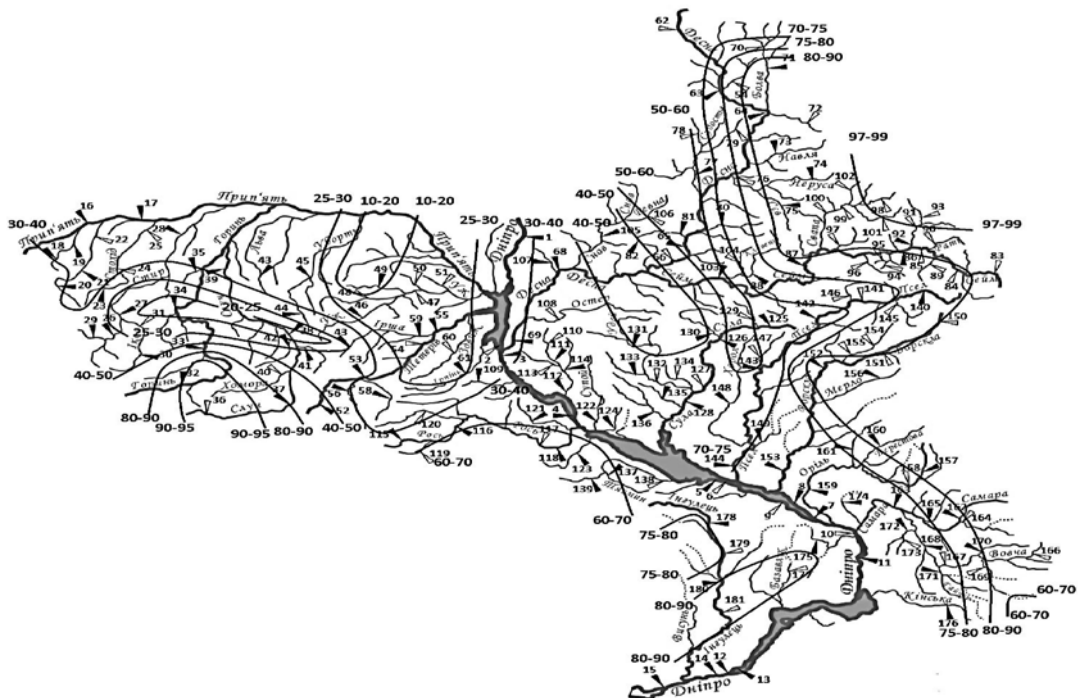


Рис. 7 – Розподіл забезпеченостей прогностичних величин шарів стоку весняного водопілля 2017-2018 року (P_{γ} %) в басейні Дніпра.

ваності у багаторічному розрізі від $P_{\gamma} = 90-95\%$ до $10-20\%$, відповідно. На річках суббасейнів Десни і Середнього Дніпра значення модульних коефіцієнтів k_{γ} в основному складають

$0,40-1,20$ (P_{γ} - від $75-80\%$ до $25-30\%$), зменшуючись із заходу на схід території, де вони становлять $0,20-0,40$ (при забезпеченості від $97-99\%$ до $80-90\%$). Найменші значення величин

k_{γ} прогноуються в суббасейні Нижнього Дніпра: 0,10–0,40 з ймовірністю їх настання у багаторічному періоді від 89-90 % до 60-70 %. Таким чином, на більшій частині розглядуваної території прогноуються водопілля нижче і біля норми. Найбільші значення модульних коефіцієнтів шарів стоку (1,30–1,50) очікуються в басейнах річок Случ і Уж, а найменші (0,10–0,40) – в суббасейні Нижнього Дніпра.

Аналогічні прогностичні картосхеми та просторовий аналіз формування стоку був здійснений й для максимальних витрат води поточного року. Прогнозування максимальних рівнів води відбувалося за кривими витрат води для окремих гідрологічних постів.

В роботі здійснено оцінку довгострокових прогнозів стокових величин весняного водопілля 2017-2018 р. для 30 гідрологічних постів за критерієм оцінки гідрологічних прогнозів – абсолютної похибки прогнозів δ і її відносної величини $\delta/\delta_{\text{дон}}$ (де $\delta_{\text{дон}}$ - допустима похибка прогнозів) [43,44]. З числа складених прогнозів, що є справджуваними (за умови, що $\delta \leq \delta_{\text{дон}}$) для шарів стоку весняного водопілля 2017-2018 рр. критерій $\delta/\delta_{\text{дон}}$ змінюється в межах 0,03-1,0 (при забезпеченості допустимої похибки прогнозів 80%), а для максимальних витрат води – від 0,03 до 0,77 (при забезпеченості 68%). При цьому більші похибки одержані при прогнозуванні максимальних витрат води. Так, на річках суббасейну Десни прогнозні максимуми були нижчі за спостережені, які сформувалися від максимальних снігозапасів, що накопичилися аж 20-25 березня. На річках суббасейну Прип'яті і правих приток Середнього Дніпра навпаки – спрогнозовані максимальні витрати води були вищі за спостережені, у зв'язку з тим, що водопілля формувалося декількома хвилями, що призвело до зниження максимальних витрат води весняного водопілля 2017-2018 р. В цілому якість складених прогнозів, враховуючи вимоги керівних документів [43,44], можна вважати задовільною. Завчасність прогнозів становить в середньому 68 діб (для шарів стоку) та 32 доби (для максимальних витрат води).

6. ВИСНОВКИ

В роботі запропонований комплексний прогностичний метод для просторової завчасної оцінки характеристик весняного водопілля в басейні р. Дніпро. Особливістю комплексного прогностичного методу є можливість складання

прогнозів характеристик весняного стоку для будь-яких річок території не тільки з наявністю часових рядів стокових спостережень, а й тих, що взагалі не мають даних гідрологічних вимірів.

В комплексному методі територіальних довгострокових прогнозів характеристик весняного водопілля річок виконано типізацію водопіль за їх водністю при використанні апарату дискримінантної функції, що враховує ймовірне сполучення гідрометеорологічних чинників весняного водопілля у кожному році. В процесі ретельного дослідження умов формування весняного водопілля в басейні р. Дніпро (в межах України) до складу вектор-предиктора дискримінантної функції включені такі його чинники, як сумарні запаси вологи на водозборі, що беруть участь у формуванні весняного водопілля – максимальні перед весною снігозапаси та дощові опади періоду танення снігу та спаду водопілля, індекс зволоження ґрунтів і максимальна глибина їх промерзання, виражені в модульних коефіцієнтах, а також температура повітря зимово-весняного сезону (зокрема, лютого та березня). Коефіцієнти дискримінантних рівнянь узагальнюються для річок з близькими умовами формування водопіль в межах виділених під час розробки прогностичної методики однорідних районів на території басейну Дніпра (в межах його суббасейнів). Кількісні величини прогнозних характеристик встановлюються за районними залежностями, при обґрунтуванні методик визначення середньобагаторічних величин шарів стоку та максимальних витрат води для не вивчених у гідрологічному відношенні річок і з урахуванням існуючих часових тенденцій до змін водного режиму весняного водопілля річок басейну Дніпра. На основі статистичної обробки часових стокових рядів спостережень обґрунтовано використання кривої трипараметричного гамма-розподілу С.Н.Крицького і М.Ф.Менкеля (для встановленого середнього за територією значення $C_s/C_v = 2,5$) при визначенні прогнозуваної забезпеченості повторюваності водності весняних водопіль у багаторічному розрізі.

Обґрунтовані в комплексному методі територіальних довгострокових прогнозів стокових характеристик весняного водопілля річок прогностичні картосхеми дають можливість одночасно характеризувати розміри водопіль великої території басейну Дніпра, і, що особливо важливо для невивчених річок, визначати частоту повторюваності очікуваних шарів весняного стоку та максимальних витрат води у багаторі-

чному періоді. У той же час, по картосхемах очікуваних величин можна здійснювати прогноз характеристик стоку водопілля та ймовірність його виникнення у часовому періоді у будь-якому пункті розглядуваної території, включаючи й річки, де не здійснюються регулярні спостереження за річковим стоком.

Оцінка ефективності методики територіальних довгострокових прогнозів шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля здійснена за гідрометеорологічними даними 50 опорних постів в межах суббасейнів річок басейну Дніпра. В цілому, враховуючи отримані критерії точності, методику можна вжити ефективною і рекомендувати для випуску щорічних довгострокових прогнозів характеристик весняного водопілля річок в оперативних підрозділах, що здійснюють прогностичне гідрологічне обслуговування споживачів.

На прикладі весняного водопілля 2017-2018 р. показана можливість прогностичної оцінки характеристик гідрологічного режиму річок басейну Дніпра, що дозволяє визначати зони підвищеного стоку річок весняного періоду і підвищеної загрози можливих затоплень прилеглих територій, особливо при проходженні водопіль рідкісної ймовірності перевищення.

Оцінка якості довгострокових прогнозів стоків величин весняного водопілля 2017-2018 рр., виконана для 30 гідрологічних постів басейну Дніпра (за критерієм оцінки $\delta / \delta_{дон}$) показала задовільні результати, при забезпеченості допустимої похибки перевірних прогнозів шарів стоку 80% і їх середній завчасності 68 діб та забезпеченості 68% і завчасності 32 доби – для максимальних витрат води.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Директива 2007/60/ЕС Европейского Парламента и Совета от 23 октября 2007 г. по оценке и управлению рисками наводнений (Директива по наводнениям). URL: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32007L0060> (дата звернення 15.02.2018)
2. Комаров В. Д. Весенний сток равнинных рек Европейской части СССР, условия его формирования и методы прогнозов. Москва: Гидрометеиздат, 1959. 295 с.
3. Паршин В. Н., Салов М. С. Весенний сток в бассейне р. Дона и его предвычисление. Ленинград: Гидрометеиздат, 1955. 102 с.
4. Харченко С. И. Формирование весенних половодий в условиях степей Нижнего Дона. Труды ГГИ. 1959. Вып. 71. С. 5-35.
5. Попов Е. Г. Вопросы теории и практики прогнозов речного стока. Ленинград: Гидрометеиздат, 1963. 395 с.
6. Романенко В. А. Расчет и прогноз объема весеннего половодья малых рек Украины по территориально

общим зависимостям. Труды УкрНИГМИ. 1963. Вып. 39. С. 14-29.

7. Салазанов В. В. Весенний сток рек бассейна Верхнего Днепра. Ленинград: Гидрометеиздат, 1964. 141 с.
8. Змиева Е. С. Предвычисление весеннего притока воды в Куйбышевское водохранилище на основе территориальных прогнозов стока. Труды Гидрометцентра СССР. 1977. Вып. 186. С. 15-40.
9. Субботин А. И. Структура половодья и территориальные прогнозы весеннего стока рек в Нечерноземной зоне Европейской территории СССР. Ленинград: Гидрометеиздат, 1978. 97 с.
10. Змиева Е. С., Климова В. В. Долгосрочный прогноз максимального весеннего стока. Труды Гидрометцентра СССР. 1983. Вып. 265. С. 3-16.
11. Змиева Е. С. Весенний сток и метод его прогноза в бассейне Горьковского водохранилища. Труды Гидрометцентра СССР. 1980. Вып. 223. С. 18-43.
12. Руководство по гидрологическим прогнозам. Вып. 1: Долгосрочные прогнозы элементов водного режима рек и водохранилищ. Ленинград: Гидрометеиздат, 1989. 358 с.
13. Кочелаба Е. И., Окорский В. П., Соседко М. Н. Математическое моделирование процессов формирования половодного стока на территории Полесья с учетом оттепельных явлений. Труды УкрНИГМИ. 1990. Вып. 235. С. 3-18.
14. Кочелаба С. И., Окорский В. П., Соседко М. Н. Оценка динамики промерзания и оттаивания почвы в полесских районах по метеорологическим данным. Труды УкрНИГМИ. 1990. Вып. 235. С. 18-26.
15. Рубцов И. Г. Условия формирования и метод расчета стока половодья в открытом бассейне. Труды УкрНИГМИ. 1970. Вып. 88. С. 25-41.
16. Рубцов И. Г. Особенности формирования, расчеты и прогнозы объема половодья притоков Среднего Днепра. Труды УкрНИГМИ. 1969. Вып. 97. С. 38-54.
17. Гопченко С. Д., Овчарук В. А., Шакирзанова Ж. Р. Розрахунки та довгострокові прогнози характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Прип'ять: монографія. Одеса: Екологія, 2011. 336 с.
18. Шакирзанова Ж. Р. Довгострокове прогнозування характеристик максимального стоку весняного водопілля рівнинних річок та естуаріїв території України. Одеса: ФОП Бондаренко М.О., 2015. 252 с.
19. Шакирзанова Ж. Р. Визначення основних факторів весняного водопілля в басейнах лівобережжя Дніпра при довгострокових прогнозах його характеристик. Український гідрометеорологічний журнал. 2013. №13. С. 99-109.
20. Шакирзанова Ж. Р., Казакова (Докус) А. О. Територіальне довгострокове прогнозування характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Південний Буг. Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія. 2015. Т. 3(38). С. 25-33.
21. Shakirzanova, Zh., Kazakova, (Dokus) A., Volkov, A. (2017). Territorial long-term forecasting of spring flood characteristics in the modern climatic condition utilizing geographical informational systems. *International Journal of Research In Earth & Environmental Sciences*, April, 7(1), 13-16. URL: <http://www.ijsk.org/ijrees.html>
22. Гопченко С. Д., Шакирзанова Ж. Р., Андреевська Г. М. Комп'ютерні засоби просторового узагальнення очікуваних характеристик максимального стоку весняного водопілля рівнинних річок (на прикладі басейну Десни). *Метеорологія, кліматологія та гідрологія*. 2005. Вып. 49. С. 406-413.
23. Шакирзанова Ж. Р., Андреевська Г. М., Бойко В. М. Довгострокове прогнозування максимальних витрат води весняних водопіль річок лівобережжя Дніпра (з використанням програмного комплексу). *Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту*. 2012. Вып. 263. С. 89-95.
24. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 6: Украина и

Молдавия. Вып. 2. Среднее и Нижнее Поднепровье / под ред. М.С.Каганера. Ленинград : Гидрометеиздат, 1971. 656 с.

25. Географічна енциклопедія України : у 3 т. / за ред. О.М. Маринича. Київ : «Українська Радянська енциклопедія» ім. М.П. Бажана, 1989. Т. 1: А – Ж. 416 с.
26. Методики гідрографічного та водогосподарського районування території України відповідно до вимог Водної Рамкової Директиви Європейського Союзу / В.В.Гребінь, В.Б.Мокін, В.А.Шашук та ін. Київ : Інтерпрес ЛТД, 2013. 55 с.
27. Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЄС. Основні терміни та їх визначення. Київ, 2006. 240 с.
28. Наказ від 03.03.2017 №103 «Про затвердження меж районів річкових басейнів, суббасейнів та водогосподарських ділянок» / Міністерство екології та природних ресурсів України. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0421-17> (дата звернення 12.04.2018)
29. Швєбс Г.І., Ігошин М.І. Каталог річок і водойм України : навчально-довідковий посібник. Одеса : Астропринт, 2003. 392 с.
30. Клімат: Україна. URL: <https://ru.climate-data.org/country/231/> (дата звернення 20.03.2018)
31. Клімат України / за ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. Київ : Видавництво Раєвського, 2003. 343 с.
32. Агрокліматичний довідник по території України / за ред. Т. І. Адаменко, М. І. Кульбіді, А. Л. Прокопенка. Кам'янець-Подільський : ПП Галагодза Р.С., 2011. 108 с.
33. Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України : монографія / Степаненко С.М., Польовий А.М., Школьнік Є.П. та ін. ; за ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. Одеса : Екологія, 2011. 696 с.
34. Степаненко С. М. Динаміка та моделювання клімату : підручник для студентів вищих навчальних закладів. Одеса : Екологія. 2013. 204 с.
35. Гребінь В. В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз) : монографія. Київ : Ніка-Центр, 2010. 316 с.
36. Шакирзанова Ж. Р. Аналіз та просторове узагальнення строків проходження весняних водопіль на рівнинних річках України. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2008. Вип. 6. С 157-164.
37. Пановский Г. А., Брайер Г. В. Статистические методы в метеорологии. Ленинград : Гидрометеиздат, 1967. 242 с.
38. Лобода Н. С. Методи статистичного аналізу у гідрологічних розрахунках і прогнозах : навч. посіб. Одеса : Екологія, 2010. 184 с.
39. Гопченко Е. Д., Овчарук В. А. Формирование максимального стока весеннего половодья в условиях юга Украины : монография. Одесса : ТЭС, 2002. 110 с.
40. Гопченко Е. Д., Романчук М. Е. Нормирование характеристик максимального стока весеннего половодья на реках Причерноморской низменности. Київ : КНТ, 2005. 148 с.
41. Гопченко Е. Д., Лобода Н. С., Овчарук В. А. Гідрологічні розрахунки : підручник. Одеса : ТЕС, 2014. 484 с.
42. Пособие по определению расчётных гидрологических характеристик. Ленинград : Гидрометеиздат, 1984. 450 с.
43. КД 52.5.3.02-12. Настанова з оперативної гідрології. Прогнози режиму вод суші. Гідрологічне забезпечення і обслуговування. Керівний документ / Український гідрометеорологічний центр. Київ, 2012. 120 с.
44. КД 74.90.14-02572508-002:2015. Оцінка якості методики та точності (справджуваності) прогнозів режиму поверхневих вод суші. Керівний документ / Український гідрометеорологічний центр. Київ, 2015. 70 с.

REFERENCES

1. *Direktiva 2007/60/EC Evropeyskogo Parlamenta i Soveta ot 23 oktyabrya 2007 g. po otsenke i upravleniyu riskami navodneniy (Direktiva po navodneniyam)* [Directive 2007/60 / EU of the European Parliament and Council from 23 October 2007 on flood risk assessment and management (Flood Directive)]. Available at: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32007L0060> (Accessed: 15.02.2018) (In Russ.)
2. Komarov, V.D. (1959). *Vesenniy stok ravninnykh rek Evropeyskoy chasti SSSR, usloviya ego formirovaniya i metody prognozov* [Spring runoff of lowland rivers of the European part of the USSR, the conditions of its formation and methods of forecasting]. Moscow : Gidrometeoizdat. (In Russ.)
3. Parshin, V.N., Salov, M.S. (1955). *Vesenniy stok v bassejne r. Dona i ego predvychnislenie* [Spring runoff in the basin of river Don and its prediction]. Leningrad : Gidrometeoizdat. (In Russ.)
4. Kharchenko, S.I. (1959). *Formirovanie vesennikh polovodiy v usloviyakh stepey Nizhnego Dona* [Formation of spring floods in the conditions of the Lower Don steppes]. *Trudy GGI [Proceedings of State Hydrology Institute]*, 71, 5-35. (In Russ.)
5. Popov, E.G. (1963). *Voprosy teorii i praktiki prognozov rechnogo stoka* [Questions of theory and practice of river runoff forecasts]. Leningrad : Gidrometeoizdat. (In Russ.)
6. Romanenko, V.A. (1963). *Raschet i prognoz ob'yoma vesennego polovod'ya malykh rek Ukrainy po territorial'no obshchim zavisimostyam* [Calculation and forecast of the volume of spring flood of small rivers of Ukraine by territorially general dependencies]. *Trudy UkrNIGMI [Proceedings of the Ukrainian Scientific Research Hydrometeorological Institute]*, 39, 14-29. (In Russ.)
7. Salazanov, V.V. (1964). *Vesenniy stok rek bassejna Verkhnego Dnepra* [Spring runoff of the Upper Dnieper basin rivers]. Leningrad : Gidrometeoizdat. (In Russ.)
8. Zmieva, E.S. (1977). *Predvychnislenie vesennego pritoka vody v Kuybyshevskoe vodokhranilishche na osnove territorial'nykh prognozov stoka* [Precomputation of spring water inflow in the Kuibyshev reservoir based on territorial forecasts of runoff]. *Trudy Gidromettsentra SSSR [Proceedings of the USSR Hydrometeorological Center]*, 186, 15-40. (In Russ.)
9. Subbotin, A.I. (1978). *Struktura polovod'ya i territorial'nye prognozy vesennego stoka rek v Nechernozemnoy zone Evropeyskoy territorii SSSR* [Flood structure and territorial forecasts of spring runoff of rivers in the Nonchernozem zone of the European territory of the USSR]. Leningrad : Gidrometeoizdat. (In Russ.)
10. Zmieva, E.S., Klimova, V.V. (1983). *Dolgosrochnny prognoz maksimal'nogo vesennego stoka* [Long-term forecast of maximum spring runoff]. *Trudy Gidrometcentra SSSR [Proceedings of the USSR Hydrometeorological Center]*, 265, 3-16. (In Russ.)
11. Zmieva, E.S. (1980). *Vesenniy stok i metod ego prognoza v bassejne Gor'kovskogo vodokhranilishcha* [Spring runoff and the method of its forecast in the Gorky reservoir basin]. *Trudy Gidrometcentra SSSR [Proceedings of the USSR Hydrometeorological Center]*, 223, 18-43. (In Russ.)
12. *Rukovodstvo po gidrologicheskim prognozam. [Guidance on Hydrological forecasts]. Issue 1: Dolgosrochnnye prognozy elementov vodnogo rezhima rek i vodokhranilishch [Long-term forecasts of water regime elements of rivers and reservoirs].* (1989). Leningrad : Gidrometeoizdat. (In Russ.)
13. Kochelaba, E.I., Okorskiy, V.P., Sosedko, M.N. (1990). *Matematicheskoe modelirovanie protsessov formirovaniya polovodnogo stoka na territorii Poles'ya s uchetom otpepel'nykh yavleniy* [Mathematical modeling of the formation processes of flood runoff in the territory of Polesie with allowance for thawing phenomena]. *Trudy*

- UkrNIGMI [Proceedings of the Ukrainian Scientific Research Hydrometeorological Institute]*, 235, 3-18. (In Russ.)
14. Kochelaba, E.I., Okorskiy, V.P., Sosedko, M.N. (1990). Otsenka dinamiki promerzaniya i ottaivaniya pochvy v poleskikh rayonakh po meteorologicheskim dannym [Assessment of the dynamics of freezing and thawing of the soil in the Polesie regions using meteorological data]. *Trudy UkrNIGMI [Proceedings of the Ukrainian Scientific Research Hydrometeorological Institute]*, 235, 18-26. (In Russ.)
 15. Rubtsov, I.G. (1970). Usloviya formirovaniya i metod rascheta stoka polovod'ya v otkrytom bassejne [Formation conditions and the method of calculating flood runoff in the open basin]. *Trudy UkrNIGMI. [Proceedings of the Ukrainian Scientific Research Hydrometeorological Institute]*, 88, 25-41. (In Russ.)
 16. Rubtsov, I.G. (1969). Osobennosti formirovaniya, raschety i prognozy ob"ema polovod'ya pritokov Srednego Dnepra [Features of the formation, calculations and forecasts of the volume of floods the Middle Dnieper tributaries]. *Trudy UkrNIGMI [Proceedings of the Ukrainian Scientific Research Hydrometeorological Institute]*, 97, 38-54. (In Russ.)
 17. Gopchenko, Ye.D., Ovcharuk, V.A., Shakirzanova, Zh.R. (2011). *Rozrakhunki ta dovhostrokovi prohnozy kharakterystyk maksimalnogo stoku vesnianoho vodopillia v baseini r. Prypiat* [Calculations and long-term forecasts of characteristics maximum runoff of spring flood in the Pripjat river basin]. Odesa : Ekolohiia. (In Ukr.)
 18. Shakirzanova, Zh.R. (2015). *Dovhostrokove prohnozuvannya kharakterystyk maksimalnogo stoku vesnianoho vodopillia rivnynykh richok ta estuariiv terytorii Ukrainy* [Long-term forecasting of characteristics maximum runoff of spring flood lowland rivers and estuaries in Ukraine]. Odesa : FOP Bondarenko M.O. (In Ukr.)
 19. Shakirzanova, Zh.R. (2013). Vyznachennia osnovnykh faktoriv vesnianoho vodopillia v baseinakh livoberezhzhia Dnipra pry dovhostrokovykh prohnozakh yoho kharakterystyk [Determination of the main spring flood factors in the basins of the left bank Dnieper river at the long-term forecasts of its characteristics]. *Ukrains'kij gidrometeorologichnij zhurnal* [Ukrainian hydrometeorological journal], 13, 99-109. (In Ukr.)
 20. Shakirzanova, Zh.R., Kazakova (Dokus), A.O. (2015). Terytorialne dovhostrokove prohnozuvannya kharakterystyk maksimalnogo stoku vesnianoho vodopillia v baseini r. Pivdennyi Buh [Territorial long-term forecasting of characteristics the maximum runoff spring flood in the basin of the Southern Bug River]. *Hidrolohiia, hidrohimiia, hidroekolohiia [Hydrology, hydrochemistry, hydroecology]*, 3(38), 25-33. (In Ukr.)
 21. Shakirzanova, Zh., Kazakova, (Dokus) A., Volkov, A. (2017). Territorial long-term forecasting of spring flood characteristics in the modern climatic condition utilizing geographical informational systems. *International Journal of Research In Earth & Environmental Sciences*, April, 7(1), 13-16. Available at: <http://www.ijsk.org/ijrees.html>
 22. Gopchenko, Ye.D., Andreievska, G.M., Shakirzanova, Zh.R., Andreievska, G.M. (2005). Kompiuterni zasoby prostorovoho uzahalnennia ochikuvanykh kharakterystyk maksimalnogo stoku vesnianoho vodopillia rivnynykh richok (na prykladi basynu Desny) [Computer means of spatial generalization of the expected maximum runoff characteristics of spring flood of plain rivers (based on example of Desna basin)]. *Meteorologiya, klimatologiya ta gidrologiya [Meteorology, climatology & Hydrology]*, 49, 406-413. (In Ukr.)
 23. Shakirzanova, Zh.R., Andreievska, G.M., Boiko, V.M. (2012). Dovhostrokove prohnozuvannya maksimalnykh vytrat vody vesnianykh vodopil richok livoberezhzhia Dnipra (z vykorystanniam prohramnogo kompleksu) [Long-term forecasting of maximum water discharges of spring floods of the Dnipro River's left bank rivers (using the software complex)]. *Naukovi pratsi Ukrainskoho naukovo-doslidnoho hidrometeorolohichnoho instytutu [Scientific works of the Ukrainian Research Hydrometeorological Institute]*, 263, 89-95. (In Ukr.)
 24. Kaganer, M.S. (Ed). (1971). *Resursy poverhnostnykh vod SSSR [Surface water resources of the USSR]. Vol. 6: Ukraina i Moldaviya [Ukraine and Moldova]. Issue 2: Srednee i Nizhnee Podneprov'e [Middle and Lower Dnieper]*. Leningrad : Gidrometeoizdat. (In Russ.)
 25. Marynych, O.M. (Ed.). (1989). *Heohrafichna entsyklopediia Ukrainy: u 3 t. [Geographic Encyclopedia of Ukraine in 3 vol.]. Vol. 1: A – Zh*. Kyiv : «Ukrainska Radianska entsyklopediia» im. M.P. Bazhana. (In Ukr.)
 26. Hrebin, V.V., Mokin, V.B., Stashuk, V.A. et al. (2013). *Metodyky hidrohrafichnoho ta vodohospodarskoho raionuvannya terytorii Ukrainy vidpovidno do ymoho Vodnoi Ramkovo Dyrektyvy Yevropeiskoho Soiuzu* [Methods of hydrographic and water management zoning of the territory of Ukraine in accordance with the requirements of the Water Framework Directive of the European Union]. Kyiv : Interpres LTD. (In Ukr.)
 27. *Vodna Ramkova Dyrektyva YeS 2000/60/YeS. Osnovni termyny ta yikh vyznachennia* [EU Water Framework Directive 2000/60/EU. Key terms and definitions]. (2006). Kyiv. (In Ukr.)
 28. *Nakaz vid 03.03.2017 №103 «Pro zatverdzhennia mezh raioniv richkovykh baseiniv, subbaseiniv ta vodohospodarskykh dilianok»* [Order from 03.03.2017 № 103 "On approval of the boundaries of areas of river basins, subbasins and water areas"]. (2017). Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine. Available at: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0421-17> (Accessed: 12.04.2018). (In Ukr.)
 29. Shvebs, H.I., Ihoshyn, M.I. (2003). *Kataloh richok i vodoim Ukrainy* [Catalog of rivers and reservoirs of Ukraine]. Odesa: Astroprint. (In Ukr.)
 30. *Klimat: Ukraina* [Climate: Ukraine]. Available at: <https://ru.climate-data.org/country/231/> (Accessed: 20.03.2018). (In Ukr.)
 31. Lipinskiy, V.M., Diachuk, V.A., Babichenko, V.M. (Eds). (2003). *Klimat Ukrainy* [Climate of Ukraine] Kyiv : Raievskoho Publ. (In Ukr.)
 32. Adamenko, T.I., Kulbida, M.I., Prokopenko, A.L. (Eds). (2011). *Ahroklimatychni dovidnyk po terytorii Ukrainy* [Agroclimatic directory by the territory of Ukraine]. Kamianets-Podilskyi : PP Halahodza R.S. (In Ukr.)
 33. Stepanenko, S.M., Polovyi, A.M., Shkolnyi, Ye.P. et al. (2011). *Otsinka vplyvu klimatychnykh zmin na haluzi ekonomiky Ukrainy* [Assessment of the impact of climate change on the economic sectors of Ukraine]. Edited by S.M. Stepanenko, A.M. Polovyi. Odesa : Ekolohiia. (In Ukr.)
 34. Stepanenko, S.M. (2013). *Dynamika ta modeliuvannya klimatu* [Dynamics and modeling of the climate]. Odesa: Ekolohiia. (In Ukr.)
 35. Hrebin, V.V. (2010). *Suchasnyi vodnyi rezhyim richok Ukrainy (landshaftno-hidrolohiichnyi analiz)* [The modern water regime of Ukrainian rivers (landscape-hydrological analysis)]. Kyiv : Nika-Tsentr. (In Ukr.)
 36. Shakirzanova, Zh.R. (2008). Analiz ta prostorove uzahalnennia strokiv prokhodzhennia vesnianykh vodopil na rivnynykh richkakh Ukrainy [Analysis and spatial generalization of the timing passage of spring floods on the plain rivers of Ukraine]. *Visnik Odes'kogo derzhavnogo ekolohichnogo universitetu [Bulletin of Odesa state environmental university]*, 6, 157-164. (In Ukr.)
 37. Panovskiy, G.A., Brayer, G.V. (1967). *Statisticheskie metody v meteorologii* [Statistical methods in meteorology]. Leningrad : Gidrometeoizdat. (In Russ.)
 38. Loboda, N.S. (2010). *Metody statystychnoho analizu u hidrolohiichnykh rozrakhunkakh i prohnozakh* [Methods of statistical analysis in hydrological calculations and forecasts]. Odesa : Ekolohiia. (In Ukr.)
 39. Gopchenko, E.D., Ovcharuk, V.A. (2012). *Formirovanie maksimal'nogo stoka vesennego polovod'ya v usloviyakh*

- yuga Ukrainy [Formation of the maximum spring runoff in the conditions of the south of Ukraine]. Odessa State Environmental University. Odessa : TES. (In Russ.)
40. Gopchenko, E.D., Romanchuk, M.E. (2005). *Normirovanie kharakteristik maksimal'nogo stoka vesennego polovod'ya na rekakh Prichernomorskoy nizmennosti* [Normalization of the characteristics maximum runoff of spring flood on the rivers of the Black Sea lowland]. Kiev : KNT. (In Russ.)
41. Gopchenko, Ye.D., Loboda, N.S., Ovcharuk, V.A. (2014). *Hidrolohichni rozrakhunky* [Hydrological calculations]. Odesa : TES. (In Ukr.)
42. *Posobie po opredeleniyu raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik* [Manual to determining the calculated hydrological characteristics]. (1984). Leningrad : Gidrometeoizdat. (In Russ.)
43. Ukrainian Hydrometeorological Center. (2012). *KD 52.5.3.02-12. Nastanova z operatyvnoi hidrohologii. Prohnozy rezhymu vod sushi. Hidrohologichne zabezpechennia i obsluhovuvannia* [Guidance Document 52.5.3.02-12 : Instruction on operative hydrology. Forecasts of land waters regime. Hydrological Providing and Maintenance]. Kyiv. (In Ukr.)
44. Ukrainian Hydrometeorological Center. (2015). *KD 74.90.14-02572508-002:2015. Otsinka yakosti metodyky ta tochnosti (spravdzhuvanosti) prohoziv rezhymu poverkhnevnykh vod sushi. [Guidance Document 74.90.14-02572508-002:2015 : Assessment of method quality and accuracy (validity) of forecasts of surface land waters regime]*. Kyiv. (In Ukr.)

METHOD OF FORECASTING ASSESSMENT OF THE MAXIMUM RUNOFF CHARACTERISTICS OF THE DNIPRO BASIN'S RIVERS IN SPRING SEASON

Zh. R. Shakirzanova¹, V. M. Boyko², M. V. Goptsiy¹, E. I. Todorova¹
A. A. Dokus¹, Z. F. Serbova¹, N. N. Shvets¹

¹Odessa State Environmental University,

15, Lvivska St., 65016 Odessa, Ukraine, natzin@ukr.net

² Ukrainian hydrometeorological center of the state emergency service of Ukraine
6-B, Zolotovoritska St., 01030 Kyiv, Ukraine, vicbojko@meteo.gov.ua

Introduction. In Ukraine, under the conditions of current climate variability, the water content of the rivers, including the period of spring flood, changes. Against the background of the general tendency of reduction of the runoff characteristics of the spring flood of the rivers in Ukraine, formation of catastrophic floods on rivers leading to flooding of territories and destruction of economic objects should not be ruled out. The research is aimed at solving an important scientific-applied and socio-economic problem of improving the water management in the basin of the country's large waterway, the Dnipro River, through probabilistic assessments of hydrological threats which include spring flood and its consequences – floods of various magnitudes. Therefore it is necessary to create a unified universal mathematical model for formation, calculation and long-term forecasting of water flood characteristics, and to implement it for the Dnipro Basin's rivers (including small ones which usually are not recorded in the data of runoff observations), taking into account the climate changes of the winter-spring period.

The purpose consists in prognostic assessment of the hydrological regime characteristics of the Dnipro Basin's rivers during the most full-flowing phase of their water regime, the spring flood, for the purpose of spatial monitoring of the state of water objects during this period. The research offers the method of territorial long-term forecasts of the spring floods characteristics which is based on the theory of channel isochrones and consideration of the complex of runoff formation hydrometeorological factors with preliminary determination of the type of water content of spring flood. The spatial representation of forecast variables in cartographic form will allow estimation of the size of the water flood and its long-term repeatability throughout the entire basin and preparation of forecasts for separate rivers, regardless of the degree of their hydrological exploration.

Results. As a result of application of the complex forecasting method of territorial long-term forecasts of the spring flood characteristics of the rivers (through the example of the Dnipro Basin within Ukrainian borders), typification of floods based on their water content was performed using a discriminant function apparatus which takes into account the probable combination of hydrometeorological factors of spring floods. In terms of regional dependencies forecast of runoff depths and maximum water flow of floods was conducted and probability of their occurrence in the long-term period was determined. Assessment of the forecast methodology provided satisfactory results, and, under the conditions of long-term tendency to decrease runoff depths and maximum water flow during the spring flood of the Dnipro Basin's rivers, it is proposed to specify the average long-term values of these variables which are basic ones when applying the method of territorial long-term forecasts of the maximum spring runoff of rivers. A spatial preliminary estimation of the size of spring floods within the Dnipro River Basin was also fulfilled. The authors completed implementation of the method of territorial long-term forecasts of spring flood

characteristics using the data of the water flood of 2017-2018.

Conclusion. In general, taking into account the obtained criteria of accuracy, the method can be considered effective and recommended for release of annual long-term forecasts of the rivers' spring flood characteristics at in operational units delivering forecasting hydrological services to respective consumers. Through the example of the spring flood of 2017-2018 the possibility of forecasting assessment of the hydrological regime characteristics of the Dnipro Basin's rivers was shown which allows determining the zones of increased river runoff over the spring period and increased threat of possible flooding of surrounding areas, especially when the floods with a rare probability of excess occur.

Key words: complex of hydrometeorological factors, type of flood's water content, long-term tendencies, forecast characteristics.

МЕТОД ПРОГНОСТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА РЕК БАСЕЙНА ДНЕПРА В ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД ГОДА

Ж. Р. Шакирзанова¹, В. М. Бойко², М. В. Гопций¹, Е. И. Тодорова¹,
А. А. Докус¹, З. Ф. Сербова¹, Н. Н. Швец¹

¹ Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, natzin@ukr.net

² Украинский гидрометеорологический центр ГСЧС Украины,
ул. Золоторотская, 6-В, 01030, Киев, Украина, vicbojko@meteo.gov.ua

В работе предложен комплексный метод территориальных долгосрочных прогнозов характеристик весенних половодий рек (на примере бассейна р. Днепр в пределах территории Украины), что позволяет при использовании комплекса гидрометеорологических факторов и установлении типа водности половодья за районными зависимостями вести ежегодное прогнозирование слоев стока и максимальных расходов воды половодий, определять вероятность их наступления в многолетнем периоде. Прогностическая оценка характеристик гидрологического режима рек бассейна Днестра при картографическом представлении прогнозных величин (в виде модульных коэффициентов) и их вероятностных показателей выполнена для весеннего половодья 2017-2018 г. Оценка методики прогнозов показала удовлетворительные результаты, а в условиях многолетней тенденции к уменьшению слоев стока и максимальных расходов воды в период весеннего половодья рек бассейна р. Днепр предлагается осуществлять уточнение среднемноголетних значений этих величин, которые являются базовыми в методике территориальных долгосрочных прогнозов максимального весеннего стока рек.

Ключевые слова: комплекс гидрометеорологических факторов, тип водности половодья, многолетние тенденции, прогнозныe характеристики.

Подання до редакції : 22. 10. 2018
Надходження остаточної версії : 07. 11. 2018
Публікація статті : 29. 11. 2018

УДК: 656.61.052

ЗГІННО-НАГІННІ КОЛИВАННЯ РІВНЯ МОРЯ В ПОРТАХ ЮЖНИЙ І ЧОРНОМОРСЬК ТА ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ ЇХ ПРОГНОЗУВАННЯ

Р. В. Гаврилюк, Н. М. Ювченко

Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, RAISAGAVR@gmail.com

Згінно-нагінні коливання рівня впливають на господарську діяльність в прибережній зоні моря. Такі коливання під час досягнення рівнем критичних позначок створюють загрозу затоплення прилеглих територій або посадки суден на мілину. Для ефективного обслуговування морських галузей господарства необхідно знати кількісні характеристики згінно-нагінних коливань рівня моря та вміти їх надійно прогнозувати. На основі даних спостережень за рівнем моря в портах Южний і Чорноморськ виконано статистичний аналіз згінно-нагінних коливань, в результаті якого отримано такі характеристики як середня та максимальна кількість згінно-нагінних коливань в різні місяці року, середні і максимальні величини підйому і спаду рівня, а також тривалість цих явищ. Виявлено також ефективні напрями вітру, які обумовлюють згони і нагони в портах Южний і Чорноморськ. Встановлені статистичні зв'язки між згінно-нагінними коливаннями рівня моря та дією вітру і визначенні рівняння для розрахунків змін рівня під час спаду і підйому. Аргументами в розрахункових рівняннях є початкове значення рівня моря і сума проєкцій вітру на ефективні напрями за попередні 30 годин. Надані рекомендації щодо використання розрахункових рівнянь для прогнозування.

Ключові слова: Чорне море; прибережна зона; рівень моря; згінно-нагінні коливання; вітер.

1. ВСТУП

Протягом року рівень води у прибережній частині моря відчуває неперіодичні коливання, викликані місцевим вітром та вітрами, які охоплюють площу моря у цілому. Ці коливання суттєво впливають на господарську діяльність в прибережній зоні моря – в акваторіях портів при підвищенні рівня створюється загроза затоплення прилеглих територій, а при пониженні – загроза посадки суден на мілину.

Основними факторами, які визначають режим коливань рівня в синоптичному діапазоні частот є вітер та атмосферний тиск. При цьому вітру належить вирішальна роль, а коливання рівня отримали назву згінно-нагінних. Їх розвиток визначається співвідношенням напрямів діючого вітру та конфігурації берегової смуги. З цієї причини розмах згінно-нагінних коливань рівня на різних станціях, навіть близько розташованих одна від одної, можуть суттєво відрізнятися [1, 2].

Визначенню показників штормової активності в останні роки привертається увага багатьох вчених, зокрема в зв'язку зі змінами клімату [3, 4]. У північно-західній частині

Чорного моря розташовані найважливіші морські порти України (Одеса, Чорноморськ та Южний) і вплив згінно-нагінних коливань рівня на їх роботу є суттєвим. Тому вивчення цих процесів, а також розробка методів їх прогнозування, представляють значний практичний інтерес.

Методологічні основи прогнозування згінно-нагінних коливань рівня моря розглядаються в [2], а в [5] представлені деякі схеми статистичного прогнозу для окремих морських портів. Для портів північно-західної частини моря такі схеми відсутні, що обумовлює актуальність виконаної роботи.

Мета роботи полягає в аналізі згінно-нагінних коливань рівня моря в акваторіях портів Южний і Чорноморськ, встановленні зв'язків між змінами рівня та дією вітру, а також у визначенні статистичних рівнянь для розрахунків згонів та нагонів.

2. ОПИС ОБ'ЄКТУ ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для дослідження використовувалися дані таблиць ТГМ строкових спостережень (за 00, 06,

08, 12 і 18 годин) за рівнем моря, напрямками та швидкістю вітру на станціях Чорноморськ (2006-2013 рр.) і Южний (2000-2011 рр.). В якості критерію виділення згону або нагону використовувалась запропонована в [4] величина розмаху коливань в 15 см та більше на добу від середнього місячного значення рівня моря, що відповідає найбільш характерній для цього процесу в Чорному морі величині. На нашу думку ця величина приблизно співпадає з величиною середнього квадратичного відхилення рівня моря в синоптичному діапазоні частот та є допустимою помилкою при оцінках розрахунків за стохастичними моделями [5]. Використовувалась методика візуального виділення згонів та нагонів за цим критерієм на графіках зміни рівня для кожного місяця року на кожній станції окремо за весь період спостережень. З візуального аналізу кривих коливань рівня визначалися такі характеристики: дати та строки початку та кінця згону або нагону, їх величина (в см) та тривалість (в годинах). З таблиць ТГМ обирались значення напрямів та швидкості вітру (середнє та максимальне значення) за період згонів і нагонів. За цими даними формувалися ряди, які в подальшому підлягали статистичній обробці.

Методи дослідження, які використовувались у роботі, це стандартні методи математичної статистики прийняті в гідрометеорології та океанографії: статистичний, кореляційний, регресійний аналізи.

3. ОПИС ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

3.1 Статистичні характеристики згінно-нагінних коливань рівня моря на станціях Чорноморськ і Южний

У роботі [6] було виконано аналіз інтенсивності згінно-нагінних коливань рівня на різних станціях північно-західної частини Чорного моря. Зокрема, дослідження показали, що на станціях Чорноморськ і Южний повторюваність нагонів, які не перевищують 30 см відносно середнього місячного значення, складає 72 % та 76 % відповідно, а повторюваність згонів такої інтенсивності на обох станціях є приблизно однаковою та досягає 65 %. Повторюваність нагонів інтенсивністю вище 30 см (значні нагони) на станції Чорноморськ складає 28 %, а на станції Южний – 24 %, а згонів такої інтенсивності – 34-35 %. Для дуже значних (більш 50 см відносно середнього рівня) нагонів повторюваність складає 2 % випадків на станції Чорноморськ і

1 % випадків на станції Южний, але ж для згонів такої інтенсивності повторюваність досягають 5 % та 7 % відповідно. Таким чином, на обох станціях повторюваність незначних нагонів перевищує аналогічні згони, а значних та дуже значних згонів, навпаки, перевищує повторюваність аналогічних нагонів. Такий характер згінно-нагінних коливань рівня моря обумовлений співвідношеннями напрямів діючого вітру та конфігурації берегової смуги.

Порти Чорноморськ і Южний розташовані у мілководних районах північно-західної частини моря, тому найбільші згони й нагони формуються тут під дією вітру, який спрямований, переважно, перпендикулярно до берегової лінії. Аналіз показав, що на станції Чорноморськ підйоми рівня моря спостерігаються в більшості випадків при південному та південно-східному вітрах. Середні швидкості таких вітрів складають $8-9 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, а максимальні досягають $15-17 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. Спади рівня виникають переважно при північно-західному та західному вітрах, середня швидкість яких становить $9-10 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, а максимальна досягає $19-22 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$.

На станції Южний підйоми рівня моря спостерігаються переважно при південних, південно-східних і східних вітрах. Їх середні швидкості складають $12-15 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, а максимальні досягають $20-28 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. Спади рівня спостерігаються при західних, північно-західних і північних вітрах. Середня швидкість вітру становить $15-17 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, а максимальна досягає $20-28 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$.

Таким чином, на обох станціях вітри згінних напрямків є більш потужними ніж нагінні, що є причиною більшого розмаху згонів в порівнянні з розмахом нагонів.

Розрахунки кількості випадків згонів-нагонів показали, що на станції Чорноморськ за період 2006-2013 рр. спостерігалися 101 випадок підйому і 107 випадків спаду, тобто кількість спадів декілька вище, ніж кількість підйомів. У середньому за цей період, в місяць спостерігалися 1-2 випадки спаду і підйому. В осінньо-зимовий період їх кількість підвищується до 6 випадків, а у весняно-літній період знижується до 1 випадку на місяць або зовсім не спостерігається.

На станції Южний за період 2000-2011 рр. спостерігалось 270 випадків згонів і 246 випадків нагонів, тобто кількість згонів також трохи вища, ніж кількість нагонів. У середньому за цей період спостерігалися по 2 випадки нагонів і згонів на місяць. В осінньо-зимовий

період їх кількість зростає до 3-4, а у весняно-літній період знижується до 1-2 випадків на місяць.

Важливою характеристикою мінливості згінно-нагінних коливань є розмах зміни рівня. В середньому за досліджуваний період на станції Чорноморськ величина підйому рівня становить 34 см, а спаду – 38 см, тобто величина спаду дещо більша, ніж величина підйому. За максимальними значеннями величина спаду досягала 101 см, а величина підйому – 97 см. Протягом року величини підйому і спаду рівня сильно змінюються. В осінньо-зимові місяці, з листопада по березень, величина підйому в середньому складає 39-45 см, а спаду – 40-47 см. У літні місяці величина підйому зменшується до 18-27 см, а спаду – до 27-45 см. На станції Южний за досліджуваний період величина підйому рівня в середньому становить 30 см, а спаду – 34 см, за максимальними значеннями величина спаду досягала 98 см, а підйому – 91 см. Осінню та зимою величина підйому становить 30-38 см, а спаду – 35-45 см. Літом підйом зменшується до 22-28 см, а спаду до 26-34 см.

Розраховувались також статистичні характеристики мінливості тривалості підйомів і спадів. За початок підйому приймалася найнижча точка в положенні рівня моря, а за початок спаду – найвища. Проміжок часу від початку до кінця спаду чи підйому і є тривалістю явища. На обох станціях тривалість підйому рівня склала в середньому 33-34 години, а тривалість спадів – 36-38 годин, тобто тривалість спадів декілька вища, ніж тривалість підйомів. Для цієї характеристики також притаманна сезонна мінливість – найбільші значення припадають на зимовий період і досягають 39-46 годин, а найменші – в літні місяці, 22-36 годин.

Для господарської діяльності важливим є прогноз досягнення рівнем критичних позначок. Такими позначками для портів Чорноморськ і Южний прийнято 427 см при спаді і 550 см при підйомі рівня моря. За період 2008-2013 рр. на станції Чорноморськ спостерігалось 5 випадків небезпечного спаду рівня, а небезпечних підйомів не зафіксовано. На станції Южний за 2000-2011 рр. спостерігалось 8 випадків небезпечного підйому рівня і 6 випадків небезпечного спаду рівня. Всі небезпечні спади рівня спостерігалися в осінньо-зимовий період року (вересень - січень).

У роботі [4] представлено результати чисельних експериментів з розрахунку згінно-нагінних коливань рівня, викликаних циклонами, що рухаються над Чорним морем, для деяких прибережних станцій та їх співставлення з даними натурних спостережень. Було виявлено декілька типів траєкторій руху циклонів, які обумовлюють максимальні величини спаду та підйому рівня в пунктах узбережжя. Зокрема, показано, що в Одесі та Чорноморську максимальний спад рівня обумовлений циклонами, що рухаються з заходу, а максимальний підйом рівня – циклонами з траєкторією руху з південного заходу.

За досліджуваний період спостерігались випадки виникнення небезпечного явища одночасно на станціях Чорноморськ та Южний. На рис. 1 наведені синоптичні карти атмосферного тиску за 00 годин 10 листопада 2007 р. та 00 годин 11 листопада 2007 р. [7], які демонструють переміщення над Чорним морем південного циклону з Балканського півострова. У першій половині 10 листопада в північно-західній частині Чорного моря спостерігався південний та південно-східний вітер швидкістю 13-18 м·с⁻¹, що обумовило підйом рівня на станції Чорноморськ на 37 см, на станції Южний – на 48 см, а на станції Одеса – на 27 см. У другій половині 10-го та першій половині 11-го листопада напрям вітру змінився на західний, північно-західний та посилювався до 17-23 м·с⁻¹. На станції Чорноморськ рівень моря за 18 годин (з 12 годин 10 листопада до 06 годин 11 листопада) знизився з 518 см до 417 см, тобто на 101 см. На станції Южний зниження рівня склало 98 см, з 528 см до 430 см, а в Одесі – на 87 см, з 507 см до 420 см. Тобто, у всіх портах було одночасно зафіксовано зниження рівня до небезпечних позначок. Таким чином, цей приклад підтверджує, що навіть підчас потужного шторму в портах північно-західної частині Чорного моря величина підйому рівня значно менша, ніж спаду.

Як відомо з літературних джерел [2, 8], в подальшому циклон перемістився на Азовське море і викликав в Керченській протоці висоту хвилі 3,5-4,0 м. В результаті шторму в Керченській протоці затонуло 4 судна, 6 сіли на міліну, а 2 танкери отримали пробоїни, в результаті чого в море потрапило 3 тис. тон мазуту і близько 6 тис. тон сірки. Економічний збиток склав близько 900 млн. доларів.

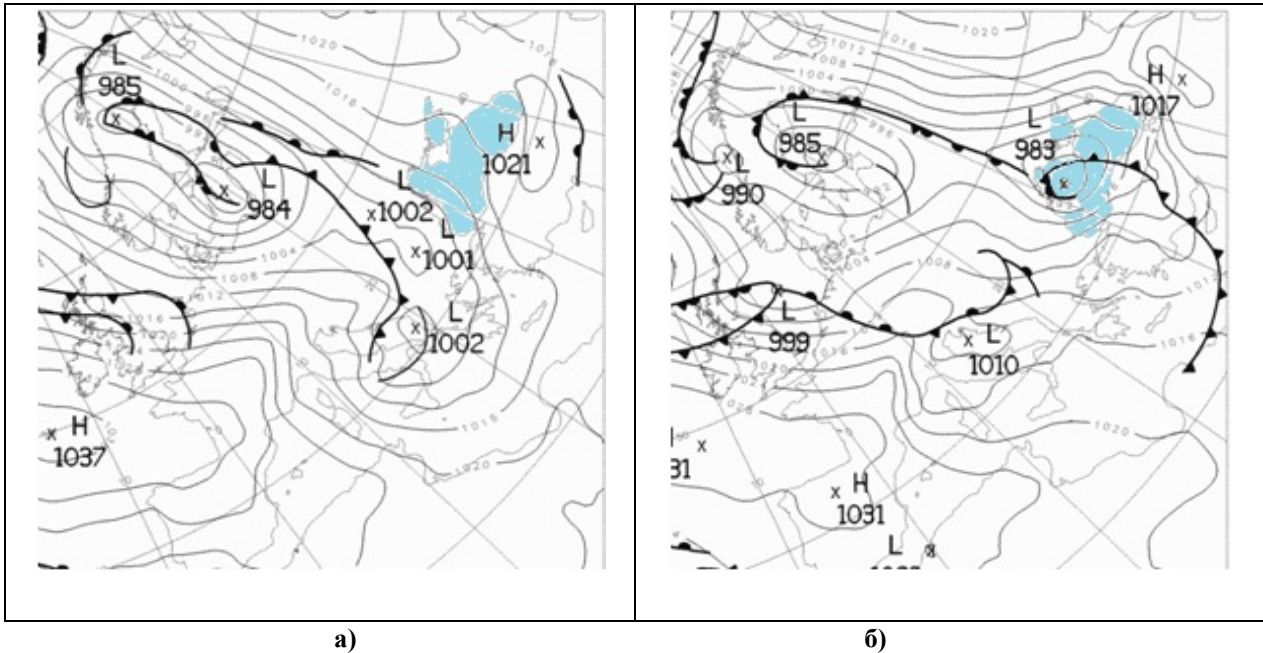


Рис. 1 – Синоптична ситуація над Чорним морем в 00 годин 10 листопада (а) та 00 годин 11 листопада (б) 2007 р. [7]

3.2 Статистичні зв'язки між характеристиками вітру та згінно-нагінними коливаннями рівня моря

Як було показано вище, на станції Чорноморськ підйоми рівня моря спостерігаються в більшості випадків при південному та південно-східному вітрах, а спади рівня – при північно-західному та західному вітрах, тому напрям північний захід - південний схід можна розглядати як ефективний напрям для розрахунків проекцій швидкості вітру.

На станції Южний у більшості випадків спади рівня води спостерігаються при північних, північно-західних та північно-східних вітрах, а підйоми – при південних, південно-східних та південно-західних вітрах, тому для цієї станції ефективним обрано напрям північ-південь.

Проекції (П) швидкості вітру (обирались значення максимального вітру) за кожен строк окремо для фази спаду та фази підйому рівня розраховувались за формулою

$$P = |V| * \cos\varphi, \quad (1)$$

де $|V|$ – модуль швидкості вітру, φ - кут між напрямом вітру та ефективним напрямом.

При цьому вітри, що обумовлюють підйом рівня ураховуються з від'ємним знаком, а ті, що обумовлюють спади рівня – з позитивним знаком.

Так як середня тривалість спадів та підйомів

рівня складає приблизно 30 годин, то для кожного випадку розраховувалась накопичувальна сума проекцій вітру ΣP за цей проміжок часу (за 5 строків). З цих даних формувався ряд, який в подальшому використовувався в якості одного з аргументів рівняння регресії. Другим аргументом приймалось початкове значення рівня моря окремо для фази підйому та фази спаду. Для визначення коефіцієнтів рівнянь регресії були сформовані ряди наступної тривалості: для станції Южний ряд складає 148 значень для згонів та 82 значення для нагонів; для станції Чорноморськ ряд складається з 52 значень для згонів та 34 значень для нагонів. Рівняння множинної регресії, у загальному вигляді є таким:

$$\Delta H = aH_{поч} + b\Sigma P + c, \quad (2)$$

де ΔH – зміни рівня моря під час спаду, або підйому, $H_{поч}$ – початкове значення рівня моря, ΣP - сума проекцій максимальної швидкості вітру на ефективний напрям за попередні 30 годин, a, b, c - коефіцієнти рівняння регресії.

За визначеними рівняннями регресії розраховувались зміни рівня для фаз підйому та спаду окремо, які порівнювались з фактичними значеннями та розраховувалась забезпеченість розрахунків. За допустиму помилку приймалось значення середнього квадратичного відхилення [5], яке склало 15-18 см. У таблиці 1 наведені рівняння регресії для розрахунку змін рівня моря окремо для фаз підйому та спаду,

Таблиця 1 - Рівняння регресії для розрахунків змін рівня для фаз спаду та підйому, множинний коефіцієнт кореляції (R) і забезпеченість (%) розрахунків за рівняннями для станцій Чорноморськ і Южний.

Станція	Фази змін рівня	Рівняння регресії	R	Забезпеченість (%)
Чорноморськ	Спад рівня	$\Delta H = 0,686 * N_{\text{поч}} - 0,553 * \Sigma \Pi + 150,749$	0,77	91
	Підйом рівня	$\Delta H = 0,612 * N_{\text{поч}} - 0,489 * \Sigma \Pi + 199,981$	0,80	61
Южний	Спад рівня	$\Delta H = 0,572 * N_{\text{поч}} - 0,430 * \Sigma \Pi + 203,924$	0,71	84
	Підйом рівня	$\Delta H = 0,663 * N_{\text{поч}} - 0,354 * \Sigma \Pi + 172,075$	0,74	87

множинний коефіцієнт кореляції (R) та забезпеченість (%) розрахунків за рівняннями. Всі коефіцієнти кореляції є значущими на рівні не нижче 95%. Як видно, для станції Южний забезпеченість розрахунків за рівняннями складає 84-87%. Для станції Чорноморськ для фази спаду рівня забезпеченість перевищує 90%, а для фази підйому складає всього 61%, що може бути обумовлено недостатньою довжиною ряду.

Отримані рівняння регресії дозволяють по характеристиках вітру розраховувати згінно-нагінні зміни рівня моря в портах Чорноморськ і Южний. Однак ці ж рівняння можна використовувати також для прогнозу. Для цього треба мати прогноз вітру на 5 строків, тобто на 30 годин. За цим прогнозом необхідно оцінити напрями вітру, які очікуються. Якщо очікуванні вітри є нагінними або згінними, необхідно розрахувати накопичувальну суму проєкцій максимального вітру за наступні 30 годин. Ця величина є одним з аргументів у рівнянні регресії. Другим аргументом є початкове значення рівня моря, тобто фактичне значення рівня моря в момент складання прогнозу.

4. ВИСНОВКИ

1. Аналіз коливань моря на станціях Чорноморськ та Южний показав, що в осінньо-зимовий період кількість випадків згінно-нагінних явищ складає від 4 до 6, а у весняно-літній період знижується до 1-2 випадків на місяць, або вони зовсім не спостерігаються.

2. На станції Южний в середньому за місяць величина підйому рівня становить 30 см, а спаду – 34 см; на станції Чорноморськ величина підйому рівня становить 34 см, а спаду – 38 см. Тобто на обох станціях величина спаду дещо більша, ніж величина підйому. Протягом року величини підйому і спаду рівня сильно

змінюються. На станції Чорноморськ в осінньо-зимові місяці, з листопада по березень, величина підйому в середньому складає 39-45 см, а спаду – 40-47 см. У літні місяці підйом зменшується до 18-27 см, а спад – до 27-45 см. На станції Южний восени та взимку величина підйому становить 30-38 см, а спаду – 35-45 см.

3. На обох станціях середня за досліджуваний період тривалість підйому рівня склала 33-34 години, а тривалість спадів – 36-38 годин. Для цієї характеристики також спостерігається сезонна мінливість – найбільші значення припадають на зимовий період та досягають 39-46 годин, а найменші – на літні місяці (22-36 годин).

4. На станції Чорноморськ підйоми рівня моря спостерігаються у більшості випадків при південному та південно-східному вітрах, а спади рівня – при північно-західному та західному вітрах. На станції Южний в більшості випадків спади рівня спостерігаються при західних, північно-західних і північних вітрах, підйоми рівня – при південних, південно-східних і східних вітрах.

5. Отримані рівняння регресії для розрахунків змін рівня окремо для фази підйому та фази спаду. Аргументами в рівняннях є початкове значення рівня моря та сума проєкцій максимального вітру на ефективні напрями за попередні 30 годин. Множинні коефіцієнти кореляції знаходяться в межах від 0,71 до 0,80 та є значущими на рівні не нижче 95%. Забезпеченість розрахунків рівня на залежному ряді спостережень за отриманими рівняннями склала 61-91%. Надані рекомендації щодо використання розрахункових рівнянь для прогнозу згінно-нагінних коливань рівня в портах Чорноморськ і Южний.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 4. Черное море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. / под ред. Э. Н. Алтмана, А. И. Симонова. Санкт-Петербург, 1991. 430 с.
2. Абузаров З. К., Думанская И. А., Нестеров Е. С. Оперативное океанографическое обслуживание. Москва, 2009. 275 с.
3. Гидрометеорологические условия морей Украины. Т. 2. Черное море / Ю. П. Ильин и др. Севастополь, 2012. 420 с.
4. Горячкин Ю. Н., Иванов В. А. Уровень Черного моря: прошлое, настоящее и будущее / под ред. В. Н. Еремеева. Севастополь: МГИ НАН Украины, 2006. 210 с.
5. Руководство по морским гидрологическим прогнозам / под ред. З. К. Абузарова. Санкт-Петербург: Гидрометиздат, 1994. 521 с.
6. Гаврилюк Р. В., Корнилов С. В. Изменчивость уровня в северо-западной части Черного моря. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2016. Вип 20. С. 69-77.
7. Meteoweb, интернет-журнал: веб-сайт. URL: <http://meteoweb.ru/> (дата звернення: 29.05.2018)
8. Ilyin, Y. et al. (2011). *Oil spil assident in the Kerch Strait in November 2007*. Report of the commission for the protection of the Black Sea Against Pollution. Moscow.
9. [Hydro meteorology and hydrochemistry of the seas of the USSR]. Vol. 4: *Chernoe more [Black Sea]*. Issue 1: *Gidrometeorologicheskiye usloviya [Hydro meteorological conditions]*. Sankt-Peterburg. (in Russ).
10. Abuzyarov, Z.K., Dumanskaya, I.A., Nesterov, E.S. (2009). *Operativnoe okeanograficheskoe obsluzhivanie [Operational Oceanographic Services]*. Moscow. (in Russ).
11. Il'in, Yu.P. et al. (2012). *Gidrometeorologicheskie usloviya morey Ukrainy [Hydro meteorological conditions of the seas of Ukraine]*. Vol. 2: *Chernoe more [Black Sea]*. Sevastopol. (in Russ.)
12. Goryachkin, Y.N., Ivanov, V.A. (2006). *Uroven Chernogo moray : proshloe, nastoyaschee i budushee [Level of the Black Sea : past, present and future]*. Sevastopol : MGI NAN Ukraine. (in Russ).
13. Abuzyarov, Z.K. (Ed). (1994). *Rukovodstvo po morskim gidrologicheskim prognozam [Guidance on Marine Hydrological Forecasts]*. Sankt-Peterburg : Gidrometizdat. (in Russ).
14. Gavriilyuk, R.V., Kornilov, SV. (2016). [Variability of the level in the northwestern part of the Black Sea]. *Vіsnik Odes'kogo derzhavnogo ekologichnogo universitetu [Bulletin of Odessa state environmental university]*, 20, 69-77. (in Russ).
15. *Meteoweb, online journal* : web-site. Available at: <http://meteoweb.ru/> (accessed 29.05.2018). (in Russ).
16. Ilyin, Y. et al. (2011). *Oil spil assident in the Kerch Strait in November 2007*. Report of the commission for the protection of the Black Sea Against Pollution. Moscow.

REFERENCES

1. Altman, E.N., Simonov, A.I. (Eds). (1991). *Gidrometeorologiya i gidrokhimiya morey SSSR*

WIND-INDUCED SEA LEVEL FLUCTUATIONS AT YUZHNYI AND CHORNOMORSK SEA PORTS AND EVALUATION OF THE POSSIBILITY OF THEIR FORECAST

R. V. Gavriilyuk, N. M. Yuvchenko

Odessa State Environmental University,
15, Lvivska St., 65016, Odessa, Ukraine, RAISAGAVR@gmail.com

The sea level of the Black Sea coastal area is subject to non-periodic wind-induced fluctuations. Such fluctuations affect economic activity of the sea ports, enterprises and businesses located within the coastal area while those may be flooded when the sea level rises and, on the contrary, there is a threat of vessels grounding in case of sea level fall. There are several big sea ports which are located at the north-western part of the Black Sea and affected by wind-induced fluctuations. Therefore, the study of these processes and development of methods allowing their forecast are of great practical interest and this fact proves the topicality of the conducted research.

The article's aim is to analyse wind-induced fluctuations within the water area of Yuzhnyi and Chornomorsk sea ports, identify statistical links between such fluctuations and wind characteristics / equations used for calculation of their values. The observations at Chornomorsk (2006-2013) and Yuzhnyi (2000-2011) stations show that within a year there are 1-2 upsurge-downsurge occurrences during an average month, however, the number of those increases up to 3-4 over the autumn-winter period. The average sea level rise at Chornomorsk station is equal to 34 cm, the average sea level fall – 38 cm, maximum values amount to 97 cm and 191 cm, respectively. The average sea level rise at Yuzhnyi station is equal to 30 cm, the average sea level fall – 34 cm, maximum values amount to 91 and 98 cm, respectively. The average duration of wind-induced fluctuations at both stations amount to 34-38 hours. In most cases the sea level rise is observed at

Chornomosk station when winds blow from the South and the South-East, at Yuzhnyi station – when those blow from the South, the South-East and the South-West. The sea level fall is observed at Chornomosk station when winds blow from the North-West and the West, at Yuzhnyi station – when those blow from the North, the North-West and the North-East. Both stations are characterized with effective directions of wind causing occurrence of upsurge-downsurges. Based on the regression analysis equations for calculation of the sea level rise and fall values associated with wind characteristics were defined. The initial value of the sea level and the sum of the wind projections on effective directions for previous 30 hours are used as arguments in the equations. The accuracy of equation-based calculation constitutes 60-90%. The article offers recommendations on the use of equations when forecasting wind-induced fluctuations.

Key words: the Black Sea; coastal zone; sea level; wind-induced fluctuations; wind.

СГОННО-НАГОННЫЕ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ МОРЯ В ПОРТАХ ЮЖНЫЙ И ЧЕРНОМОРСК И ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ПРОГНОЗА

Р. В. Гаврилюк, Н. Н. Ювченко

*Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, RAIISAGAVR@gmail.com*

На основе данных наблюдений за уровнем моря в портах Южный и Черноморск выполнен анализ изменчивости сгонно-нагонных колебаний. Установлены статистические связи между сгонно-нагонными колебаниями уровня моря и действием ветра. Найдены и апробированы регрессионные уравнения для расчета по характеристикам ветра изменений уровня моря для фаз спада и подъема, а также разработаны предложения по использованию уравнений для прогноза.

Ключевые слова: Черное море; прибрежная зона; уровень моря; сгонно-нагонные колебания; ветер.

Подання до редакції : 28. 05. 2018

Надходження остаточної версії : 06. 07. 2018

Публікація статті : 29. 11. 2018

УДК 551.5, PACS 92.60.-e

ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТМОСФЕРНОЙ МЕЗОМАСШТАБНОЙ МОДЕЛИ HARMONIE ДЛЯ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ДИНАМИКИ ВОД В ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНАХ МОРЯ

С. В. Иванов, И. Г. Рубан, Ю. С. Тучковенко

*Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, science@odeku.edu.ua*

Рассматривается возможность использования конвективно-разрешающей атмосферной модели Harmonie для задания условий на верхней границе расчетной области численных гидродинамических моделей морской среды. Дано описание основных блоков и конфигураций атмосферной модели, компьютерной реализации на вычислительных ресурсах Европейского центра среднесрочных прогнозов, а также пространственно-временных параметров прогонки модели. Представлены результаты численного эксперимента над акваторией северо-западной части Черного моря и прилегающими областями суши для сложных синоптических условий и высоких скоростей ветра в зимний период. Показаны возможности использования модели для воспроизведения мезомасштабных особенностей циркуляции атмосферы над заливами и вдоль береговой черты, таких как струйные течения нижних уровней, термические градиенты над границей раздела между различными типами подстилающей поверхности, сдвиг ветра над береговой чертой. Перечислены преимущества использования модели Harmonie при задании верхних граничных условий в задачах моделирования гидрофизических и гидродинамических процессов в прибрежных районах моря.

Ключевые слова: атмосферная модель HARMONIE; верхние граничные условия; прибрежные акватории; мезомасштабные особенности циркуляции; сложные погодные условия

1. ВВЕДЕНИЕ

С 80-х годов прошлого столетия оперативные прогнозы состояния атмосферы, подстилающей поверхности суши, морей и океанов, выполняются исключительно с использованием численных моделей. За этот период достигнуты неоспоримые успехи в прогнозировании крупномасштабной циркуляции атмосферы и океана. На повестке дня стоит совершенствование численного описания мезомасштабных особенностей обеих сред. При решении прикладных задач морского природопользования важно знать состояние ветрового волнения на акватории, особенности прибрежной динамики вод и изменчивости уровня моря, пространственную структуру полей температуры и солёности, включая вертикальную стратификацию этих величин, а также определяемые этими характеристиками распределения различных химико-биологических показателей качества морской среды. Подходы к решению таких задач рассматривались в ряде работ. Например, в статье [1] с применением баротропного варианта многоуровневой модели, основанной на примитивных уравнениях и моно-

тонизированной разностной схеме, исследовались ветровые и стоковые течения для зимне-весеннего сезона с разрешением 6,1 км по оси x и 4,6 км по оси y . Показано, что существенную роль в формировании циркуляции вод играют рельеф дна и динамический эффект речного стока. В работах [2, 3] с использованием многослойной квазиизопикнической модели изучалась сезонная изменчивость термогидродинамических полей в северо-западной части Черного моря и Каламитском заливе с разрешением 9,35 км по оси x и 9,27 км по оси y . В статье [4] описана численная гидродинамическая модель прибрежной циркуляции вод, адаптированная к условиям Одесского и Приднепровско-Бугского районов. Приведены результаты имитационных расчетов изменчивости термохалинной структуры и циркуляции вод с заданными из наблюдений температурой воздуха, скоростью и направлением ветра для марта – августа 1986 г. В работе [5] с применением u -координатной модели исследовались волновые поля, генерируемые атмосферными возмущениями типа циклонов на северо-западном шельфе. Для расчета и прогноза трехмерной структуры циркуляции вод в усло-

виях мелкой воды используется модифицированный вариант имитационной гидродинамической модели MECCA (Model for Estuarine and Coastal Circulation Assessment) [6]. Описание математической структуры этой модели, а также результаты ее адаптации к некоторым районам СЗЧМ приведены в работах [5, 7].

Фактором, существенно ограничивающим пространственную детализацию воспроизведения при моделировании особенностей динамики вод и изменчивости гидрофизических характеристик морской среды в прибрежных районах, остается задание верхних граничных условий. Другими словами, возрастает роль описания процессов взаимодействия атмосферы с морской поверхностью на мезомасштабах. Прежде всего, это касается полей и вертикальных профилей ветра, температуры и влажности в атмосфере, которые на временных масштабах до нескольких суток являются ведущими при взаимодействии двух сред.

Современные оперативные региональные модели атмосферы могут использовать высокое пространственное разрешение с адаптированными параметризациями физических процессов. Среди таких моделей следует отметить GME/COSMO [8, 9, 10], IFS/HIRLAM-HARMONIE [11], глобальную/региональную конфигурацию UKMO [12, 13], GEM/GEM-LAM [14, 15]. Результаты исследований в этом направлении для Черного моря с использованием модели WRF представлены в [16].

Целью данной работы является демонстрационный показ возможностей атмосферной модели Harmonie в воспроизведении мезомасштабных, до нескольких километров, особенностей циркуляции атмосферы в прибрежных мелководных районах со сложной береговой чертой, и акцентирование преимуществ модели перед другими аналогами. В частности, приведены результаты адаптации конвективно-разрешающей модели HARMONIE-AROME для прибрежных участков северо-западной акватории Черного моря для последующего использования полей атмосферных величин в приповерхностном слое в качестве граничных условий для численной гидродинамической модели морской среды.

2. ЧИСЛЕННАЯ КОНВЕКТИВНО-РАЗРЕШАЮЩАЯ МОДЕЛЬ АТМОСФЕРЫ HARMONIE-AROME

На сегодняшний день сформировалось тесное сотрудничество между европейскими метеорологическими институтами, работающими в об-

ласти численных прогнозов погоды (ЧПП), с целью разработки и поддержки систем численных краткосрочных прогнозов погоды для оперативного использования. С 2005 года основное внимание консорциума HIRLAM приковано к развитию и адаптации модели AROME для разрешающих конвекцию масштабов [17] и использования ее в общей системе ALADIN-HIRLAM. Система сценариев, которая выполняет усвоение данных, обработку наблюдений, генерацию климатических и краевых условий, пост-процессинг и оперативно управляет моделью AROME в странах консорциума HIRLAM, получила название HARMONIE (HIRLAM-ALADIN Research on Mesoscale Operational NWP in Europe). Вместе с тем, реализация и оптимизация AROME для условий как северных, так и для южных районов Европы привела к многочисленным изменениям и усовершенствованиям схем физических параметризаций модели. Это позволило уменьшить смещение в прогностических расчетах, улучшить физическое описание облаков, особенно смешанной фазы, и характеристик подстилающей поверхности. Детальное описание модели можно найти на официальном сайте консорциума HIRLAM (www.hirlam.org).

Наличие пакета управляющих программ (скриптов) модели HARMONIE-AROME позволяет использовать различные конфигурации полного комплекса расчетов: от выбора наблюдений всех типов по заданному региону из метеорологического архива MARS (Meteorological Archive and Retrieval System) ассимиляции данных, задания начальных и граничных условий с привлечением полей глобальной оперативной модели IFS, до собственно прогностических расчетов, пост-процессинга и визуализации результатов. Следует также отметить, что все расчеты выполняются на кластере суперкомпьютеров ЕЦСПП (Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды), что обеспечивает их эффективность и оперативность.

Преимущества моделирующей системы HARMONIE-AROME перед другими существующими аналогами, в том числе, американским комплексом GFS/WRF, заключаются в следующем:

- глобальная модель ARPEGE/IFS и конвективно-разрешающая модель HARMONIE-AROME представляют собой единый комплекс на основе общего программного кода и передачи информации для начальных и граничных условий; это позволяет избежать дополнительной интерполяции полей и введения дополнительных ошибок уже на начальном этапе расчетов;

- моделирующая система принимает в обработку всю доступную информацию со всех сетей наблюдений в различных форматах для получения наиболее объективного анализа;

- моделирующая система имеет несколько различных типов ассимиляции данных и инициализации начальных условий, которые постоянно совершенствуются для использования в различных регионах и при различных условиях;

- гибридная вертикальная система координат считается наиболее совершенной для воспроизведения одновременно атмосферных процессов, как в пограничном слое, так и в свободной атмосфере;

- разрешение горизонтальной сетки может задаваться в зависимости от решаемых задач и увеличиваться вплоть до 1 км, что дает возможность воспроизводить в явном виде конвективные процессы и мезо-масштабные динамические процессы, в том числе, взаимодействие атмосферы с подстилающей поверхностью;

- пакеты параметризаций физических процессов (радиации, горизонтальной и вертикальной диффузии, генерации ТКЭ (турбулентная кинетическая энергия), взаимодействия со сложной орографией и береговой чертой, конвекции) ЕЦСПП считаются на сегодняшний день наиболее физически правдоподобными для воспроизведения атмосферных процессов;

- пакеты пост-процессинга, встроенные в моделирующую систему, позволяющие в режиме реального времени расчетов (on-line) получать поля атмосферных величин на различных типах поверхностей и уровней в зависимости от решаемой задачи. Особое преимущество данной системы перед GFS/WRF в том, что можно получать поля и вертикальные профили в пограничном слое атмосферы с высоким разрешением по геометрической вертикальной шкале;

- пост-процессинг включает вывод заданных величин из списка более чем 250 переменных;

- сопряженность форматов вывода пост-процессинга (grib, netcdf) с пакетом визуализации metview для предоставления информации в графическом виде и возможностью получать оцифрованную информацию;

- возможность выполнять расчеты на HPC ECMWF (European Centre for Medium-Range Forecasting), что обеспечивает оперативность передачи информации и высокую скорость собственно модельных расчетов.

3. ЧИСЛЕННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ С МОДЕЛЬЮ HARMONIE-AROME НАД ПРИБРЕЖНЫМИ АКВАТОРИЯМИ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Для проведения численных экспериментов с целью демонстрации возможностей модели HARMONIE-AROME была выбрана область над Черным морем размером 1000 x 900 км по долготе и широте, соответственно, с горизонтальным пространственным шагом расчетной сетки 1 км и шагом по времени 15 сек. Центр области размещался в точке с координатами 31.5° з.д. и 45.9° с.ш. Шаг по времени был уменьшен вдвое по сравнению с рекомендуемым для выбранного пространственного разрешения, чтобы гарантировать вычислительную устойчивость при воспроизведении сложных атмосферных процессов с большими градиентами метеорологических характеристик. Для проверки устойчивости расчетов была выбрана синоптическая ситуация 13 января 2018, когда над Черным морем проходил холодный фронт, обусловленный взаимодействием двух барических систем: низкого давления, протянувшейся от Кавказского региона через Малую Азию до Балкан, и обширной области высокого давления, простирающейся от Скандинавии до Северного Причерноморья. При этом, на метеостанции Одесса-порт были зафиксированы самые высокие за зимний период скорости ветра. Общая синоптическая ситуация над регионом по данным UKMO (United Kingdom Meteorological Office) www.metoffice.gov.uk представлена на рис. 1.

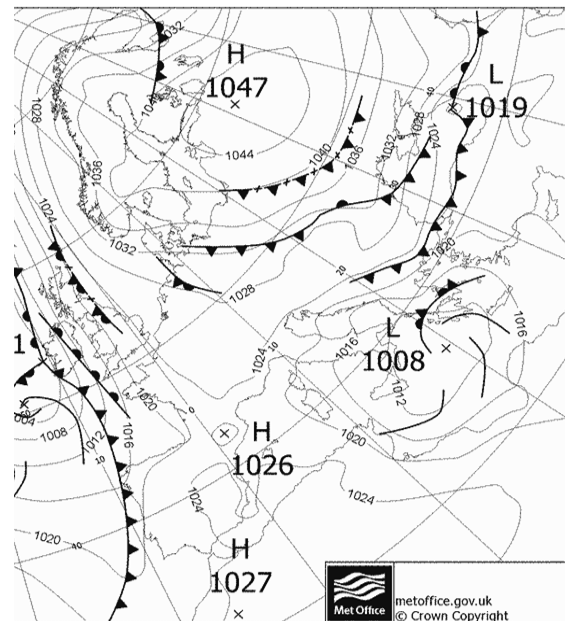


Рис. 1 - Синоптическая ситуация над Европой 13 января 2018 г.

На рис. 2 показано поле абсолютной скорости ветра на высоте 10 м над Черным морем на эту же дату с телескопизацией над северо-западным побережьем по результатам численного эксперимента с моделью высокого разрешения. Результаты моделирования показывают, что используемая конфигурация модели способна воспроизводить как возмущения в поле ветра над однородной и гладкой подстилающей поверхностью на региональном масштабе, так и мезомасштабные особенности динамики атмосферы в прибрежных районах. В первом случае, отчетливо прослеживается полоса ослабления ветра в восточном потоке с подветренной стороны Крымских гор, которая простирается на десятки километров в открытое море, при интенсификации потока по обе стороны от них. Далее по потоку прослеживаются мезомасштабные возмущения, обусловленные гидродинамической неустойчивостью атмосферного потока. Такая структура сохраняется в пределах всего пограничного слоя атмосферы (рис. 3).

Преимущество использования численных расчетов с использованием модели высокого разрешения еще более наглядно видно в прибрежных районах, где атмосферный поток взаимодействует с подстилающей поверхностью на границе раздела суша-море с учетом орографии, термических контрастов и других особенностей.

Например, над обширной акваторией Каркинитского залива скорость ветра изменяется в пределах от 7 до 12 м/с на расстоянии в несколько десятков километров (рис. 2).

Такая же изменчивость скорости ветра со скоростью 5 м/с наблюдается над значительно меньшей по размерам областью Днепробугского лимана. Кроме того, вдоль всей береговой линии, даже в районах с низменной орографией, таких как Северное Причерноморье, скорость ветра изменяется более, чем на 5 м/с на расстоянии в несколько километров, а возмущения в атмосферном потоке прослеживаются до высоты 500–600 м (рис. 4). На этом же разрезе к береговой линии в окрестности горловины Сухого лимана отчетливо прослеживается ось струйного потока мощностью около километра в верхней части пограничного слоя.

Наличие струйного течения над термически однородной морской поверхностью в слое 100–800 м (рис. 5) подтверждается на вертикальном профиле скорости ветра в точке Б рисунка 2а. При этом наблюдается однородное изменение температуры с высотой в пределах пограничного слоя, за исключением нижнего 200-метрового слоя у береговой черты. Здесь отмечается резкий перепад температуры (до 2°C) в приземном/приводном слое (рис. 6).

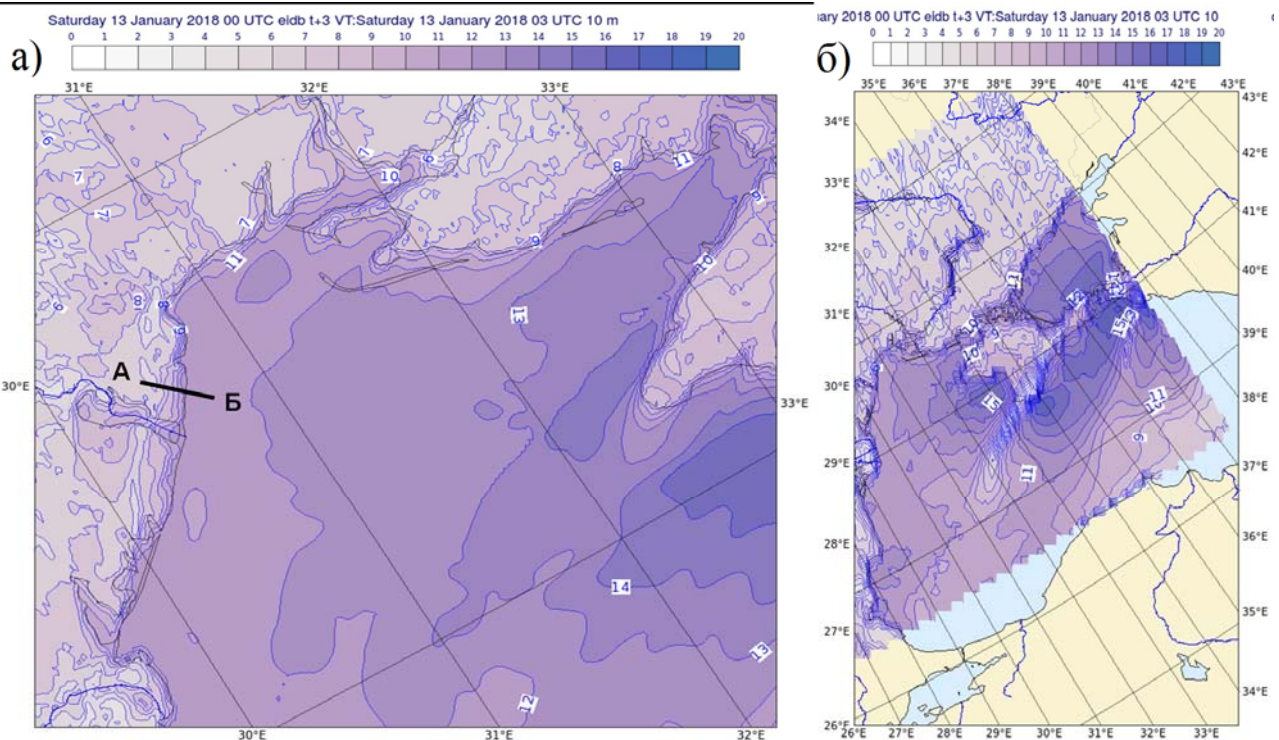


Рис. 2 - Поле ветра (модуль скорости, м/с) на уровне 10 м над Черным морем (а) с телескопизацией над его северо-западной частью (б) по результатам численного моделирования. АБ – линия разреза, вдоль которого проводились измерения вертикального профиля ветра

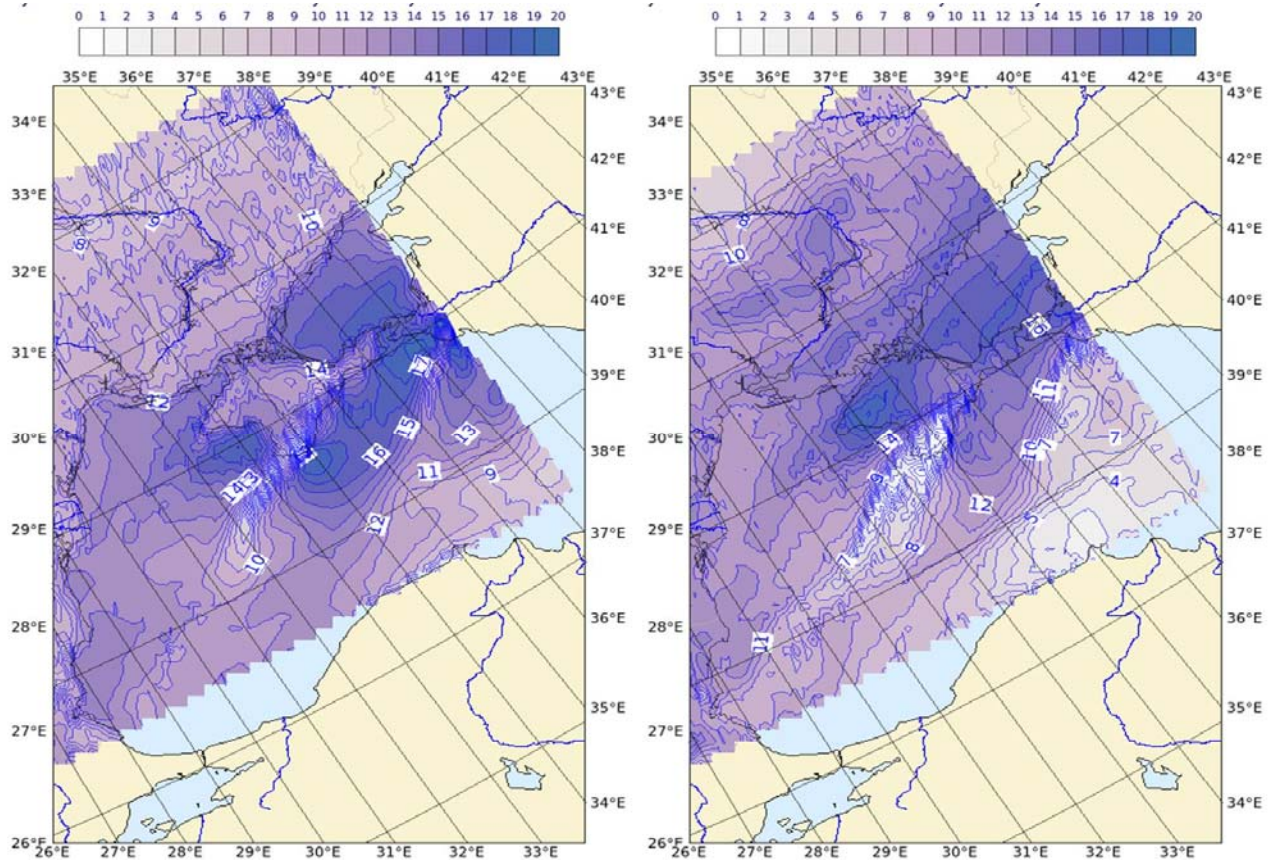


Рис. 3 - Поле ветра (модуль скорости, м/с) на высотах 100 и 1000 м над Черным морем

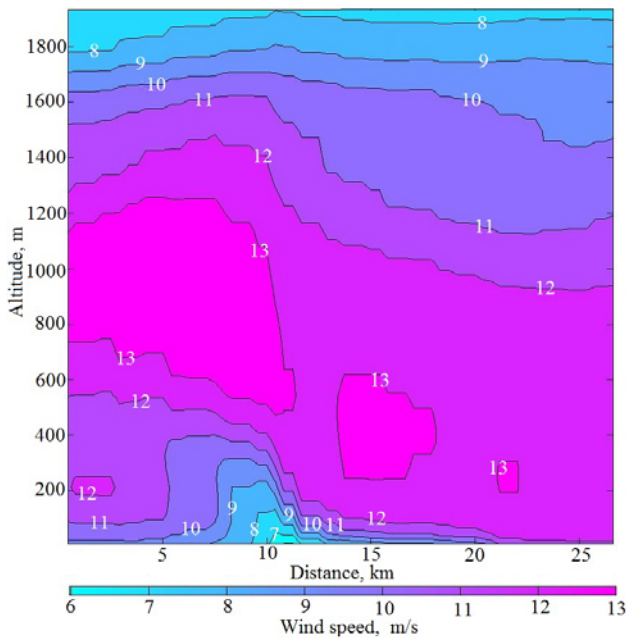


Рис. 4 - Вертикальный разрез скорости ветра (м/с) по линии АБ на рис.2

Очевидно, что, при такой сложной трехмерной структуре поля приводного ветра в областях со сложной конфигурацией береговой черты, воспроизведение локальной динамики вод с привлечением крупномасштабных полей метеорологических характеристик с грубым простран-

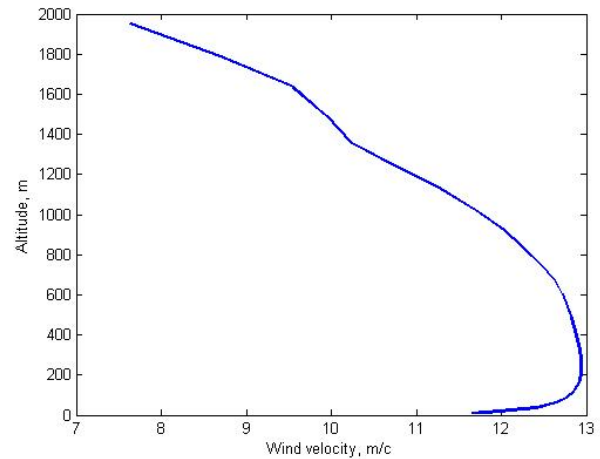


Рис. 5 - Профиль скорости ветра (м/с) в точке Б на рис.2

ственным разрешением, которые доступны на серверах оперативных прогностических центров для общего пользования, будет выполняться без учета особенностей местной атмосферной циркуляции, что влечет за собой значительную ошибку в расчетах гидрофизических полей. Более того, наличие мезомасштабной изменчивости атмосферных процессов лишает смысла проводить верификацию результатов численного моделирования по единичным буйковым наблюдениям с большой временной дискретностью. Для задач такого характера корректным можно

считать привлечение результатов специальных численных расчетов по атмосферной модели с пространственным и временным разрешением, близким к соответствующим параметрам модели морской среды.

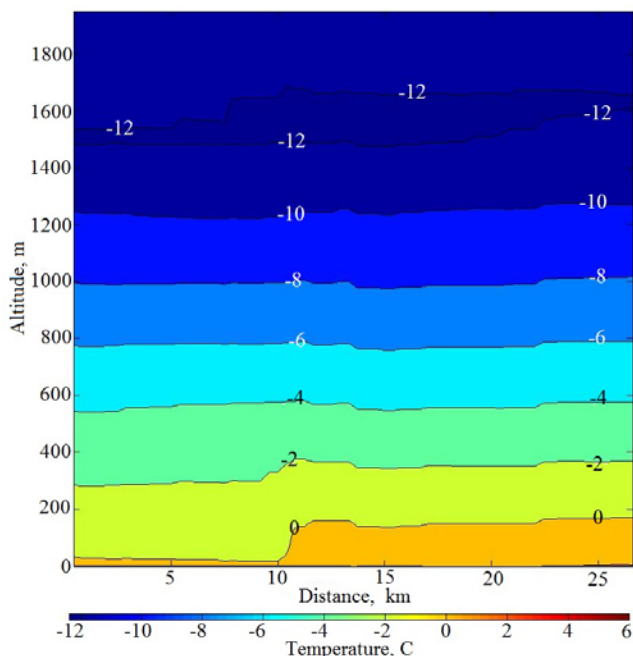


Рис. 6 - Вертикальный разрез температуры воздуха (°C) по линии АБ на рис.2

4. ВЫВОДЫ

Приведенные в статье характеристики моделирующей системы HARMONIE-AROME дают основания утверждать о преимуществах ее использования для воспроизведения условий на границе раздела «море-атмосфера» в задачах диагноза и прогноза состояния морской среды в прибрежных районах, по сравнению с другими существующими аналогами, в том числе, американским комплексом GFS/WRF.

Численные эксперименты по адаптации модели к прибрежным акваториям северо-западной части Черного моря показали возможность воспроизведения тонких особенностей трехмерной атмосферной циркуляции вдоль береговой черты, включая выделение струйного течения нижнего уровня, резкие термические градиенты на границе раздела подстилающих поверхностей различных типов и мезомасштабную изменчивость в поле приводного ветра в заливах. Последний фактор имеет особое значение для численного моделирования динамических процессов в морской среде, в том числе, вдольбереговых течений, транспорта наносов и распространения загрязняющих веществ, так как верхние граничные условия для гидродинамической мо-

дели задаются с высоким пространственным и временным разрешением, что уже на начальном этапе интегрирования модели позволяет учитывать мезомасштабные особенности полей ветра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андросович А. И., Михайлова Э. Н., Шапиро Н. Б. Численная модель и расчет циркуляции вод северо-западной части Черного моря. *Морской гидрофизический журнал*. 1994. № 5. С. 28–42.
2. Алаев В. Г., Рябцев Ю. Н., Шапиро Н. Б. Адаптационный расчет скорости течений на шельфе с помощью квазиизопикнической модели. *Морской гидрофизический журнал*. 1999. № 4. С. 64–79.
3. Алаев В. Г. Исследование сезонной изменчивости гидродинамических полей в северо-западной части Черного моря на основе изопикнической модели. *Морской гидрофизический журнал*. 2000. № 6. С. 5–17.
4. Иванов В. А., Рябцев Ю. Н. Анализ течений на северо-западном шельфе Черного моря. *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа*. 2002. Вып. 1(16). С. 17–25.
5. Тучковенко Ю. С. Математическая модель формирования термохалинной структуры и циркуляции вод в лиманах, приустьевых и шельфовых областях северо-западной части Черного моря. *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа*. 2003. Вып. 9. С. 138–154.
6. Hess, K.W. (1989). *MECCA Programs documentation: Technical Report / NOAA - NESDIS 46*. Washington, D.C.
7. Тучковенко Ю. С. Гидродинамическая модель для расчета трехмерной циркуляции и термохалинной структуры вод северо-западной части Черного моря. *Метеорология, климатология та гідрологія*. 2002. № 45. С. 129–139.
8. Вельтищев Н.Ф., Жупанов В.Д. Эксперименты по усвоению радиолокационной отражаемости в модели WRF ARW. *Метеорология и гидрология*. 2012, № 3, С. 5-19.
9. Вильфанд Р. Б., Ривин Г. С., Розинкина И. А. Мезомасштабный краткосрочный прогноз погоды в Гидрометцентре России на примере COSMO-RU. *Метеорология и Гидрология*. 2010. № 1. С. 5–17.
10. Baldauf, M., Seifert, A., Furstner, J. et al. (2011). Operational Convective-Scale Numerical Weather Prediction with the COSMO Model: Description and Sensitivities. *Monthly Weather Review*, 139(12), 3887-4905.
11. Baklanov, A., Tijm, S., Rontu, L. (2011). HIRLAM/HARMONIE-Atmospheric Chemical Transport Models Integration. In: Baklanov, A., Mahura, A., Sokhi, R. (Eds). *Integrated Systems of Meso-Meteorological and Chemical Transport Models*. Springer, pp. 215-228.
12. Braun, A., Milton, S., Cullen, M. et al. (2012). Unified modelling and prediction of weather and climate: A 25-year Journey. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 93(12), 1865-1877.
13. Davies, T., Cullen, M.J.P., Malcolm, A.J. et al. (2005). A new dynamical core for the Met Office's global and regional modelling of the atmosphere. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 131, 1759-178.
14. Fillion, L., Tanguay, M., Lapalme, E. et al. (2010). The Canadian Meteorological Center Limited-Area Regional

- Data Assimilation and Forecasting System. *Weather and Forecasting*, 25(6), 1645–1669.
15. Yang, D., Ritchie, H., Desjardins, S. et al. (2010). High-Resolution GEM-LAM Application in Marine Fog Prediction: Evaluation and Diagnosis. *Weather and Forecasting*, 25(2), 727-748.
 16. Ефимов В. В., Барабанов В. С., Крупин А. В. Моделирование мезомасштабных особенностей атмосферной циркуляции в Крымском регионе Черного моря. *Мор. гидрофиз. журнал*. 2012. № 1. С. 64-74.
 17. Bengtsson, L. et al. (2017). The HARMONIE-AROME Model Configuration in the ALADIN-HIRLAM NWP System. *Mon. Wea. Rev.*, 145, 1919-1935.
- REFERENCES**
1. Androsovich, A.I., Mikhailova, Je.N., Shapiro, N.B. (1994). [Numerical model and calculation of water circulation in the northwestern part of the Black Sea]. *Morskoy gidrofizicheskiy zhurnal [Marine hydrophysical Journal]*, 5, 28–42. (in Russ)
 2. Alaev, V.G., Ryabtsev, Ju.N., Shapiro, N.B. (1999). [Adaptive calculation of the current velocity for shelf with the use of a quasi-isopic model]. *Morskoy gidrofizicheskiy zhurnal [Marine hydrophysical Journal]*, 4, 64–79. (in Russ)
 3. Alaev, V.G. (2000). [Investigation of seasonal variability of hydrodynamic fields in the northwestern part of the Black Sea on the basis of the isopycnic model]. *Morskoy gidrofizicheskiy zhurnal [Marine hydrophysical Journal]*, 6, 5–17. (in Russ)
 4. Ivanov, V.A., Ryabtsev, Ju.N. (2002). [Analysis of the currents on the northwestern shelf of the Black Sea]. *Ekologicheskaya bezopasnost pribrezhnoy i shelfovoy zon i kompleksnoe ispolzovanie resursov shelfa [Ecological safety of coastal and the shelf zones and complex use of shelf resources]*, 16, 17-25. (in Russ)
 5. Tuchkovenko, Yu.S. (2003). [Mathematical model of thermohaline structure formation and water circulation in salt lakes, estuaries, near-estuaries and shelf areas of the northwestern part of the Black Sea]. *Ekologicheskaya bezopasnost pribrezhnoy i shelfovoy zon i kompleksnoe ispolzovanie resursov shelfa [Ecological safety of coastal and the shelf zones and complex use of shelf resources]*, 9, 138-154. (in Russ)
 6. Hess, K.W. (1989). *MECCA Programs documentation : Technical Report / NOAA. - NESDIS 46*. Washington, D.C.
 7. Tuchkovenko, Yu.S. (2002). [Hydrodynamic model for calculation of three-dimensional circulation and thermohaline structure of waters in the north-western part of the Black Sea]. *Meteorologhiia, klimatologhiia ta hidrologhiia [Meteorology, climatology and hydrology]*, 45, 129-139. (in Russ)
 8. Vel'tishchev, N.F., Zhupanov, V.D. (2012). [Experiments on the radar reflectivity data assimilation in the WRF-ARW model]. *Meteorologiya i gidrologiya [Meteorology and hydrology]*, 3, 5-19. (in Russ)
 9. Vil'fand, R.B., Rivin, G.S., Rozinkina, I.A. (2010). [Mesoscale weather short-range forecasting at the Hydrometcenter of Russia, on the example of COSMO-RU]. *Meteorologiya i gidrologiya [Meteorology and hydrology]*, 1, 5-17. (in Russ)
 10. Baldauf, M., Seifert, A., Furstner, J. et. al. (2011). Operational Convective-Scale Numerical Weather Prediction with the COSMO Model: Description and Sensitivities. *Monthly Weather Review*, 139(12), 3887-4905.
 11. Baklanov, A., Tijm, S., Rontu, L. (2011). HIRLAM/HARMONIE-Atmospheric Chemical Transport Models Integration. In: Baklanov, A., Mahura, A., Sokhi, R. (Eds). *Integrated Systems of Meso-Meteorological and Chemical Transport Models*. Springer, pp. 215-228.
 12. Braun, A., Milton, S., Cullen, M. et al. (2012). Unified modelling and prediction of weather and climate: A 25-year Journey. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 93(12), 1865-1877.
 13. Davies, T., Cullen, M.J.P., Malcolm, A.J. et al. (2005). A new dynamical core for the Met Office's global and regional modelling of the atmosphere. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 131, 1759-178.
 14. Fillion, L., Tanguay, M., Lapalme, E. et al. (2010). The Canadian Meteorological Center Limited-Area Regional Data Assimilation and Forecasting System. *Weather and Forecasting*, 25(6), 1645–1669.
 15. Yang, D., Ritchie, H., Desjardins, S. et al. (2010). High-Resolution GEM-LAM Application in Marine Fog Prediction: Evaluation and Diagnosis. *Weather and Forecasting*, 25(2), 727-748.
 16. Efimov, V.V., Barabanov V.S., Krupin A.V. (2012). [Modeling of mesoscale features of the atmospheric circulation in the Crimean region of the Black Sea]. *Morskoy gidrofizicheskiy zhurnal [Marine hydrophysical Journal]*, 1, 64–74. (in Russ)
 17. Bengtsson, L. et al. (2017). The HARMONIE-AROME Model Configuration in the ALADIN-HIRLAM NWP System. *Mon. Wea. Rev.*, 145, 1919-1935.

ADVANTAGES OF USING THE HARMONIE ATMOSPHERIC MESOSCALE MODEL FOR SIMULATING WATER DYNAMICS IN OFFSHORE AREA

S.V. Ivanov, I.G. Ruban, Y.S. Tuchkovenko

Odessa State Environmental University, 15 Lvivska str., 65016, Odessa, Ukraine, science@odeku.edu.ua

The convection-permitting Harmonie model is considered as a modeling component of the atmosphere-sea system. The role of the atmospheric model in the system is to create upper boundary conditions for marine environment model with high spatial (1-2.5 km) and temporal (from one minute to one hour) separating capacity. The research offers description of major modules which govern the configuration, spatial-temporal parameters of the atmospheric model and the way they are implemented in the High Performance Computing Facilities System (the HPCFS) of the European Center for Medium-Range Forecasting (the ECMWF). The use of the HPCFS and direct connection to global output data of the Integrate Forecasting System (the IFS) allows online performance of numerous calculations. The research shows the results of a

numerical experiment for the north-western part of the Black Sea and neighbouring continental regions during severe weather conditions with strong wind speeds in January 2018. The high resolution modeling demonstrated high performance parameters of the model when reproducing mesoscale features of the atmospheric circulation. They are as follows: division of two lower-level jets in the north-western atmospheric flow along the coast line; mesoscale offshore patterns associated with thermal contrast and wind shear over different surface types along the coastal area; weaker circulations over regional bays on lee sides. The advantages of the Harmonie model comparing other modeling systems when determining the upper boundary conditions for modeling of the marine environment over offshore regions are listed. In particular, the model has direct access to the ECMWF archive and IFS operational global model output data; assimilation methods use all data available for observation; numerous parameterization schemes can be tuned for different climate zones and specific areas; post-processing provides more than two hundreds of physical, dynamical and chemical output variables at different types of levels, such as isobaric surfaces, model levels, geometric altitudes; output format list includes grib, netcdf and simple text which allows use of results both for their further direct introduction into the marine model and plotting fields, cross-sections and profiles in the metview visualization package.

Keywords: Harmonie atmospheric model; upper boundary conditions; offshore regions; mesoscale circulation patterns; severe weather conditions

ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ АТМОСФЕРНОЇ МЕЗОМАСШТАБНОЇ МОДЕЛІ HARMONIE ДЛЯ ВІДТВОРЕННЯ ДИНАМІКИ ВОД У ПРИБЕРЕЖНИХ РАЙОНАХ МОРЯ

С. В. Иванов, І. Г. Рубан, Ю.С. Тучковенко

Одеський державний екологічний університет, вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, science@odeku.edu.ua

Конвективно-роздільна модель Harmonie розглядається як компонент моделювання у системі атмосфера-море. Роль атмосферної моделі в системі полягає у створенні верхніх граничних умов для моделі морського середовища з високою просторовою (1-2,5 км) і часовою (від хвилини до однієї години) роздільною здатністю. Представлено опис основних модулів, що регулюють конфігурацію, просторово-часові параметри атмосферної моделі та їх впровадження в систему високопродуктивних обчислювальних пристроїв (HPCFS) Європейського центру середньострокового прогнозування (ECMWF). Використання HPCFS та безпосереднє підключення до глобальних вихідних даних інтегральної системи прогнозування (IFS) дає змогу виконувати численні розрахунки в робочому режимі. Показані результати чисельного експерименту для північно-західної частини Чорного моря та сусідніх континентальних районів у суворих погодних умовах з сильними вітрами у січні 2018 року. Моделювання з високою роздільною здатністю продемонструвало добрі можливості моделі при відтворенні мезомасштабних особливостей атмосферної циркуляції. Серед них можна виділити такі: розділення двох струменів нижнього рівня в атмосферному потоці уздовж північно-західного узбережжя; мезомасштабні прибережні утворення, пов'язані з тепловим контрастом та зсувом вітру над різними типами поверхні в прибережній зоні; послаблення циркуляції вітру над регіональними затоками. Перераховані переваги моделі Harmonie у порівнянні з іншими моделюючими системами при визначенні верхніх граничних умов для моделювання морського середовища в прибережних регіонах. Зокрема, модель має прямий доступ до архіву ECMWF та операційній глобальній моделі IFS; асиміляційні методи використовують всі наявні для спостережень дані; численні схеми параметризації можуть бути налаштовані для різних кліматичних зон і окремих областей; пост-обробка забезпечує більше двох сотень фізичних, динамічних та хімічних вихідних змінних для різних типів рівнів, таких як ізобаричні поверхні, рівні моделі, геометричні висоти; список вихідних форматів включає типи даних у форматі grib, netcdf та простий текст, які дозволяють використовувати результати як для подальшого безпосереднього вводу їх у морську модель, так і для нанесення полів, розрізів та профілів у пакеті візуалізації metview.

Ключові слова: атмосферна модель HARMONIE; верхні граничні умови; прибережні акваторії; мезомасштабні особливості циркуляції; складні погодні умови

Подання до редакції : 19. 09. 2018

Надходження остаточної версії : 18. 10. 2018

Публікація статті : 29. 11. 2018

УДК 551.46

ПЕРСПЕКТИВИ ОБМІНУ МОРСЬКОЮ ТЕХНОЛОГІЄЮ В ГАЛУЗІ ЕКОЛОГО-ОКЕАНОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

О. А. Щипцов

Державна установа «Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України»,
просп. Академіка Глушкова, 42, 03187, Київ, Україна, oceanography@ukr.net

У статті розглянуто можливість застосування деяких критеріїв і керівних принципів Міжурядової океанографічної комісії (МОК) ЮНЕСКО з передачі морської технології з метою обміну сучасними морськими технологіями, що використовуються при проведенні наукових досліджень Чорного моря, на основі норм міжнародних конвенцій, резолюцій, документів Генеральної Асамблеї Організації Об'єднаних Націй і МОК ЮНЕСКО. Йдеться про результати Науково-практичного семінару «Міжнародне співробітництво в галузі морських наукових досліджень – важливий фактор здійснення розвитку чорноморських регіональних проектів Міжурядової океанографічної комісії ЮНЕСКО та Європейського Союзу», який відбувся в жовтні 2017 року в місті Києві.

Ключові слова: морська технологія; обмін технологіями; океанологія; океанографія; морські дослідження; Міжурядова океанографічна комісія.

1. ВСТУП

На сучасному етапі розвитку людства важливу роль у життєдіяльності країн світу відіграє Світовий океан, ресурси якого мають вирішальне значення для прискореного розвитку світової економіки та є важливим фактором геополітики.

Підтвердженням цьому є ряд міжнародних конвенцій, резолюцій, документів Генеральної Асамблеї Організації Об'єднаних Націй та Міжурядової океанографічної комісії (далі – МОК) ЮНЕСКО, а саме: Конвенція Організації Об'єднаних Націй з морського права 1982 року; Критерії і керівні принципи МОК з передачі морської технології, 2003 р. (резолюція ІОС-XXII-12); Стратегія МОК в області розвитку потенціалу, 2015 р. (документ ІОС/INF-1314); Резолюція Генеральної Асамблеї ООН «Світовий океан і морське право», 2016 р. (документ А/71/257); Глобальна доповідь про стан океанографії: стан справ з наукою про океан на світовому рівні МОК ЮНЕСКО, 2017 рік та ін.

На жаль, станом на сьогодні Україна недостатньо залучена в процеси наукового дослідження і використання ресурсів Світового океану. Покращити існуючу ситуацію можливо, наприклад, за рахунок активізації міжнародного співробітництва та отримання допомоги від світового співтовариства.

Мета цієї статті – розглянути перспективи та показати, закладені в міжнародних нормативно-правових документах, інструменти розвитку міжнародного співробітництва щодо наукового

дослідження Світового океану, у тому числі, шляхом обміну морською технологією, включаючи дослідження керівних принципів та критеріїв такого обміну.

2. ГЛОБАЛЬНА ДОПОВІДЬ ПРО СТАН ОКЕАНОГРАФІЇ

У робочому резюме «Глобальної доповіді про стан океанографії: стан справ з наукою про океан на світовому рівні» (“Global Ocean Science Report: The Current Status of Ocean Science around the World”) Міжурядової океанографічної комісії ЮНЕСКО [1], яка опублікована у 2017 році, зокрема, відзначається таке.

Доповідь є першою консолідованою оцінкою науки про Світовий океан і покликана показати сучасний стан науки про океан. В ній визначено і позначено в кількісних показниках елементи, що впливають на продуктивність і результативність науки про океан, такі як кадри, інфраструктура, ресурси, мережі і результати досліджень.

У доповіді наголошується, що загальноприйнятого визначення науки про океан не існує. Конвенція Організації Об'єднаних Націй з морського права 1982 р. не містить визначення морських наукових досліджень.

Відомо, що наука про океан включає в себе всі наукові дисципліни, пов'язані з дослідженням Світового океану: фізику, біологію, хімію, геологію, гідрологію, медико-санітарні дисципліни, соціальні науки, а також інженерію, гуманітарні науки і мультидисциплінарні наукові дослідження взаємозв'язків між людиною і оке-

аном. Наука про океан прагне досягнути механізму функціонування складних і багаторівневих соціально-екологічних систем і послуг, що вимагає проведення спостережень і мультидисциплінарних колективних досліджень.

Океанографія – це ресурсомістка наука.

Для проведення досліджень океану потрібні численний персонал і таке велике і дороге обладнання, як судна, океанічна (морська) інфраструктура і розташовані на березі лабораторії. Ці ресурси розподілені по всьому світу і включають в себе, наприклад, 784 морські станції, 325 дослідницьких суден і понад 3 800 буїв Арго.

Станом на сьогодні у світі працює щонайменше 325 дослідницьких суден довжиною від 10 м до більше ніж 65 м, деякі з яких були побудовані понад 60 років тому, тоді як інші перебувають в експлуатації менше 5 років. Середній вік національного флоту коливається від 25 років (Норвегія, Багамські Острови, Японія, Іспанія) до понад 45 років (Канада, Австралія, Мексика). Більше 40 % науково-дослідних суден головним чином проводять дослідження прибережних районів, а 20 % – глобальні дослідження.

Наука про океан носить міждисциплінарний характер.

Більша частина установ в області науки про океан охоплює кілька океанографічних дисциплін (39 %), тоді як менша частина безпосередньо зосереджена на спостереженнях (35 %) чи рибному промислі (26%).

Слід зазначити, що Глобальна доповідь про стан океанографії МОК ЮНЕСКО покликана сприяти міжнародному співробітництву і взаємодії в області науки про океан. Це допоможе виявити прогалини в організації і потенціалі наукової діяльності, напрацювати варіанти для оптимізації використання наукових ресурсів і розвитку пов'язаних з океаном наук і технологій за допомогою обміну досвідом та спільного використання інфраструктури, сприяння створенню потенціалу та передачі морської технології. Міжнародне співробітництво в галузі науки про океан відіграє найважливішу роль для нарощування обсягу наукових знань, розвитку науково-дослідного потенціалу та розширення передачі морської технології.

У доповіді також звучить заклик діяти, що передбачає [1]:

- надання підтримки глобальним, регіональним і національним центрам даних з метою ефективного, дійового управління, обміну океанографічними даними, а також заохочення відкритого доступу до них;

- прийняття і впровадження міжнародно ви-

знаних стандартів і передових методів управління та обміну даними, що дозволить створити більш ефективні і дійові глобальні, регіональні й національні центри океанічних даних. Статки від поточних і майбутніх океанічних досліджень можна примножити завдяки прийняттю і впровадженню політики відкритого доступу до наукових даних;

- спільне використання інфраструктури, розробка нових технологій дозволять скоротити витрати на польові експедиції та стимулювати науковий потенціал країн, що беруть участь у міжнародному співробітництві в рамках спільних проектів і експедицій в області науки про океан.

3. КРИТЕРІЇ І КЕРІВНІ ПРИНЦИПИ МОК З ПЕРЕДАЧІ МОРСЬКОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

Відомо, що «Критерії і керівні принципи МОК з передачі морської технології» [2] спрямовані на застосування положень Частини XIV (Розробка і передача морської технології) Конвенції Організації Об'єднаних Націй з морського права 1982 року [3].

Слід зазначити, що Резолюція «Світовий океан і морське право», прийнята Генеральною Асамблеєю Організації Об'єднаних Націй 23 грудня 2016 року [4] визначає таке:

- заохочення добровільної передачі технологій є важливим аспектом нарощування потенціалу в області морезнавства;

- рекомендує державам застосовувати «Критерії і керівні принципи Міжурядової океанографічної комісії з передачі морської технології» і нагадує про важливу роль секретаріату цієї Комісії у втіленні в життя Критеріїв і керівних принципів, їх популяризації;

- закликає до того, щоб держави самостійно чи у співпраці одна з одною або з компетентними міжнародними організаціями та органами продовжували прагнути до більш повного розуміння, пізнання океанів і глибоководного морського середовища, включаючи, зокрема, розміри, вразливість глибоководного біорізноманіття та екосистем, шляхом активізації своїх морських наукових досліджень відповідно до Конвенції;

- визнає необхідність більш глибокого розуміння джерел, обсягів, шляхів поширення, тенденцій, природи і наслідків засмічення моря, особливо бруктом і мікрочастинками пластмас, вивчення можливих заходів, найліпших існуючих методів і видів природоохоронної діяльності для запобігання накопиченню; для зменшення обсягу сміття в морському середовищі і вітає в

зв'язку з цим роботу, виконану в рамках Об'єднаної групи експертів з наукових аспектів забруднення морського середовища при провідній ролі МОК, і доповідь групи «Джерела, шляхи та наслідки потрапляння мікрочастинок пластмас в морське середовище: глобальна оцінка», і доповідь Директора-виконавця Програми Організації Об'єднаних Націй з навколишнього середовища про засмічування моря бруктом і мікрочастинками пластмас, в якій міститься огляд найбільш достовірних наявних знань і досвіду в цій галузі і рекомендуються подальші кроки щодо зниження забруднення моря пластмасами та їх мікрочастинками;

- стурбовано відзначає потенціал серйозних екологічних наслідків інцидентів із розливами нафти чи інцидентів із забрудненням небезпечними або шкідливими речовинами, наполегливо закликає держави згідно з міжнародним правом співпрацювати безпосередньо або за посередництвом компетентних міжнародних організацій, обмінюватися передовими напрацюваннями в таких областях, як захист морського середовища, охорона людського життя і здоров'я людей, запобігання інцидентів, екстрене реагування і пом'якшення наслідків; і висловлюється в зв'язку з цим за проведення наукових досліджень, в тому числі морських наукових досліджень, співпрацю в цій галузі для поглиблення розуміння наслідків розливів нафти і небезпечних і шкідливих речовин на морі;

- підкреслює, що важливо розширювати наукові знання про зону взаємодії «океан-атмосфера», в тому числі завдяки участі в програмах океанічних спостережень і в геоінформаційних системах (наприклад, в Глобальній системі спостережень за океаном, розвиток якої здійснює Міжурядова океанографічна комісія у співпраці з Всесвітньою метеорологічною організацією, Програмою ООН з навколишнього середовища), тим більше з урахуванням їх ролі в моніторингу, прогнозуванні змін і мінливості клімату, а також налагодженні і експлуатації систем попередження про цунамі.

Розглянемо можливість застосування деяких положень зазначених критеріїв і керівних принципів в галузі еколого-океанологічних досліджень.

Наведені нижче критерії та керівні принципи є найважливішим засобом сприяння створенню потенціалу з питань, пов'язаних з океаном і прибережними районами, на основі міжнародного співробітництва.

3.1 Морська технологія

Для «Критеріїв і керівних принципів МОК з передачі морської технології» морська технологія означає інструменти, обладнання, науково-дослідні судна, процеси та методології необхідні для набуття і використання знань з метою поліпшення вивчення і розуміння природи і ресурсів океану і, зокрема, Чорного моря.

У цьому сенсі «морська технологія» охоплює [2]:

- інформацію і дані про морські науки у зручному для користувача форматі;
- керівництва, керівні принципи, критерії, стандарти, довідкові матеріали;
- обладнання для взяття проб і розробки відповідної методології (наприклад, для взяття проб води, геологічних, біологічних, хімічних проб);
- засоби та обладнання для спостережень (наприклад, обладнання для дистанційного зондування, буї, мареографи, суднові та інші засоби для спостережень за океаном);
- обладнання для спостережень, аналізу та експериментальної діяльності на місцях і в лабораторіях;
- комп'ютери і комп'ютерне програмне забезпечення, включаючи моделі і методи моделювання;
- досвід, знання, навички, технічні/наукові/правові знання, досвід і аналітичні методи, що стосуються морських наукових досліджень і спостережень.

3.2 Критерії

Передача морської технології повинна дозволити всім зацікавленим сторонам на справедливій основі використовувати результати діяльності, пов'язаної з морськими науками з урахуванням таких критеріїв [2]:

- слід розробити конкретні правові, інституційні фінансові та наукові схеми з метою полегшення і посилення передачі морської технології, наприклад, на національному і регіональному рівнях;

- передача морської технології повинна здійснюватися на справедливих і розумних умовах. Як правило, така передача повинна здійснюватися безкоштовно або за зниженими цінами в інтересах країни-одержувача;

- при передачі морської технології належну увагу слід приділяти законним інтересам, включаючи, зокрема, права і обов'язки власників, постачальників і одержувачів морської технології;

- при передачі морської технології слід повною мірою використовувати переваги нових, існуючих або майбутніх схем співробітництва.

3.3 Керівні принципи передачі

Як приклад згадаємо рішення 22-ї сесії Асамблеї МОК (2003 р.) [5], яким затверджено політику МОК в області обміну океанографічними даними, що є підставою для держав-членів забезпечити своєчасний, вільний і безперешкодний доступ до всіх даних, пов'язаних з ними метаданих і продуктів, отриманих під егідою програм МОК (Основні положення цієї політики викладені в додатку до Резолюції (XXII-6).

Разом з тим, МОК, як компетентній міжнародній організації, що сприяє процесу передачі морської технології, доцільно здійснювати координацію механізму обміну і передачі морської технології також в рамках програми «Міжнародний обмін океанографічними даними та інформацією». Наявність зазначеного механізму обміну і передачі морської технології надасть зацікавленим користувачам в державах-членах прямий і швидкий доступ до відповідних джерел інформації, практичного досвіду і науково-технічних знань в області передачі морської технології, а також сприятиме ефективному науковому, технічному і фінансовому співробітництву з цією метою.

Зазначений механізм повинен включати такі компоненти, доступ до яких слід забезпечувати шляхом використання найбільш ефективних засобів комунікації:

- вивчення національних, субрегіональних і/або регіональних норм і положень, а також тематичні правові дослідження, що стосуються передачі морської технології і морських наукових досліджень;

- пропозиції щодо проведення досліджень на судах країн, наприклад, Чорноморського регіону;

- перелік урядових, неурядових або приватних структур, які зацікавлені взяти участь у передачі морської технології як донори. Такий перелік повинен включати інформацію про контактні координаційні центри, адреси, компетенцію, технологію, що передається, і в кінцевому підсумку вартість та умови передачі;

- створення сприятливих умов в рамках проєктів або ініціатив, пов'язаних з передачею морської технології;

- наявність зв'язків з національними, субрегіональними і/чи регіональними установами, центрами, що володіють інформацією, досвідом і

технічними знаннями, що представляють науковий інтерес для відповідного регіону;

- визначення джерел, наявності, вартості морської наукової і технічної інформації та даних для передачі в різних дисциплінах морських наук;

- створення реєстру морських науково-дослідних інститутів, що надають лабораторні засоби, обладнання і сприяють проведенню наукових досліджень, підготовці кадрів;

- складання списку наявних експертів/спеціалістів, які можуть надавати наукову і технічну допомогу;

- проведення навчально-практичних семінарів, симпозіумів та підготовчих курсів на глобальному, регіональному та субрегіональному рівнях.

4. НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ СЕМІНАР

Членство України в Міжурядовій океанографічній комісії ЮНЕСКО стратегічно орієнтоване на сприяння розширенню міжнародного співробітництва вітчизняних наукових і освітніх інституцій шляхом забезпечення їх участі у програмній діяльності організації. Зокрема, відповідними рішеннями Міжурядової океанографічної комісії ЮНЕСКО державам-членам МОК наполегливо рекомендовано всебічно сприяти проведенню наукових конференцій і семінарів з актуальних проблем океанографії, а також поширенню через належні канали інформації знань, які є результатом морських наукових досліджень.

У Концепції Стратегії МОК в області розвитку потенціалу [6] вказується, що МОК в рамках міжнародного співробітництва надає допомогу державам-членам у спільному досягненні цілей високого рівня МОК, приділяючи особливу увагу забезпеченню того, щоб всі держави-члени мали потенціал для їх реалізації. Зокрема, «цілі високого рівня» включають в себе розширення знань про нові проблеми науки про океан. Широкий спектр екологічних проблем, таких як нові забруднювачі, інвазійні види, морські відновлювальні джерела енергії, розширення та активізація використання морських ресурсів, сукупний вплив людської діяльності на морське середовище тощо, ставить під загрозу збереження і стійке використання морських просторів, екосистем [6]. Важливо поліпшити наше розуміння можливостей і змін, що відбуваються в Світовому океані, в тому числі в глибоководних районах. Роль МОК полягає в тому, щоб сприяти проведенню наукових досліджень, технічних

аналізів і узагальненню наукової інформації для ефективного вирішення цих нових проблем, проведення усвідомленої політики і своєчасного, транспарентного знаходження шляхів їх вирішення [6].

Керуючись зазначеними рекомендаціями МОК, Міжвідомча координаційна рада з питань морських досліджень МОН України та НАН України (далі – Рада) провела Науково-практичний семінар «Міжнародне співробітництво в галузі морських наукових досліджень – важливий фактор здійснення розвитку чорноморських регіональних проектів Міжурядової океанографічної комісії ЮНЕСКО та Європейського Союзу» (далі – Семінар), якій відбувся 19 жовтня 2017 року у Великому конференц-залі Національної академії наук України (м. Київ).

Безпосереднім організатором заходу виступила Державна установа «Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України» за сприянням Відділення наук про Землю Національної академії наук України, Державної установи «Інститут морської біології НАН України»,

Одеського національного університету ім. І. І. Мечникова та Одеського державного екологічного університету Міністерства освіти і науки України, а також Київської благодійної організації «Морський благодійний фонд».

Семінар проводився з метою обговорення перспектив спільних наукових розробок і спостережень Чорного моря, а також інших районів Світового океану в інтересах:

- ознайомлення колег з основними результатами морських наукових досліджень Чорного моря;
- об'єднання зусиль зі встановлення постійних наукових зв'язків;
- мобілізації знань, кадрових ресурсів для підтримки реалізації функцій МОК ЮНЕСКО;
- виявлення нових можливостей для участі в зміцненні співпраці в рамках МОК для розвитку потенціалу морської науки;
- забезпечення на регіональному, національному, індивідуальному рівнях координації співробітництва в рамках відповідних програм МОК;



Учасники науково-практичного семінару «Міжнародне співробітництво в галузі морських наукових досліджень – важливий фактор здійснення розвитку чорноморських регіональних проектів Міжурядової океанографічної комісії ЮНЕСКО та Європейського Союзу», (19 жовтня 2017 року, м. Київ).

- сприяння підготовці спільних грантових заявок.

Учасникам Семінару було рекомендовано керуватися основними положеннями робочого резюме Глобальної доповіді про стан океанографії: наприклад, «те, що доречно для океанів і морів, їх ресурсів і екосистемних послуг, також доречно для потенціалу науки про океан: неможливо управляти тим, що ще не виміряно».

Участь у семінарі взяли представники та провідні науковці установ і організацій Національної академії наук України, Міністерства освіти і науки України, Міністерства інфраструктури України, Міністерства екології та природних ресурсів України, ряд іноземних гостей (представники міжнародних проектів і відповідних зарубіжних наукових установ).

Зокрема, у роботі Семінару взяли участь провідні науковці установ, що працюють в галузі морських наук:

від Національної академії наук України:

Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна Національної академії наук України;

Інституту геологічних наук Національної академії наук України;

Державної наукової установи «Відділення морської геології та осадового рудоутворення Національної академії наук України»;

Державної установи «Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України»;

Державної установи «Інститут морської біології НАН України»;

Державної установи «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України»;

Державної установи «Інститут харчової біотехнології та геноміки НАН України»;

Українського гідрометеорологічного інституту Державної служби України з надзвичайних ситуацій та Національної академії наук України;

від Міністерства освіти і науки України:

Одеського національного університету імені І. І. Мечникова;

Одеського державного екологічного університету;

Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;

Державної установи «Національний антарктичний науковий центр»;

від Міністерства екології і природних ресурсів України:

Науково-дослідної установи «Український науковий центр екології моря».

За порядком денним Семінару розглядалися

такі питання:

- комплексні океанографічні дослідження Чорного моря: стан і перспективи використання сучасних морських технологій;

- можливість застосування деяких положень «Критеріїв і керівних принципів МОК з передачі морської технології».

Під терміном «морська технологія» слід розуміти сукупність інструментів, обладнання, науково-дослідних суден, процесів і методологій, необхідних для напрацювання і використання знань в інтересах поліпшення вивчення і розуміння природи, а також ресурсів морського середовища.

З вітальним словом до присутніх звернулися перший віце-президент НАН України академік НАН України А. Г. Наумовець, директор Департаменту науково-технічного розвитку Міністерства освіти і науки України кандидат економічних наук Д. В. Чеберкус. Вступну промову виголосив голова Міжвідомчої координаційної ради з питань морських досліджень МОН України та НАН України академік НАН України В. М. Єрмеєв. Презентував захід і представив присутніх гостей керівник семінару – директор Державної установи «Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України» доктор географічних наук, професор О. А. Щипцов.

З основною науковою доповіддю семінару «Комплексні океанографічні дослідження Чорного моря: стан і перспективи використання сучасних морських технологій» виступив директор Державної установи «Інститут морської біології НАН України» член-кореспондент НАН України Б. Г. Александров.

З доповідями також виступили старший науковий співробітник Національного інституту океанографії та експериментальної геофізики (Італія) доктор П. М. Пулен, менеджер з розвитку бізнесу в Україні, Білорусі, Грузії та Вірменії компанії Clarivate Analytics О. Сябрєнко, почесний президент Союзу портів Франції професор Ф. С. де Брюж'єр, аташе з питань наукового та університетського співробітництва посольства Франції в Україні С. Ріголле, заступник національного координатора з питань управління обміну океанографічними даними програми «Міжнародний обмін океанографічними даними та інформацією» МОК ЮНЕСКО, в.о. ученого секретаря Державної установи «Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України» Г. С. Стефанов.

Зокрема, Г. С. Стефанов презентував доповідь «Про можливість застосування деяких положень

«Критеріїв і керівних принципів МОК з передачі морської технології» з метою можливості обміну сучасними морськими технологіями, що використовуються при проведенні наукових досліджень Чорного моря в рамках Програми «Міжнародний обмін океанографічними даними та інформацією» МОК та проекту ODIN - Black Sea».

У ході пленарних дискусій Семінару вчені обмінялись науковою інформацією про актуальні пріоритети досліджень в галузі морської геофізики, морської метеорології та регіональної океанографії, морської геології та екології моря, а також можливість обміну сучасними морськими технологіями, що використовуються при проведенні наукових досліджень Чорного моря.

Виступили із доповідями, взяли участь в обговоренні питань порядку денного Семінару відомі українські вчені в галузі океанології, провідні наукові співробітники установ, що працюють у галузі морських наук: головний науковий співробітник Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна Національної академії наук України доктор геолого-мінералогічних наук, професор О. М. Русаков, директор Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України академік НАН України В. І. Старостенко, головний науковий співробітник Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України доктор геологічних наук, професор В. П. Кобольв, завідувач кафедри загальної та морської геології Одеського національного університету імені І. І. Мечникова доктор геолого-мінералогічних наук, професор В. В. Янко, керівник Відділення морської геології та осадового рудоутворення НАН України академік НАН України Є. Ф. Шнюков, перший заступник головного ученого секретаря НАН України член-кореспондент НАН України В. О. Смельянов, професор кафедри океанології та морського природокористування, проректор з наукової роботи Одеського державного екологічного університету доктор географічних наук Ю. С. Тучковенко, проректор з наукової роботи Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова доктор технічних наук, професор В. С. Блінцов, провідний науковий співробітник Українського гідрометеорологічного інституту ДСНС України та НАН України доктор географічних наук Ю. П. Ільїн, співробітник Українського гідрометеорологічного інституту ДСНС України та НАН України Г. В. Лаптев, директор Науково-дослідної установи «Український науковий центр екології моря» Міністерства екології та природних ресурсів України кандидат географічних наук

В. М. Коморін.

У ході Семінару вчені відзначили конструктивний принцип наукової діяльності в галузі океанології – систематичне проведення експедиційних досліджень з використанням науково-дослідних суден як невід’ємної складової фундаментальних і прикладних наукових досліджень морського середовища [7].

Наголошувалося, що для проведення повноцінних морських наукових досліджень українським вченим вкрай необхідне науково-дослідне судно [8].

Як подальший розвиток теми про можливість обміну сучасними морськими технологіями в ході роботи Семінару підписано Меморандум про взаєморозуміння в галузі морських досліджень і технологій між Інститутом океанології Болгарської академії наук і Державною установою «Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України». Також завідувач відділом океанських технологій Інституту океанології Болгарської академії наук доктор В. Марінова, академік НАН України В. М. Єремєєв, директор Державної установи «Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України» доктор географічних наук, професор О. А. Щипцов провели консультації щодо перспектив спільних болгарсько-українських морських експедиційних досліджень у Чорному морі на науково-дослідному судні «Академік» (прапор Болгарії) у червні-липні 2018 року.

У рамках програми заходу керівник Семінару – директор Департаменту науково-технічного розвитку Міністерства освіти і науки України кандидат економічних наук Д. В. Чеберкус та доктор географічних наук, професор О. А. Щипцов разом з паном професором Ф. С. де Брюж’єром та паном С. Ріголле, представниками української організації «Морський благодійний фонд» обговорили такі перспективи:

- співробітництво французьких та українських океанологів при спільній організації, фінансуванні та проведенні морських експедиційних досліджень, у тому числі, у водах Антарктики та Атлантики;

- задовольнити прохання української організації «Морський благодійний фонд» про можливість передачу Національній академії наук України одного з французьких океанографічних суден (зазначене прохання було викладено у зверненні організації «Морський благодійний фонд» на адресу посольства Франції в Україні у березні 2017 року).

Передбачається, що результатом роботи учасників Семінару буде оновлення міжнародних наукових зв'язків вчених нашої країни і океанологів Болгарії, Італії, Франції, що дозволить використати можливості та забезпечити, зокрема, інтеграцію України в:

- міжнародні програми МОК ЮНЕСКО (зокрема, Чорноморський регіональний проект Глобальної системи спостережень за океаном);

- Міжнародну комісію з наукових досліджень Середземного моря;

- Міжнародний орган з морського дна;

- Європейську Комісію (зокрема, Рамкову програму Європейської Комісії «Горизонт – 2020», Оперативну програму по Чорному морю “The Black Sea Basin Joint Operation Program”);

- Міжнародну комісію по захисту Чорного моря від забруднень;

- в наукові проекти програми НАТО «Наука заради миру і безпеки» тощо.

Учасники Семінару одностайно підтримали висновки Генеральної Асамблеї організації Об'єднаних Націй [4] про те, що:

- заохочення добровільної передачі технологій є важливим аспектом нарощування потенціалу в області морезнавства;

- міжнародне співробітництво в області науки про океан відіграє найважливішу роль для нарощування обсягу наукових знань, розвитку науково-дослідного потенціалу та розширення передачі морської технології.

5. ВИСНОВКИ

Станом на сьогоднішній день міжнародними нормативно-правовими актами передбачені механізми міжнародного співробітництва у сфері морських наукових досліджень. Зокрема, у зазначених документах значну увагу приділено питанню обміну морською технологією.

Застосування «Критеріїв і керівних принципів МОК з передачі морської технології» та участь українських вчених і наукових організацій у обміні морською технологією дозволить активізувати розвиток вітчизняної океанології та підвищити міжнародний авторитет України в сфері морських досліджень і технологій, а також використання ресурсів Світового океану.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Глобальна доповідь про стан океанографії : стан справ з наукою про океан на світовому рівні МОК ЮНЕСКО, 2017 рік. URL: <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002493/249373r.pdf> (дата звернення : 20.03.2018)
2. Критерії і керівні принципи МОК з передачі морської технології (Резолюція ІОС-XXII-12), 2003 р.

- URL: <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001298/129866r.pdf> (дата звернення : 20.03.2018)
3. Конвенція Організації Об'єднаних Націй з морського права 1982 року. URL: http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/995_057 (дата звернення : 20.03.2018)
4. Світовий океан і морське право (Резолюція Генеральної Асамблеї ООН, документ А/71/257), 2016 р. URL: <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N16/466/66/PDF/N1646666.pdf?OpenElement> (дата звернення : 20.03.2018)
5. *IOC Oceanographic Data Exchange Policy, 2003.* URL: <http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001305/130508e.pdf> (accessed : 20.03.2018)
6. *IOC Capacity Development Strategy (IOC Assembly Resolution XXVIII-2, Document IOC/INF-1314), 2015.* URL: <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002440/244047m.pdf> (accessed : 20.03.2018)
7. Гожи́к П. Ф., Єремєєв В. М., Коболєв В. П., Щипцов О. А. Комплексні міждисциплінарні дослідження Азово-Чорноморського басейну : підсумки та перспективи. *Геологія и полезные ископаемые Мирового океана.* 2016. № 2(44). С. 5-15.
8. Митропольський О. Ю., Половка С. Г. Науково-дослідний флот України (минуле, сучасне, майбутнє). Київ – Умань: РВЦ “Софія”, 2008. 166 с.

REFERENCES

1. *Global Ocean Science Report: The Current Status of Ocean Science around the World, 2017.* Available at: <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002493/249373e.pdf> (accessed 20.03.2018) (in Ukr)
2. *IOC Criteria and Guidelines on the Transfer of Marine Technology (Resolution IOC-XXII-12), 2003.* Available at: <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001298/129866e.pdf> (accessed 20.03.2018) (in Ukr)
3. *United Nations Convention on the Law of the Sea, 1982.* Available at: http://www.un.org/depts/los/convention_agreements/texts/unclos/unclos_e.pdf (accessed : 20.03.2018)
4. *Oceans and the law of the sea (UN General Assembly Resolution, document A/71/257), 2016.* Available at: <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N16/466/62/PDF/N1646662.pdf?OpenElement> (accessed : 20.03.2018) (in Ukr)
5. *IOC Oceanographic Data Exchange Policy, 2003.* Available at: <http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001305/130508e.pdf> (accessed 20.03.2018)
6. *IOC Capacity Development Strategy (IOC Assembly Resolution XXVIII-2, Document IOC/INF-1314), 2015.* Available at: <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002440/244047m.pdf> (accessed 20.03.2018)
7. Hozhyk, P.F., Yereimeiev, V.M., Koblelev, V.P., Shchypytsov, O.A. (2016). [Complex interdisciplinary Azov-Black Sea basin research: outcomes and perspectives]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Mirovogo okeana* [Geology and Minerals of the World Ocean], 2(44), 5-15. (in Ukr)
8. Mytropolskyi, O.Yu., Polovka, S.H. (2008). *Naukovodoslidnyi flot Ukrainy (yoho mynule, suchasne, maibutnie)* [Research Fleet of Ukraine (its past, present, future)]. Kyiv-Uman : RVTs “Sofiya”. (in Ukr)

PROSPECTS OF EXCHANGE OF MARINE TECHNOLOGY IN THE FIELD OF ECOLOGICAL AND OCEANOLOGICAL RESEARCH

O. A. Shchypstov

*State Institution "Scientific Hydrophysical Centre of the National Academy of Sciences of Ukraine",
42 Academician Glushkov av., 03187, Kyiv, Ukraine, oceanography@ukr.net*

"Global Ocean Science Report: The Current Status of Ocean Science around the World" published in 2017 by the Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO was a first consolidated assessment of the ocean science and was intended to show the current status of the science in question. One of the important points of the report was a statement that sharing infrastructure and development of new technologies will reduce the cost of field expeditions and stimulate the scientific potential of the countries participating in international cooperation.

The article studies the possibility of sharing marine technologies associated with marine research activities. It considers the possibility of application of some of the Criteria and Guidelines of the UNESCO Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC-UNESCO) when sharing the marine technology in the field of ecological and oceanographic research based on the provisions of international conventions, resolutions, documents of the United Nations General Assembly and IOC-UNESCO. Special attention is drawn to UN General Assembly Resolution "Oceans and the law of the sea" which mentions the issue of marine technology transfer.

The article studies the definition of the term "marine technology" in the context of the IOC's Criteria and Guidelines on the transfer of marine technology. It determines that the term "marine technology" covers a wide range of subjects including information and data, manuals, guidelines, criteria, standards, reference materials, observation facilities and equipment, computers and computer software, expertise, know-how and analytical methods related to marine scientific research and observation.

The article also presents the results of the scientific and practical seminar "International Cooperation in the Field of Marine Scientific Research – an Important Factor in the Development of Black Sea Regional Projects of the Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO and European Union" which took place in Kyiv on October 19, 2017.

Keywords: marine technology; technologies exchange; oceanology; oceanography; marine research; the Intergovernmental Oceanographic Commission.

ПЕРСПЕКТИВЫ ОБМЕНА МОРСКОЙ ТЕХНОЛОГИЕЙ В ОБЛАСТИ ЭКОЛОГО-ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

А. А. Щипцов

*Государственное учреждение «Научный гидрофизический центр Национальной академии наук Украины»,
просп. Академика Глушкова, 42, 03187, Киев, Украина, oceanography@ukr.net*

В статье рассмотрена возможность применения некоторых Критериев и руководящих принципов Межправительственной океанографической комиссии (МОК) ЮНЕСКО по передаче морской технологии в области эколого-океанологических исследований на основе использования международных конвенции, резолюций, документов Генеральной Ассамблеи Организации Объединенных Наций и МОК ЮНЕСКО. Освещены результаты научно-практического семинара «Международное сотрудничество в области морских научных исследований – важный фактор осуществления развития черноморских региональных проектов Межправительственной океанографической комиссии ЮНЕСКО и Европейского Союза», который состоялся 19 октября 2017 в Киеве.

Ключевые слова: морская технология; обмен технологиями; океанология; океанография; морские исследования; Межправительственная океанографическая комиссия.

Подання до редакції : 12. 12. 2017

Надходження остаточної версії : 23. 07. 2018

Публікація статті : 29. 11. 2018

УДК 504.064.4

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ОБРАЩЕНИЯ С ТВЕРДЫМИ БЫТОВЫМИ ОТХОДАМИ ПО ВЕЛИЧИНЕ ЭМИССИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

В. Ю. Приходько, Т. А. Сафранов, Т. П. Шанина

Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, Одесса, 65016, Украина, vks26@ua.fm

Сравнение различных вариантов обращения с твердыми бытовыми отходами (ТБО) по величине эмиссии парниковых газов является необходимым условием для разработки системы обращения с ТБО. Цель: сравнение различных методов обращения с твердыми бытовыми отходами (захоронение, компостирование, комплексная утилизация) по величине эмиссии парниковых газов, которые при этом образуются. При рассмотрении данных вариантов обращения с ТБО показано, что утилизация компонентов, которые содержат биодоступный углерод, методом анаэробной ферментации является наиболее оптимальным вариантом. Эмиссия парниковых газов в атмосферу практически исключается, так как при этом образуется биогаз, который может быть собран и утилизирован. За многолетний период, даже в случае двухэтапной комплексной утилизации, суммарная эмиссия парниковых газов будет ниже, чем при других методах обращения с органической частью ТБО. Также показано, что эмиссия парниковых газов при захоронении ТБО носит пролонгированный характер, а при компостировании их выделение происходит в значительно меньшие сроки, что необходимо учитывать при анализе перспектив решения проблемы ТБО.

Ключевые слова: твердые бытовые отходы, обращение с отходами, парниковые газы, биогаз, эмиссия.

1. ВВЕДЕНИЕ

Согласно Закону Украины «Об отходах» (1998), «обращение с отходами» – это действия, направленные на предотвращение образования отходов, их сбор, перевозку, хранение, обработку, утилизацию, удаление, обезвреживание и захоронение, включая контроль за этими операциями и наблюдение за местами удаления. Утилизация отходов – использование отходов в качестве вторичных материальных или энергетических ресурсов. Все операции с отходами, которые не приводят к утилизации, называются удалением. Наиболее распространенным вариантом удаления является захоронение отходов – окончательное размещение отходов при их удалении в специально отведенных местах или объектах с тем, чтобы длительное негативное воздействие отходов на окружающую среду и здоровье человека не превышало установленных нормативов [1]. Для твердых бытовых отходов (ТБО) основным методом обращения является захоронение (94%, по данным за 2015 г.). Остальные 6% ТБО были утилизированы: в основном, направлены на мусоропереработку, сожже-

ны и лишь незначительная часть направлена на компостирование [2]. Обращение с отходами рассматривается как источник эмиссии парниковых газов (ПГ) при составлении Национального Кадастра антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями ПГ в Украине (за разные годы), например, Кадастр за 2016 г. [3]. Основные процессы, для которых проводится инвентаризация выбросов ПГ [3]: удаление отходов, биологическая обработка отходов, инсинерация и открытое сжигание отходов, очистка и сброс сточных вод. Все эти процессы объединены в сектор «Отходы».

Характеристикой ТБО, которая определяет выбор методов обращения с ними, является морфологический состав. По мере увеличения «ассортимента» потребляемых товаров усложняется морфологический состав ТБО, в составе которых выделяется около 70 компонентов, которые условно можно объединить в группы (бумага и картон, полимерные отходы, биоорганические отходы, электронные отходы и т. д.). Морфологический состав ТБО характеризуется значительной вариабельностью, но основными

компонентами являются: биоорганические отходы (30%), бумага и картон (17%), полимеры (11%) [2]. Биоорганические отходы составляют треть от общего потока ТБО. К тому же, именно эти отходы являются источником биодоступного углерода, который при анаэробной деструкции в теле полигона ТБО переходит в ПГ (CH_4 , CO_2 и др.). ПГ также выделяются и при компостировании биоорганической составляющей ТБО. Однако не только биоорганическая часть ТБО является источником образования ПГ. Например, при сжигании общей массы ТБО или отдельных компонентов образуются продукты термической деструкции, часть из которых также является ПГ (табл. 1).

Таблица 1 – Образование парниковых газов при различных методах обращения с твердыми бытовыми отходами

Метод обращения	ПГ	Оценка выбросов по Кадастру (2016 г.) [3]	
		масса, тыс. т CO_2 -экв.	динамика 1990-2016 гг., %
Захоронение	<i>CH_4, CO_2, N_2O, НЛОС</i>	8231,30	25,96 ↑
Сжигание	<i>CO_2, N_2O, CH_4, C_mH_n</i>	11,32	68,7 ↓
Компостирование*	<i>CO_2, N_2O, CH_4, H_2O, C_mH_n</i>	34,68	0,9 ↑

Примечание: жирным курсивом выделены ПГ, которые определяются расчетными методами; * учитываются выбросы при компостировании не только части ТБО, но и различных отходов сельского хозяйства, древесины.

Таким образом, можно заключить, что основными процессами, которые приводят к образованию ПГ при обращении с ТБО, являются: анаэробная биодеструкция органических веществ и термическая деструкция углеродсодержащих веществ. Захоронение отходов является основным источником ПГ по причине распространенности этого метода обращения с ТБО в Украине. В секторе «Отходы» на захоронение приходится 66,57% выбросов ПГ (32,6% выбросов ПГ в секторе формируется за счет очистки сточных вод). В этой связи, сравнительная оценка различных методов обращения с ТБО по величине эмиссии ПГ, является *актуальной задачей*.

Целью данной работы является сравнение

различных методов обращения с ТБО (захоронения, компостирования и комплексной утилизации) по величине эмиссии ПГ, которые при этом образуются.

Объектом исследования является воздействие на окружающую природную среду при проведении основных методов обращения с ТБО. Предмет исследования – сравнительная оценка различных методов обращения с ТБО по величине эмиссии ПГ в атмосфере.

2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для сравнения захоронения и компостирования ТБО по величине эмиссии ПГ необходимо провести соответствующие расчеты. За основу приняты методики расчета, которые используются при составлении Национального Кадастра [3] и представлены в базовом нормативном документе – «Руководящих принципах национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК» [4]. В качестве объекта исследования нами выбраны различные модели обращения с ТБО в условиях Одесской области.

2.1 Оценка эмиссии ПГ при захоронении ТБО

Оценка эмиссии CH_4 из мест захоронения ТБО при составлении Национального Кадастра проводится по Национальной многокомпонентной модели на основе метода затухания первого порядка третьего уровня детализации (далее – Национальная модель). Образование CH_4 при захоронении ТБО, вывезенных за текущий и предыдущие годы, рассчитывается как

$$Q(t) = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n A \cdot k_j \cdot MWS_i \cdot MWS_{i,j} \cdot L_{0i,j} \cdot e^{-k_j \cdot (t-x)}, \quad (1)$$

где A – нормализующий множитель, который определяется по формуле (2)

$$A = (1 - e^{-k_j}) / k_j, \quad (2)$$

где k_j – постоянная темпов образования CH_4 для j -го компонента ТБО, год⁻¹ (табл. 2); MWS_i – общая масса ТБО, захороненных в год i , т/год; $MWS_{j,i}$ – содержание j -го компонента в ТБО в i -м году, %; t – расчётный год (если необходимо провести расчёты за один год, то $t=1$), год; x – период, за который вносятся данные, год; $L_{0j,i}$ – потенциал образования CH_4 в год i , т CH_4 /т ТБО

Таблица 2 – Характеристика биоразлагаемых компонентов твёрдых бытовых отходов [3-6]

Компонент	DOC_j , тС/тТБО	k_j , год ⁻¹		MWS_j , %	
		национальный уровень	региональный уровень	национальный уровень	региональный уровень
Бумага и картон	0,40	0,048	0,024	14,6	15,0
Текстиль	0,24	0,048	0,024	4,0	3,0
Пищевые отходы	0,15	0,110	0,120	33,1	35,0
Древесина	0,43	0,024	0,012	1,7	2,0
Садово-парковые отходы	0,2	0,07	0,06	3,8	10,0
Средства личной гигиены	0,24	0,048	0,120	1,1	–
Кожа, резина	0,39	0,048	0,012	1,7	2,0

Примечание: данные регионального уровня приведены на примере Одесской области.

$$L_{0i,j} = DOC_j \cdot DOC_F \cdot F \cdot 16/12 \cdot MCF_i, \quad (3)$$

где DOC_j – общее количество органического углерода, способного биологически разлагаться, в j -ой фракции, тС/тТБО; DOC_F – часть углерода, которая принимает участие в реакциях распада ($DOC_F = 0,5$); F – содержание метана в биогазе ($F = 0,5$); $16/12$ – коэффициент пересчёта углерода в метан; MCF_i – фактор коррекции образования метана, зависящий от условий захоронения ТБО.

Морфологический состав депонируемых ТБО является основным фактором, определяющим образование CH_4 в теле полигона. К компонентам, которые содержат биодоступный углерод, относят: бумага и картон, пищевые и садово-парковые отходы, древесина, текстиль, а также кожа, резина и средства личной гигиены. Все они различаются по содержанию биодоступного углерода (DOC_j), скорости разложения и продукции CH_4 (k_j) и содержанию в общей массе ТБО (MWS_j) (табл. 2). Например, пищевые отходы с наименьшим содержанием биоразлагаемого углерода, разлагаются быстрее всего. А такой компонент, как древесина, будет разлагаться медленнее, но, в конечном счете, продуцирует больше метана, чем пищевые отходы.

2.2 Оценка эмиссии ПГ при компостировании ТБО

Компостирование относится к методам биологической обработки отходов, при котором биодоступный углерод из отходов преобразуется

в продукты аэробной деструкции, прежде всего CO_2 . Однако CO_2 , который образуется при обращении с ТБО, имеет биологическое происхождение, поэтому не учитывается в Кадастре. При компостировании оцениваются выбросы других ПГ – CH_4 и N_2O . Выбросы данных веществ могут быть оценены с помощью метода по умолчанию на основании следующих уравнений:

$$Q_{CH_4} = M \cdot EF_{CH_4} \cdot 10^{-3} - R, \quad (4)$$

$$Q_{N_2O} = M \cdot EF_{N_2O} \cdot 10^{-3}, \quad (5)$$

где M – масса отходов, которые подаются на биологическую обработку, т; EF_{CH_4} та EF_{N_2O} – коэффициенты выбросов метана и закиси азота соответственно, г/кг отходов, R – масса рекуперированного CH_4 , т. Значения коэффициентов выбросов берутся по умолчанию для влажного вещества отходов: $EF_{CH_4} = 4$ г/кг отходов; $EF_{N_2O} = 0,3$ г/кг отходов [3, 4].

2.3 Оценка эмиссии ПГ при комплексной утилизации органической составляющей ТБО

Для потока легко разлагающейся органической фракции ТБО, которая отделяется из общего потока в момент образования, нами разработан способ комплексной утилизации, при котором её подвергают последовательной обработке: анаэробной ферментации с получением биогаза и твердого продукта (первый этап), затем полученный твердый продукт подвергают аэробному компостированию (второй этап) [7]. Технологическая схема реализации данного способа утили-

зации органических отходов и материальный баланс процесса представлены на рис. 1.

На первом этапе легкоразлагающиеся органические отходы подвергаются анаэробной ферментации с получением двух ликвидных продуктов: твердого продукта ферментации (органоминерального удобрения) и биогаза.

При наличии потребителей на все количество полученного органоминерального удобрения второй этап переработки можно не проводить. При отсутствии спроса на твердые продукты ферментации, они подлежат второму этапу переработки – аэробному компостированию. В результате этого уменьшается масса твердых продуктов ферментации, которые подаются на переработку, выходит один ликвидный целевой продукт – компост.

Дополнительным источником органического сырья могут быть легкоразлагающиеся промышленные отходы (например, от предприятий пищевой промышленности), сельскохозяйственные отходы и осадки общегородских очистных сооружений.

Что касается образования и эмиссии в атмосферу ПГ при реализации данной схемы комплексной утилизации легко разлагающихся органических отходов, то на первом этапе образуется биогаз (смесь таких ПГ, как CH_4 и CO_2), который используется в качестве энергоносителя, а это значит, что поступления ПГ в атмосферу не происходит (если не учитывать дальней-

шее поступление CO_2 при сжигании биогаза). Что касается второго этапа комплексной утилизации – аэробного компостирования – то при этом выделяются пары H_2O и CO_2 , которые относятся к ПГ, однако не учитываются в Кадастре на основании рекомендаций [4].

3. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Количественные оценки эмиссии ПГ при различных вариантах обращения с ТБО выполнены на примере Одесской области, на долю которой приходится около 9% от общего количества ТБО Украины. Проблема неэффективного обращения с ТБО является актуальной для Одесской области, где почти весь объем образовавшихся ТБО удаляется в специально отведенные места. Общее количество полигонов и свалок в 2016 г. составило 608 площадью 1274,9 га [5]. Для сравнения, в 2012 г. их насчитывалось 563 общей площадью 978,1 га. Объекты захоронения ТБО составляют примерно 0,03% территории области, характеризуются положительной динамикой в изменении их площади и количества [8]. Согласно Национальному докладу о состоянии окружающей природной среды в Украине за 2013 г., на территории Одесской области необходимо создать ещё 52 новых полигона ТБО общей площадью 119,38 га. Программа обращения с ТБО в Одесской области на 2013-2017 гг. ограничилась 40 новыми полигонами.

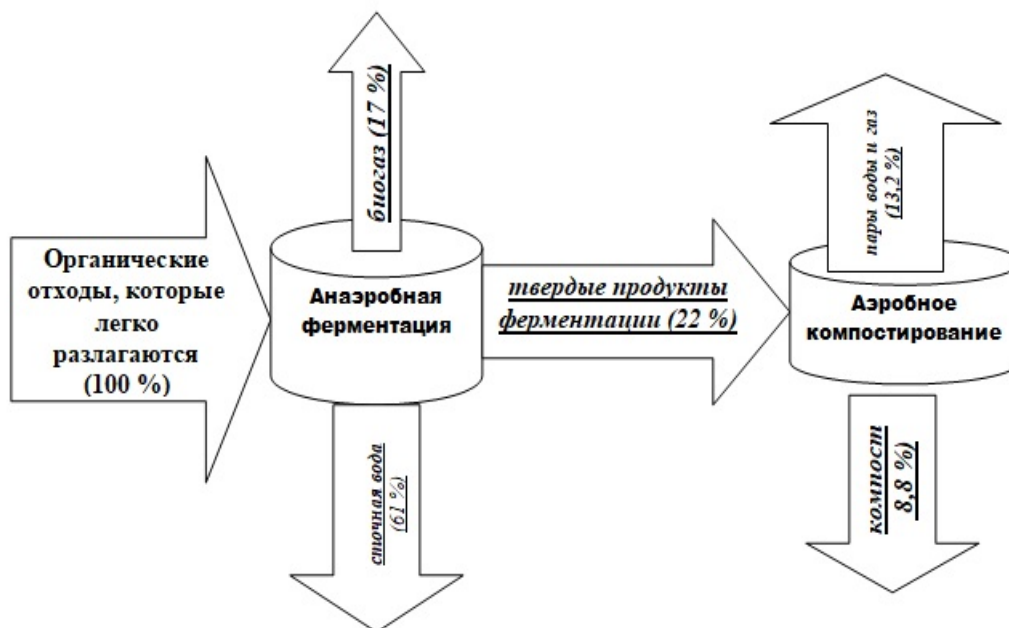


Рис. 1 – Схема комплексной утилизации легкоразлагающихся органических отходов

Наибольший полигон ТБО области, обслуживающий Одесскую агломерацию – Дальницкие карьеры – входит в семерку наиболее опасных полигонов ТБО Украины. Программой обращения с ТБО в Одесской области на 2013-2017 гг. предусматривалось: строительство новых полигонов (порядка 40); раздельный сбор; внедрение мусоросортировочных комплексов; строительство заводов по переработке ТБО (г. Измаил, г. Котовск). Но из-за отсутствия финансирования программа не была реализована. В настоящее время разрабатывается новый проект Программы обращения с ТБО в Одесской области на 2018-2022 гг. Согласно Отчету [5], в 2016 г. в Одесской области образовалось 922 тыс. т ТБО, из них 544,6 тыс. т были захоронены на Дальницких карьерах.

Анализ рассматриваемых расчетных методов оценки образования метана и других ПГ при захоронении, компостировании и комплексной утилизации органических отходов позволяет выделить существенное различие, которое влияет на результат расчета. Эмиссия CH_4 из мест захоронения ТБО происходит в течение длительного периода времени (до 50 лет, хотя расчетные модели рассчитаны на период 80 лет), что учитывается в расчетной формуле (1), тогда как эмиссия ПГ при других методах обращения с органическими отходами не учитывает период продуцирования, который не превышает 6 месяцев.

Действие мест захоронения носит пролонгированный характер, по сравнению с которым выделение ПГ при компостировании или комплексной утилизации происходит за короткий промежуток времени и рассчитывается без учета фактора времени.

Сравним выделение ПГ при захоронении и компостировании 1 тыс. т пищевых отходов. Расчеты проводились по формулам (1) - (5). При расчете эмиссии CH_4 из мест захоронения учитывались условия Одесской области (табл. 3).

Таблица 3 – Величина эмиссии парниковых газов при захоронении и компостировании 1 тыс. тонн пищевых отходов

Захоронение	Компостирование
3,16 т CH_4	4 CH_4 0,3 N_2O
66,36 т CO_2 -экв.	173 т CO_2 -экв.

Как видно из приведённых данных, спустя один год компостирование приводит к большему

выделению ПГ, чем захоронение пищевых отходов на свалках и полигонах. Однако при учете суммарной эмиссии CH_4 из мест захоронения отходов за период продуцирования (25-50 лет), которая примерно в 10-20 раз выше, чем за первый год, ситуация будет обратной: захоронение приведет к большему поступлению ПГ в атмосферу, чем компостирование.

Проведем сравнительную оценку образования ПГ при различных методах обращения с ТБО на примере Одесской области.

Расчеты образования CH_4 выполнены по Национальной модели с использованием уточнённых данных по морфологическому составу ТБО Одесской области [5] и других параметров, уточнение которых относительно региональных условий выполнено в работах [6, 9]. Оценка образования CH_4 и других продуктов деструкции отходов выполнена для массы ТБО, образующихся за один год, и не учитывает захоронение отходов за предыдущие годы.

Первый вариант обращения с ТБО состоит в размещении всей массы отходов на свалках и полигонах. Как видим, в следующем 2017 г., из этой массы в атмосферный воздух выделилось 1,66 тыс. т CH_4 .

Второй вариант заключается в компостировании части ТБО, а остальная часть размещается на свалках и полигонах области. По данным [3] определили, что в Украине компостированию подвергаются около 0,03% от общего количества образующихся ТБО. Предположим, что это садово-парковые отходы. В результате компостирования незначительного количества садово-парковых отходов выделилось 1,11 т метана и 0,08 т закиси азота. Оставшаяся масса ТБО при захоронении продуцирует 1,60 тыс. т CH_4 .

Как видим, снижение выбросов CH_4 при реализации второго варианта обращения с ТБО в Одесской области незначительно. Необходимо повысить количество исходного «сырья» для компостирования, а также его качество. Количество компонентов ТБО, которые содержат биодоступный углерод, колеблется от 52,9 до 67% (для Одесской области). Это означает, что любые методы утилизации органической составляющей ТБО, будь то компостирование, анаэробное сбраживание или комплексная утилизация, приведут к значительному снижению техногенной нагрузки, которая создается захоронением ТБО на свалках и полигонах. Но для эффективного использования ресурсного потенциала биоорганических отходов в составе ТБО необходимо их выделить из общего потока ТБО

с помощью отдельного сбора или не допустить смешения с общим потоком ТБО путем дифференциации. Это позволит повысить качество компоста и тем самым обеспечить рынки сбыта.

Рассмотрим реализацию принципа дифференциации потока ТБО согласно Концепции обращения с ТБО, которая разработана в ОГЭКУ. Согласно этой Концепции, общий поток отходов в момент их образования распределяется на следующие потоки: 1) органические вещества, легко разлагающиеся; 2) потенциальные вторичные материальные ресурсы (ВМР), в т. ч. инертные минеральные крупногабаритные отходы; 3) опасные отходы [10].

Таким образом, на начальном этапе жизненного цикла ТБО необходимо обеспечить отделение потока легко разлагающихся органических отходов в момент образования.

Преимуществом Концепции является то, что отделением легкоразлагающейся органической фракции из общего потока ТБО в момент ее образования, повышается ресурсная ценность как потока ВМР, так и продуктов биохимической переработки легкоразлагаемых органических отходов.

Рассмотрим третий вариант обращения с ТБО в Одесской области, при котором реализуется принцип дифференциации потока ТБО с отделе-

нием легко разлагающихся органических компонентов из общего потока в момент их образования: 100 % пищевых, садово-парковых отходов и древесины, а также некондиционная макулатура (15%). С учетом содержания таких компонентов в общей массе ТБО, для условий Одесской области получим 454085 т. Выделенная таким образом масса отходов подвергается компостированию или комплексной утилизации по схеме на рис. 1. Предположим, что оставшая часть компонентов, которые содержат биодоступный кислород (табл. 1), утилизируется, за исключением средств личной гигиены, кожи и резины, которые отправляются на захоронение. Материальные балансы данных вариантов обращения с органическими отходами, которые легко разлагаются, представлены на рис. 2.

Обобщим полученные результаты в табл. 4. Отметим, что, если не проводить второй этап комплексной утилизации органических отходов (см. рис. 1), то получим нулевую эмиссию ПГ (не учитывая технологические потери биогаза $\approx 5\%$). Поэтому применение анаэробной ферментации является наиболее предпочтительным. Второй этап комплексной утилизации – аэробное компостирование – проводят для уменьшения объема твердых продуктов при отсутствии рынков сбыта.

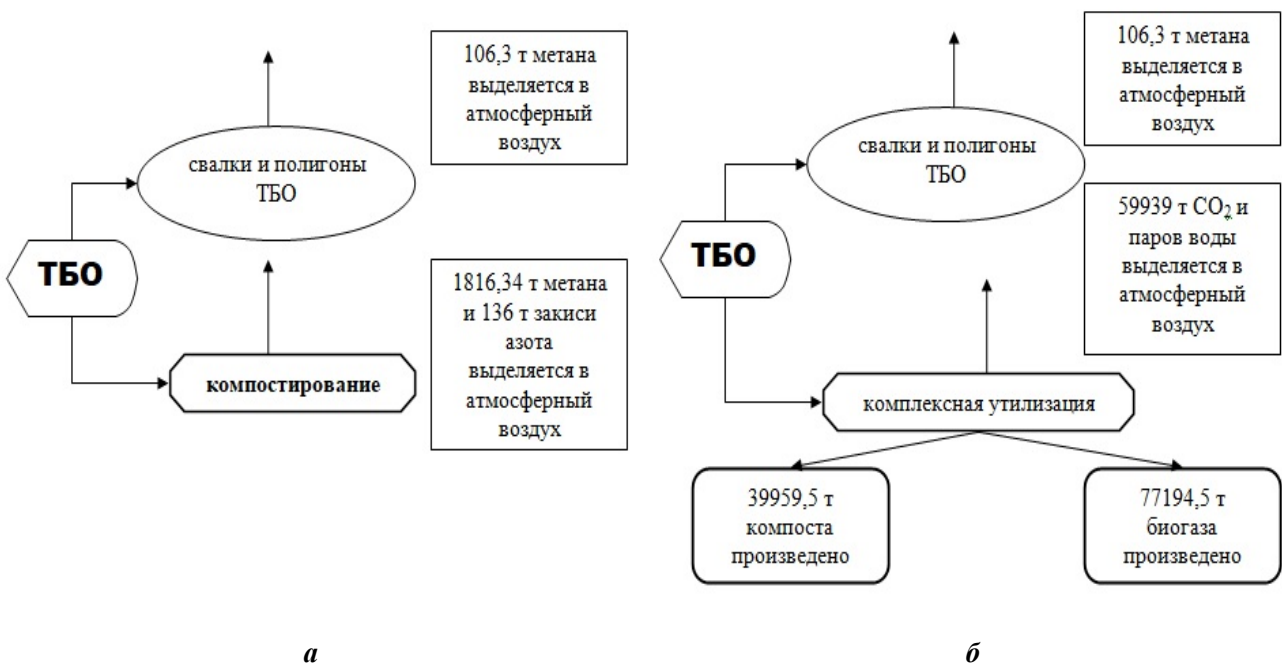


Рис. 2 – Материальные балансы разных способов обращения с легкоразлагающимися компонентами твёрдых бытовых Одесской области (а – с частичным компостированием садово-парковых отходов, б – с внедрением комплексной утилизации)

Таблица 4 – Оценка эмиссии парниковых газов (в тCO₂-экв) различных методов обращения с твёрдыми бытовыми отходами (для Одесской области)

Без дифференциации потока		С дифференциацией потока	
захоронение	захоронение + элементы компостирования	компостирование + захоронение	комплексная утилизация + захоронение
через 1 год			
34837	33546	82037	48813*
через 5 лет			
146682	146669	87914	48813*

Примечание: * при условии испарения всей образующейся при аэробном компостировании влаги.

Как видим из табл. 3, наименьшая эмиссия ПГ в тCO₂-экв. происходит при компостировании незначительной части садово-парковых отходов и захоронении оставшихся отходов. Учитывая пролонгированное действие мест захоронения отходов как источника ПГ, по величине суммарной эмиссии ПГ за пятилетний период, наименьшим значением характеризуется комплексная утилизация. За этот же период времени захоронение ТБО, даже с элементами компостирования, приведет к продуцированию ПГ в три раза большему, чем при комплексной утилизации.

Компостирование основной массы компонентов ТБО, содержащих биодоступный углерод, за исключением средств личной гигиены и кожи, резины, которые захораниваются, через один год приведет к эмиссии ПГ, которая почти в 2,5 раза больше, чем при захоронении всей массы отходов. Это можно объяснить более быстрой деструкцией отходов при их компостировании. Однако спустя пять лет ситуация меняется: суммарная эмиссия ПГ при захоронении в 1,5 раза выше, чем при компостировании с захоронением некоторой части ТБО.

4. ВЫВОДЫ

Утилизация компонентов ТБО, которые содержат биодоступный углерод, методом анаэробной ферментации практически исключает эмиссию ПГ в атмосферу, так как при этом образуется биогаз, который может быть собран и утилизирован. За многолетний период, даже в случае двухэтапной комплексной утилизации, суммарная эмиссия ПГ при этом будет ниже, чем при других методах обращения с органической частью ТБО. Отметим, что эмиссия ПГ при захоронении носит пролонгированный характер, а при компостировании выделение ПГ происходит в значительно меньшие сроки, что необходимо учитывать при анализе перспектив решения

проблемы ТБО.

При сравнении вариантов обращения с ТБО на основе расчетных методов, которые используются при составлении Национального Кадастра, учитываются только те ПГ, для которых предложены расчетные методы. Например, при компостировании отходов выделяется углекислый газ, который в секторе «Отходы» не учитывается (соответственно, нет методики расчета).

Непроработанным является вопрос о поступлении, при различных методах обращения с ТБО, паров воды, обладающих парниковым эффектом. Спорным является факт отнесения резины к компонентам, которые содержат биодоступный углерод. *Всё это определяет перспективы дальнейших исследований в данном направлении.*

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Про відходи : Закон від 5.03.1998 № 187/98-ВР. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/187/98-%D0%B2%D1%80> (дата звернення: 26.04.2018)
2. Проект Національної стратегії поводження з відходами. Додаток 1. Муніципальні відходи / Мінприроди України. URL: <https://menr.gov.ua/content/tehnichna-redakciya-proektu-nacionalnoi-strategii-povodzhennya-z-vidhodami-dlya-podalshogo-gromadskogo-obgovorennya.html> (дата звернення 26.04.2018)
3. *Ukraine's Greenhouse Gas Inventory Report 1990-2016*. (2017). Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine. Kyiv. URL: https://menr.gov.ua/files/docs/Zmina_klimaty/kadastr2016/ukr-2018-nir-23may18.zip. (accessed 12.10.2018)
4. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК, 2006. Т. 5. Отходы. URL: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/vol5.html> (дата обращения 26.04.2018)
5. Звіт з аналізу існуючого стану системи поводження з ТПВ в Одеській області за 2013-2017 рр. / ТОВ ЕСКО «Екологічні системи». 2017. 37 с.
6. Сафранов Т. А., Приходько В. Ю., Шанина Т. П. Оценка эмиссии парниковых газов из мест захоронения ТБО: критический анализ методик и адаптация к условиям Одесской области. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2017. № 21. С. 5-14.
7. Спосіб комплексної утилізації твердих побутових відходів: пат. 58436 Україна: МПК(2011.01) B09B3/00 № u 2010 11798 заявл. 5.10.2010; опубл.11.04.2011,

- Бюл. №7. 8 с.
8. Сафранов Т. А., Приходько В. Ю., Шанина Т. П. Проблема розміщення відходів на звалищах та полігонах Одеської області. *Вісник Харківського національного університету ім. В. Н. Каразіна*. 2016. Вип. 14. С. 83-90.
 9. Приходько В. Ю., Сафранов Т. А., Шанина Т. П. Определение эмиссии парниковых газов из мест захоронения твердых бытовых отходов. *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*. 2018. Том XXIX. №1. С. 32-47. DOI: 10.21513/0207-2564-2018-1-32-47.
 10. Сафранов Т. А., Губанова Е. Р., Шанина Т. П., Приходько В. Ю. Оптимизация системы управления и обращения с муниципальными отходами в контексте устойчивого развития урбанизированных территорий. *Устойчивое развитие*. 2014. № 16 (март). С. 11-18.
 4. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 5. Waste. Available at: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol5.html> (accessed 17 January 2017).
 5. Sposib kompleksnoi utylizatsii tverdykh pobutovykh vidkhodiv. [The way of complex recovery of municipal solid waste]. Patent Ukr. no. 58436]. (in Ukr).
 6. Zvit z analizu isnuiuchoho stanu systemy povodzhennia z TPV v Odeskii oblasti za 2013-2017 rr. [Report on the analysis of the existing state of the waste management system in the Odessa region, 2013-2017 years]. TOV ESKO "Ekologichni systemy". (In Ukr.).
 7. Safranov, T.A., Prykhodko, V.Ju., Shanina, T. P. (2016). [The waste development of the rubbish dumps and polygons in Odessa oblast]. *Visnyk Kharkivskogo natsionalnoho universytetu im. V.N. Karazina [Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv national university]*, 14, 83-90. (in Ukr).
 8. Safranov, T.A., Prikhodko V.Yu., Shanina, T.P. (2017). [Estimation as emission of greenhouse gases emission from the sites of municipal solid waste disposal: a critical analysis of methods and adaptation to the conditions of the Odessa region]. *Visnyk Odeskogo derzhavnogo ekologičnogo universitetu [Bulletin of Odessa state environmental university]*, 21, 5-14. (in Russ).
 9. Prykhodko, V.Yu., Safranov, T.A., Shanina, T.P. (2018). [The definition of greenhouse gases emission from sites of municipal solid waste disposal]. *Problemy jekologicheskogo monitoringa i modelirovanija ekosistem. [Problems of ecological monitoring and ecosystem modeling]*, XXIX (01), 32-47. DOI: 10.21513/0207-2564-2018-1-32-47. (in Russ).
 10. Safranov, T.A., Gubanova, E.R., Shanina, T.P., Prikhodko, V.Yu. (2014). [Optimization of municipal waste management and treatment system in the context of urban areas sustainable development]. *Ustoychivoe razvitie [Sustainable development]*, 16, 11-18. (in Russ).

REFERENCE

COMPARATIVE ASSESSMENT OF DIFFERENT MUNICIPAL SOLID WASTE TREATMENT METHODS BASED ON GREENHOUSE GASES EMISSION VALUES

V. Yu. Prykhodko, T. A. Safranov, T. P. Shanina

Odessa State Environmental University,
15, Lvivska St., 65016 Odessa, Ukraine, vks26@ua.fm

The research is aimed at comparing different methods of municipal solid waste treatment (waste burial, composting, complex recycling) depending on the values of generated greenhouse gases. In order to compare waste burial and composting of municipal solid waste based on amount of generated greenhouse gases the calculation methods used for compiling the National Inventory, were taken. The mass balance method was used to estimate the output of a product of complex recycling. The municipal solid waste components differ by amount of degradable organic carbon and decomposition rate but have the largest mass. The municipal solid waste treatment techniques consist in placing such waste at landfills and dumps which are sources of environmental pollution, for example, by greenhouse gases. There are other organic waste treatment methods, such as composting via different technologies, burning, recycling etc. But all of them are also associated with greenhouse gases emission. Easily decomposed organic waste can be used for production of organic fertilizers, but a mandatory requirement, that is separation from the general municipal solid waste stream at the time of waste production, should be complied with. A complex recycling of easily decomposed organic waste, including anaerobic and aerobic composting is offered as an efficient way of waste management. The article presents a comparative analysis of various methods of municipal solid waste treatment based on the amount of greenhouse gases emitted in the Odessa Region. It considers three waste treatment approaches: all waste mass is to be placed at landfills and dumps, composting of some of park and garden waste and burial of other components, complex recycling of food, park and garden waste and some of paper waste according to the developed scheme. Complex recycling offers the least value of total greenhouse

gases emission over a five-year period whereas waste disposal is characterized by the highest value thereof. The complex recovery of components containing bioavailable organic carbon through anaerobic fermentation method excludes emission of greenhouse gases into the atmosphere, as the biogas produced can be collected and extracted. However, over a long period, even after two-stage complex recycling, the total emission of greenhouse gases will be lower comparing to other methods of easily decomposed organic waste treatment. Emission of greenhouse gases in case of waste disposal has a prolonged nature whereas emission of greenhouse gases in case of composting occurs within a short period of time which should be taken into account when analyzing the prospects of solving the municipal solid waste problem.

Keywords: municipal solid waste, waste treatment, greenhouse gases, biogas, emission.

ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА РІЗНИХ МЕТОДІВ ПОВОДЖЕННЯ З ТВЕРДИМИ ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ ЗА ВЕЛИЧИНОЮ ЕМІСІЇ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ

В. Ю. Приходько, Т. А. Сафранов, Т. П. Шанина

Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, vks26@ua.fm

Метою дослідження є порівняння різних способів поводження з твердими побутовими відходами (видалення відходів, компостування, комплексне відновлення) з точки зору викидів парникових газів. Для порівняння видалення та компостування муніципальних твердих побутових відходів за обсягами викидів парникових газів були застосовані методи розрахунків, які використовувались при складанні Національного кадастру. Для оцінки продуктів комплексної утилізації відходів використовувався метод масового балансу. Компоненти твердих побутових відходів розрізняються за кількістю органічного вуглецю, що здатний до біорозкладання, і швидкістю їх розкладання, але є найбільшими за масою. Муніципальна практика поводження з твердими побутовими відходами полягає у тому, що вони видаляються на сміттєзвалища і полігони, які є джерелами забруднення навколишнього середовища, наприклад, парниковими газами. Існують і інші методи обробки органічних відходів, такі як компостування за різними технологіями, спалювання, утилізація тощо. Але всі вони також супроводжуються викидом парникових газів. Органічні відходи, що легко розкладаються, можуть використовуватися для виробництва органічних добрив, але необхідною умовою для цього є їх відокремлення від загального потоку твердих побутових відходів в момент утворення відходів. В якості ефективного способу поводження з відходами пропонується комплексна утилізація органічних відходів, які легко розкладаються, що включає анаеробне та аеробне компостування. Наведено порівняльний аналіз різних методів поводження з твердими побутовими відходами за обсягами викидів парникових газів на прикладі Одеської області. Ми розглянули три способи поводження з відходами: вся маса відходів розміщується на звалищах і полігонах, компостування частини садово-паркових відходів із захороненням інших компонентів, комплексна утилізація харчових, садово-паркових відходів та частини паперових відходів за розробленою схемою. За отриманими показниками загального обсягу викидів парникових газів протягом п'яти років найнижчі значення характерні для комплексної утилізації. Найбільше викидів парникових газів відбувається при захороненні відходів. Комплексна утилізація компонентів, що містять біодоступний органічний вуглець, методом анаеробної ферментації усуває викиди парникових газів в атмосферу, оскільки виробляється біогаз, який можна збирати та використовувати. За багаторічний період, навіть у разі двоетапної комплексної утилізації, сумарна емісія парникових газів буде нижче, аніж за інших методів поводження з органічною частиною твердих побутових відходів. Також показано, що емісія парникових газів при захороненні ТПВ носить пролонгований характер, а при компостуванні виділення їх відбувається в значно менші терміни, що необхідно враховувати при аналізі перспектив вирішення проблеми ТПВ.

Ключові слова: тверді побутові відходи, поводження з відходами, парникові гази, біогаз, емісія.

Подання до редакції : 10. 09. 2018
Надходження остаточної версії : 26. 10. 2018
Публікація статті : 29. 11. 2018

УДК 504.4

ОЦІНКА РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ ВОД ОЗЕРА ЯЛПУГ ЯК ОБ'ЄКТА РИБОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

А. В. Чугай, О. В. Деревенська

Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, Одеса, 65016, Україна, avchugai@ukr.net

Основною причиною незадовільної якості природних вод є їх забруднення через скидання великої кількості стічних вод, в багатьох випадках з перевищенням нормативів для скиду. В багатьох регіонах країни очисні споруди є застарілими і не в змозі перешкодити надходженню у воду забруднюючих речовин. Важливою ця проблема є і для Одеської області. В роботі надається оцінка і аналіз рівня забруднення вод оз. Ялпуг як об'єкта рибогосподарського призначення. При виконанні роботи використані матеріали Болградського міжнародного відділу лабораторних досліджень, а також дані власних досліджень. Для оцінки якості вод застосована методика оцінки якості поверхневих вод суші за гідрохімічними показниками (методика Гідрохімічного інституту). Оцінка якості вод оз. Ялпуг вперше виконана за багаторічний період, що є елементами наукової новизни одержаних результатів.

Ключові слова: забруднення, оцінка якості, комбінаторний індекс забруднення, створ.

1. ВСТУП

Ялпуг – озеро лиманного типу, найбільше природне прісноводне озеро в Україні. Загальна площа оз. Ялпуг складає 16000 га. Загальна довжина – 39 км, ширина – до 15 км, площа – 149 км², середня глибина – близько 2 м, максимальна – 5,5 м. Територіально озеро розташовано у Болградському, Ізмаїльському і Ренійському районах Одеської області [1].

У південній частині Ялпуг протокою сполучений з оз. Кугурлуй. У найвужчому місці протоки в 70-х роках ХХ ст. споруджено дамбу з мостом в середній частині, по якій прокладено дорогу Ізмаїл – Рені. Після прокладки дамби водообмін між оз. Ялпуг і оз. Кугурлуй скоротився майже на третину, що підвищило ступінь забруднення Ялпуга. Водне живлення озера здійснюється, головним чином, за рахунок водообміну з оз. Кугурлуй; з півночі впадає р. Ялпуг, з північного сходу підходить невелика р. Карасулак, яка впадає в Ялпуг біля с. Криничне (Болградський район). Також деякий вплив на водний баланс має стік дощових вод по системі яруг, що сходяться до Ялпуга. Мінералізація води озера – до 1–1,5 г/дм³ [1].

Ялпуг у природному стані – багата на іхтіофауну водойма (до 40 видів риб). На північному березі Ялпуга при впадінні р. Ялпуг знаходиться м. Болград, для якого озеро є єдиним джерелом питної води [1].

Питання оцінки якості вод оз. Ялпуг, його со-

льового режиму, розробки заходів щодо оптимального режиму функціонування розглядалися багатьма вченими [2–5].

Основними причинами, які впливають на погіршення водогосподарського та, в цілому, екологічного стану оз. Ялпуг, є недостатній водообмін озера з р. Дунай та його замулення, руйнування берегів озера, відсутність прибережних захисних смуг, надходження забруднених вод р. Ялпуг з території Молдови тощо.

Метою даної роботи є оцінка і аналіз рівня забруднення вод оз. Ялпуг як об'єкта рибогосподарського призначення.

2. ВИХІДНІ ДАНІ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для аналізу були використані матеріали Болградського міжнародного відділу лабораторних досліджень за 2003–2017 рр. У роботі [6] була надана гідрохімічна характеристика оз. Ялпуг за багаторічний період.

Оцінка рівня забруднення вод виконувалась по шести показникам складу та властивостей вод (сухий залишок, кальцій, магній, залізо загальне, хлориди, сульфати) по трьом створам: «вершина», «водозабір», «13-й км».

Оцінку якості вод можна проводити на основі розрахунку різних показників, а саме індексу забруднення води [7], комплексного показника екологічного стану [8], а також екологічного індексу згідно [9, 10]. Нами була застосована

методика оцінки якості поверхневих вод суші за гідрохімічними показниками (методика Гідрохімічного інституту) [7]. Якість води згідно методики визначається через комплексний показник, який називається комбінаторним індексом забруднення (*KIЗ*)

$$KIЗ = \sum_{i=1}^n S_i, \quad (1)$$

де S_i – загальний оціночний бал, отриманий шляхом перемноження показника повторюваності випадків перевищення *ГДК* і показника кратності перевищення *ГДК*.

Із загального числа врахованих інгредієнтів і показників якості води визначаються лімітуючі показники забруднення (*ЛПЗ*). Величина сумарного оціночного балу за таким інгредієнтом дорівнює чи більше 11. Виділяють 4 класи якості води: слабо забруднена, забруднена, брудна, дуже брудна [3].

3. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

У табл. 1 наведені результати оцінки якості вод оз. Ялпуг по першому створу («вершина»). Створ «вершина» розміщений в північній частині озера, де в нього впадає р. Ялпуг. Аналіз таблиці показує, що за весь період дослідження води оз. Ялпуг характеризувались однією категорією – «дуже брудні», клас якості в різні роки відзначався як IVв – IVг. В якості *ЛПЗ* найчас-

тіше відзначалися такі показники якості вод, як сухий залишок, магній, хлориди, сульфати.

На рис. 1 наведено графік зміни *KIЗ* вод оз. Ялпуг по створу «вершина» у 2003–2017 рр. Аналіз рисунку показує, що за період дослідження якість вод озера не зазнавала суттєвих змін. Максимальний рівень забруднення вод озера відзначався у 2004 р.

У табл. 2 наведено результати оцінки якості вод оз. Ялпуг по другому створу («водозабір»). Створ «водозабір» розміщений біля м. Болград (парк «Пушкіна»). Як видно, за весь період дослідження води оз. Ялпуг характеризувались однією категорією – «дуже брудні», клас якості в різні роки відзначався як IVб – IVг. В якості *ЛПЗ* найчастіше відзначалися такі показники якості вод, як магній та сульфати.

На рис. 2 наведений графік зміни *KIЗ* вод оз. Ялпуг по створу «водозабір» у 2003–2017 рр. Аналіз рисунку показує, що за період дослідження відзначається тенденція до зменшення рівня забруднення вод озера. Максимальний рівень забруднення відзначався у 2003–2004 рр.

У табл. 3 наведені результати оцінки якості вод оз. Ялпуг по третьому створу («13-й км»). Створ «13-й км» розміщений ближче до південної частини озера, де воно сполучене протокою з оз. Кугурлуй.

Таблиця 1 – Результати оцінки якості вод оз. Ялпуг у 2003 – 2017 рр. (створ «вершина»)

Рік	Кількість <i>ЛПЗ</i>	<i>KIЗ</i>	Категорія і клас якості води
2003	1 (сульфати)	52	IVв, «дуже брудна»
2004	5 (сухий залишок, магній, залізо загальне, хлориди, сульфати)	64	IVг, «дуже брудна»
2005	2 (магній, сульфати)	49	IVг, «дуже брудна»
2006	5 (сухий залишок, магній, залізо загальне, хлориди, сульфати)	61	IVг, «дуже брудна»
2007	4 (сухий залишок, магній, хлориди, сульфати)	58	IVг, «дуже брудна»
2008	3 (сухий залишок, хлориди, сульфати)	49	IVг, «дуже брудна»
2009	3 (магній, хлориди, сульфати)	57	IVг, «дуже брудна»
2010	4 (сухий залишок, магній, хлориди, сульфати)	55	IVг, «дуже брудна»
2011	4 (сухий залишок, магній, хлориди, сульфати)	55	IVг, «дуже брудна»
2012	4 (сухий залишок, магній, хлориди, сульфати)	57	IVг, «дуже брудна»
2013	3 (сухий залишок, магній, сульфати)	53	IVг, «дуже брудна»
2014	4 (сухий залишок, магній, хлориди, сульфати)	57	IVг, «дуже брудна»
2015	5 (сухий залишок, магній, залізо загальне, хлориди, сульфати)	61	IVг, «дуже брудна»
2016	5 (сухий залишок, магній, залізо загальне, хлориди, сульфати)	61	IVг, «дуже брудна»
2017	2 (магній, сульфати)	49	IVг, «дуже брудна»

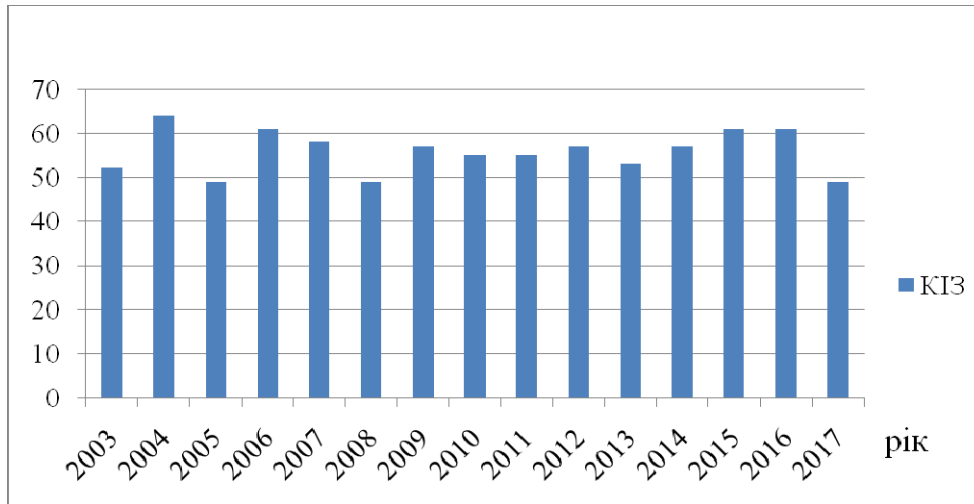


Рис. 1 – Динаміка зміни KIZ вод оз. Ялпуг у 2003 – 2017 рр. (створ «вершина»).

Таблиця 2 – Результати оцінки якості вод оз. Ялпуг у 2003 – 2017 рр. (створ «водозабір»)

Рік	Кількість ЛПЗ	KIZ	Категорія і клас якості води
2003	3 (сухий залишок, магній, сульфати)	53	IVГ, «дуже брудна»
2004	3 (сухий залишок, магній, сульфати)	51	IVГ, «дуже брудна»
2005	3 (сухий залишок, магній, сульфати)	46	IVГ, «дуже брудна»
2006	3 (сухий залишок, магній, сульфати)	44	IVГ, «дуже брудна»
2007	3 (сухий залишок, магній, сульфати)	42	IVГ, «дуже брудна»
2008	2 (магній, сульфати)	36	IVБ, «дуже брудна»
2009	2 (магній, сульфати)	38	IVБ, «дуже брудна»
2010	2 (магній, сульфати)	35	IVБ, «дуже брудна»
2011	2 (магній, сульфати)	32	IVБ, «дуже брудна»
2012	2 (магній, сульфати)	40	IVВ, «дуже брудна»
2013	2 (магній, сульфати)	32	IVБ, «дуже брудна»
2014	2 (магній, сульфати)	36	IVБ, «дуже брудна»
2015	2 (магній, сульфати)	36	IVБ, «дуже брудна»
2016	2 (залізо загальне, сульфати)	35	IVБ, «дуже брудна»
2017	1 (сульфати)	39	IVБ, «дуже брудна»

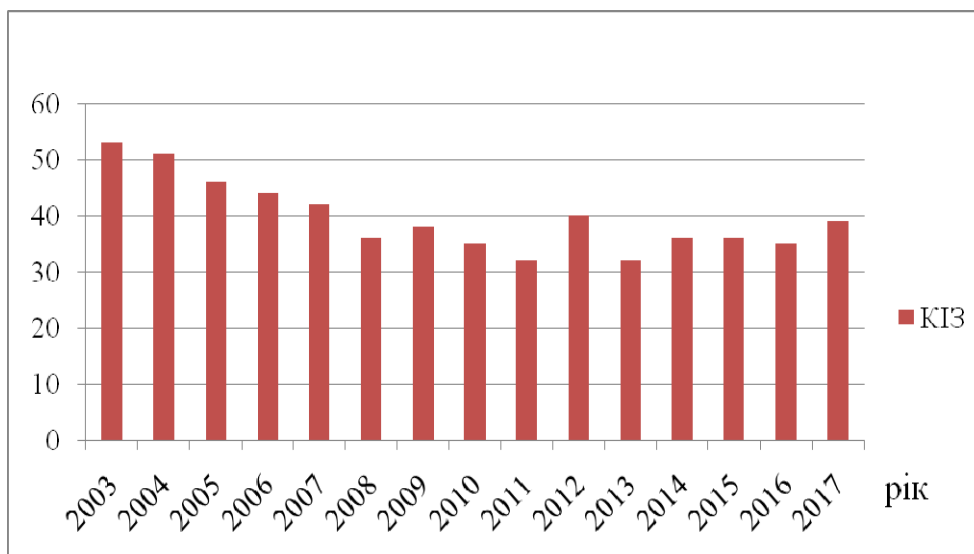


Рис. 2 – Динаміка зміни KIZ вод оз. Ялпуг у 2003 – 2017 рр. (створ «водозабір»).

Аналіз таблиці показує, що за весь період дослідження води озера характеризувались такими категоріями, як «брудні» (клас якості IIIa – IIIб) і «дуже брудні» (клас якості IVa – IVв). В якості ЛПЗ найчастіше відзначалися такі показники якості вод, як магній та сульфати.

На рис. 3 представлено графік зміни КІЗ вод оз. Ялпуг по створу «13-й км» у 2003–2017 рр. Відзначаються суттєві коливання рівня забруднення вод озера. Загальних тенденцій динаміки зміни КІЗ не виявлено. Максимальний рівень забруднення вод оз. Ялпуг відзначався у 2004 р. Також значні рівні забруднення спостерігались у

2003, 2006, 2009 і 2017 рр.

На рис. 4 наведений порівняльний графік зміни КІЗ вод оз. Ялпуг по трьох створах за 2003–2017 рр. Як видно, максимальний рівень забруднення вод озера відзначався в першому створі («вершина»), мінімальний – у створі «13-й км».

Спостерігається тенденція щодо зменшення значення КІЗ і, відповідно, деяке покращення якості вод оз. Ялпуг з віддаленістю від території Молдови, де стан очистки стічних вод є незадовільним.

Таблиця 3 – Результати оцінки якості вод оз. Ялпуг у 2003 – 2017 рр. (створ «13-й км»)

Рік	Кількість ЛПЗ	КІЗ	Категорія і клас якості води
2003	2 (магній, сульфати)	40	IVв, «дуже брудна»
2004	3 (магній, залізо загальне, сульфати)	53	IVг, «дуже брудна»
2005	–	26	IVа, «дуже брудна»
2006	1 (сульфати)	38	IVб, «дуже брудна»
2007	–	23	IIIб, «брудна»
2008	–	23	IIIб, «брудна»
2009	2 (магній, сульфати)	40	IVв, «дуже брудна»
2010	–	19	IIIб, «брудна»
2011	–	20	IIIб, «брудна»
2012	–	20	IIIб, «брудна»
2013	2 (магній, сульфати)	28	IVа, «дуже брудна»
2014	–	19	IIIб, «брудна»
2015	–	15	IIIа, «брудна»
2016	–	15	IIIа, «брудна»
2017	1 (сульфати)	38	IVб, «дуже брудна»

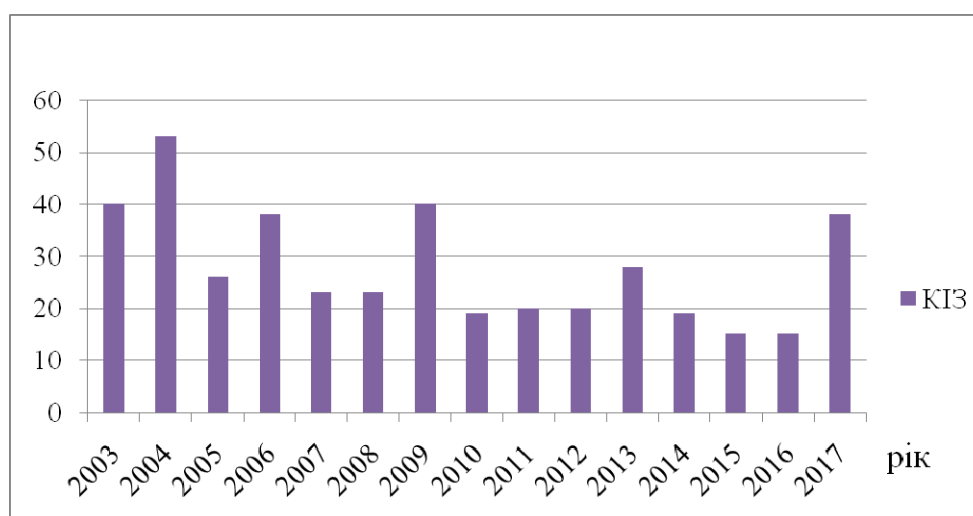


Рис. 3 – Динаміка зміни КІЗ вод оз. Ялпуг у 2003 – 2017 рр. (створ «13-й км»).

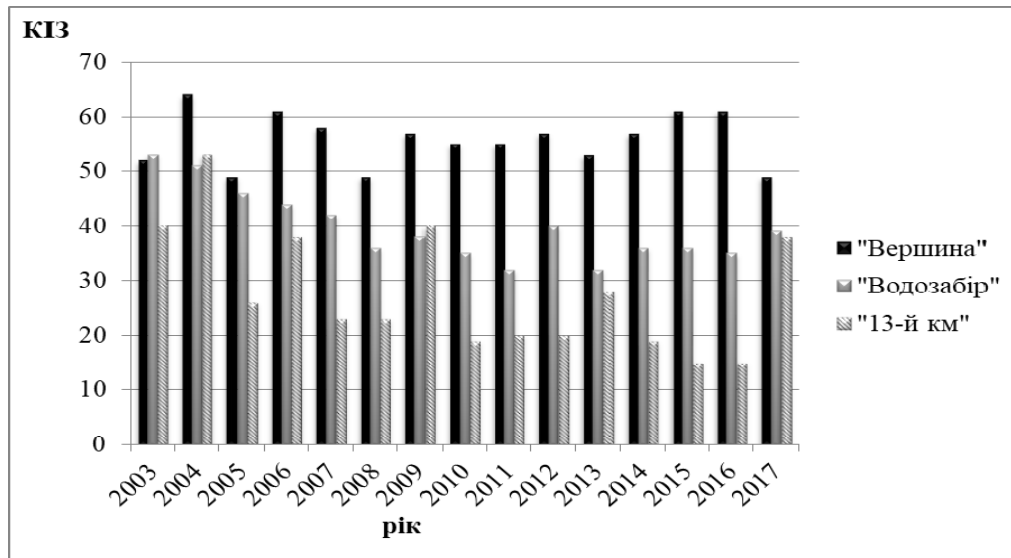


Рис. 4 – Порівняльний графік значень *KIZ* вод оз. Ялпуг по трьох створах у 2003 – 2017 рр.

4. ВИСНОВКИ

У роботі було виконано оцінку якості вод оз. Ялпуг за багаторічний період як об'єкта рибогосподарського призначення. Попередній аналіз динаміки зміни показників якості вод [2] показав, що відзначається зменшення концентрацій майже усіх показників якості за період дослідження (2003–2017 рр.). Результати оцінки якості вод озера підтвердили даний висновок. Отримано, що:

1. У створі «вершина» оз. Ялпуг якість води характеризувалась категорією «дуже брудні», клас якості відзначався як IVв – IVг. В якості *ЛПЗ* найчастіше відзначалися такі показники, як сухий залишок, магній, хлориди, сульфати. За період дослідження якість вод озера не зазнавала суттєвих змін. Максимальний рівень забруднення відзначався у 2004 р.
2. У створі «водозабір» води оз. Ялпуг також характеризувались категорією «дуже брудні», клас якості відзначався як IVб – IVг. В якості *ЛПЗ* найчастіше відзначалися такі показники, як магній і сульфати. За період дослідження відзначається тенденція до зменшення рівня забруднення вод озера. Максимальний рівень відзначено у 2003–2004 рр.
3. У створі «13-й км» води озера характеризувались категоріями «брудні» (клас якості IIIа – IIIб) і «дуже брудні» (клас якості IVа – IVв). В якості *ЛПЗ* найчастіше відзначалися такі показники, як магній і сульфати. Відзначено суттєві коливання рівня забруднення вод озера. Максимальний рівень Ялпуг відзначався у 2004 р.

Загальний аналіз динаміки зміни *KIZ* вод оз. Ялпуг по трьох створах за 2003–2017 рр. показав, що максимальний рівень забруднення вод озера відзначався в першому створі («вершина»), мінімальний – у створі «13-й км». Спостерігається тенденція щодо зменшення значення *KIZ*.

З огляду на те, що практично вся територія басейну р. Ялпуг розташована на півдні Молдови, де стан очистки стічних вод є незадовільним, рівень забруднення в озері часто перевищує допустимі норми. В минулому забруднення мінеральними добривами призводило до частого «цвітіння» води. В останні роки, з огляду на зниження використання мінеральних добрив і отрутохімікатів в сільському господарстві Молдови, ситуація дещо покращилася.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Болградське міжрайонне управління водного господарства – Водні ресурси. URL: http://www.bmuvg.org.ua/index.php?option=com_content&task=view&id=14&Itemid=30 (дата звернення: 16.08.2018 р.).
2. Деньга Ю. М., Мединец В. И. Гидрохимический режим и качество вод Придунайских озер. *Вісник ОНУ*. 2002. Т. 7(2). С. 17 – 25.
3. Гопченко Е. Д., Кузниченко С. Д. Научно-методические подходы по обеспечению оптимального режима функционирования Придунайских озер. *Метеорологія, кліматологія та гідрологія*. 2005. № 49. С. 399–405.
4. Кузниченко С. Д. Водний і сольовий режими системи озер Кугурлуй і Ялпуг в умовах їхнього зарегулювання: автореф. дис...канд. геогр.наук / ОДЕКУ. Одеса, 2005. 19 с.
5. Котова Т. В. Управління якістю вод Придунайських

- озер на прикладі озера Ялпуг – Кугурлуй. Вода і водоочисні технології. *Науково-технічні вісті*. 2014. № 2 (15). С. 37–42.
- Деревенська О. В., Чугай А. В. Гідрохімічна характеристика озера Ялпуг за багаторічний період. *Регіональні проблеми охорони довкілля: матеріали Міжнародної наукової конференції молодих вчених*, 30 травня - 1 червня. Одеса, 2018. С. 79–82.
 - Сніжко С. І. Оцінка та прогнозування якості природних вод. Київ: Ніка-Центр, 2001. 262 с.
 - Позаченюк Е. А., Тимченко З. В. Учебное пособие по изучению дисциплины «Водные ресурсы и водное хозяйство Крыма». Симферополь, 2003. 107 с.
 - Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями // В. Д. Романенко та ін. Київ: Символ-Т, 1998. 28 с.
 - Юрасов С. М., Сафранов Т. А., Чугай А. В. Оцінка якості природних вод: навчальний посібник. Одеса: Екологія, 2012. 168 с.
 - Meteorologhiia, klimatologhiia ta hidrolohiia [Meteorology, climatology and hydrology]*, 49, 399–405. (in Rus)
 - Kuznichenko, S.D. (2005). *Vodnyi i soliovyi rezhymy systemy ozer Kuhurlui i Yalpuh v umovakh ikhnioho zarehuliuvannia* [Water and salt regimes of the lake system Kugurlui and Yalpuh in conditions of their regulation]. Abstract of Dr. Sc. in Geography. Odessa State Environmental University. Odessa. (in Ukr).
 - Kotova, T.V. (2014). [Quality management of waters of the Danube Lakes on the example of the Yalpuh – Kugurlui Lake. Water and water treatment technologies]. *Scientific and technical news*, 2 (15), 37-42. (in Ukr).
 - Derevenska, O.V., Chuhai, A.V. (2018). [Hydrochemical characteristics of the lake Yalpuh for a long period]. *Materialy Mizhnarodnoi naukovoï konferentsii molodykh vchenykh «Regionalni problemy okhorony dovkillia» [Proc. International Scientific Conference of Young Scientists "Regional Environmental Problems"]*, 30 May-1 June. Odessa, pp. 79–82. (in Ukr).
 - Snizhko, S.I. (2001). *Otsinka ta prohnozuvannia yakosti pryrodnykh vod* [Estimation and prediction of natural water quality]. Kyiv: Nika-Tsentr. (in Ukr).
 - Pozacheniuk, E.A., Tymchenko, Z.V. (2003). *Uchebnoe posobie po izucheniyu distsipliny «Vodnye resursy i vodnoe khozyaystvo Kryma»* [Textbook on the study of the discipline "Water Resources and Water Economy of the Crimea"]. Simferopol. (in Rus).
 - Romanenko, V.D. et al. (1998) *Metodyka ekolohichnoi otsinky yakosti poverkhnevyykh vod za vidpovidnyimi katehoriitamy* [Method of ecological assessment of surface water quality according to the relevant categories]. Kyiv: Symvol-T. (in Ukr).
 - Yurasov, S.M., Safranov, T.A., Chugai, A.V. (2012). *Otsinka yakosti pryrodnykh vod* [Assessment of the quality of natural waters]. Odessa: Ekologhiia. (in Ukr).

REFERENCE

ESTIMATION OF POLLUTION LEVEL OF LAKE YALPUH AS AN OBJECT OF FISHING PURPOSE

A.V. Chugai, O.V. Derevenska

Odessa State Environmental University,
15 Lvovskaya str., Odessa, 65016, Ukraine, avchugai@ukr.net

The work offers estimation of Lake Yalpuh's water quality for a long period as a fishery object. The preliminary analysis of the dynamics of water quality indicators change showed that there was a decrease of concentrations of almost all quality indicators during the period of the study (2003 - 2017).

According to the results of the estimation, the water quality of Lake Yalpuh in the top section was characterized by the "very dirty" category, the quality class was marked as IVc-IVd. Most often such indicators as dry residue, magnesium, chlorides, sulfates were taken as limiting indicators of pollution. During the research the quality of lake water was did not change significantly. The maximum level of pollution was observed in 2004.

The water of the lake at the water intake section was also characterized by the "very dirty" category, the quality class was marked as IVb - IVd. Most often such indicators as magnesium and sulfates were taken as limiting indicators of pollution. During the period of research there was a tendency towards a decrease of the lake's level of water pollution. The maximum level was observed in 2003 – 2004.

The waters of the lake in the 13th km section was characterized by the "dirty" (quality class IIIa-IIIb) and "very dirty" (quality class IVa-IVc) categories. Most often such indicators as

magnesium and sulfates were taken as indicators of limiting pollution. Significant fluctuations of the level of the lake water pollution were observed. The maximum level was observed in 2004.

The general analysis of the dynamics of change of the combinatorial index of water pollution in Yalpuh Lake at three sections for 2003 - 2017 showed that the maximum level of water pollution in the lake was observed at the first section (top), the minimum – at the 13th km section. There is a tendency towards decrease of the value of the combinatorial index of pollution.

Virtually the entire territory of the Yalpuh River Basin is located at the southern part of Moldova where the state of wastewater treatment is unsatisfactory. Therefore, the level of pollution in the lake often exceeds the permissible standards. In recent years, due to decrease mineral fertilizers and pesticides use in Moldova's agricultural sector, the situation improved though.

Keywords: pollution, quality estimation, combinatorial index of pollution, section.

ОЦЕНКА УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОД ОЗЕРА ЯЛПУГ КАК ОБЪЕКТА РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

А. В. Чугай, О. В. Деревенская

*Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, Одесса, 65016, Украина, avchugai@ukr.net*

Основной причиной неудовлетворительного качества природных вод является их загрязнение из-за сброса большого количества сточных вод, во многих случаях с превышением нормативов для сброса. Во многих регионах страны очистные сооружения устарели и не в состоянии помешать поступлению в воду загрязняющих веществ. Важной эта проблема является и для Одесской области. В работе даётся оценка и анализ уровня загрязнения вод оз. Ялпуг как объекта рыбохозяйственного назначения. При выполнении работы использованы материалы Болградского международного отдела лабораторных исследований, а также данные собственных исследований. Для оценки качества вод использована методика оценки качества поверхностных вод суши по гидрохимическим показателям (методика Гидрохимического института). Оценка качества вод оз. Ялпуг впервые выполнена за многолетний период, что является элементами научной новизны полученных результатов.

Ключевые слова: загрязнение, оценка качества, комбинаторный индекс загрязнения, створ.

*Подання до редакції : 25. 09. 2018
Надходження остаточної версії : 26. 10. 2018
Публікація статті : 29. 11. 2018*