

ISSN 2311-0902



Номер 17

Issue 17

2016

УКРАЇНСЬКИЙ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ

Ukrainian Hydrometeorological Journal

Головний редактор
С. М. Степаненко

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**

Ukrainian Hydrometeorological journal

(Ukrains'kij Gidrometeorologičnij Žurnal)

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

Scientific Journal

Друкується 2 рази на рік

Issued: 2 times a year

Заснований у 2005 р.

Founded in 2005 y.

№ 17, 2016

**Одеса
«Екологія»
2016**

Головний редактор

С. М. Степаненко, д-р фіз.-мат. наук, проф., ОДЕКУ
(Одеський державний екологічний ун-т)

Заступники головного редактора

А. М. Польовий, д-р геогр. наук, проф., ОДЕКУ
С. С. Зілітінкевич, проф., Гельсінський ун-т (Фінляндія)

Редакційна колегія

Український склад: **В. С. Антоненко**, д-р геогр. наук, проф., Київський національний ун-т культури і мистецтв; **М. А. Берлінський**, д-р геогр. наук, с.н.с., ОДЕКУ; **О. В. Глушков**, д-р фіз.-мат. наук, проф., ОДЕКУ; **Є. Д. Гопченко**, д-р геогр. наук, проф., ОДЕКУ; **С. В. Іванов**, д-р геогр. наук, с.н.с., ОДЕКУ; **Г. П. Івус**, канд. геогр. наук, проф., ОДЕКУ; **М. І. Кульбіда**, канд. геогр. наук, Український гідрометцентр, м.Київ; **Н. С. Лобода**, д-р геогр. наук, проф., ОДЕКУ; **І. Д. Лосва**, д-р геогр. наук, проф., ОДЕКУ; **Г. В. Ляшенко**, д-р геогр. наук, проф., Нац. наук. центр «Інститут виноградарства і виноробства ім. В. Є. Таїрова», м.Одеса; **О. Б. Полонський**, д-р геогр. наук, проф., член-кор. НАН України, м.Київ; **О. О. Світличний**, д-р геогр. наук, проф., Одеський національний університет ім. І. І. Мечнікова; **С. І. Сніжко**, д-р геогр. наук, проф., Київський національний університет ім. Тараса Шевченка; **Ю. С. Тучковенко**, д-р геогр. наук, проф., ОДЕКУ; **В. К. Хільчевський**, д-р геогр. наук, проф., Київський національний університет ім. Тараса Шевченка; **В. М. Хохлов**, д-р геогр. наук, проф., ОДЕКУ; **С. П. Школьний**, д-р техн. наук, проф., ОДЕКУ; **Ж. Р. Шакірзанова**, д-р геогр. наук, проф., ОДЕКУ

Зарубіжний склад: **Дж. Домінік**, проф., Ін-т морських наук (Венеція, Італія); **Н. Х. Трі**, проф., Університет Далхаузі (Канада); **Т. Соловей**, PhD, д-р наук, Польський геологічний ін-т (Варшава, Польща); **М. В. Болгов**, д-р техн. наук, Інститут водних проблем РАН (Москва, Російська Федерація); **Я. М. Іван'ю**, д-р техн. наук, проф., Іркутський державний аграрний університет ім. А. А. Єжевського (Російська Федерація)

О. І. Маруніч – відповідальний секретар, ОДЕКУ

Editor-in-Chief

S. M. Stepanenko, Dr. Sci. (Phys.-Math.), prof., OSENU
(Odessa State Environmental University)

Deputies of Editor-in-Chief

A. M. Pol'ovyy, Dr. Sci. (Geogr.), prof., OSENU
S. S. Zilitinkevich, prof., University of Helsinki (Finland)

Editorial board

Ukrainian Staff: **V. S. Antonenko**, Dr. Sci. (Geogr.), Prof., Kyiv National University of Culture and Arts; **M. A. Berlinskyy**, Dr. Sci. (Geogr.), S.R.F., OSENU; **O. V. Glushkov**, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., OSENU; **E. D. Gopchenko**, Dr. Sci. (Geogr.), Prof., OSENU; **S. V. Ivanov**, Dr. Sci. (Geogr.), S.R.F., OSENU; **H. P. Ivus**, Cand. Sci. (Geogr.), Prof., OSENU; **M. I. Kul'bida**, Cand. Sci. (Geogr.), Ukrainian Hydrometeorological Center, Kyiv; **N. S. Loboda**, Dr. Sci. (Geogr.), Prof., OSENU; **I. D. Loeva**, Dr. Sci. (Geogr.), Prof., OSENU; **G. V. Lyashenko**, Dr. Sci. (Geogr.), Prof., National Scientific Center "V. Ye. Tairov Institute of Viticulture and Wine-making", Odessa; **O. B. Polons'kyy**, Dr. Sci. (Geogr.), Prof., Cor. Mem. NASU, Kyiv; **O. O. Svitlychnyy**, Dr. Sci. (Geogr.), Prof., I. I. Mechnikov Odessa National University; **S. I. Snizhko**, Dr. Sci. (Geogr.), Prof., Taras Shevchenko National University of Kyiv; **Yu. S. Tuchkovenko**, Dr. Sci. (Geogr.), Prof., OSENU; **V. K. Khil'chevs'kyy**, Dr. Sci. (Geogr.), Prof., Taras Shevchenko National University of Kyiv; **V. M. Khokhlov**, Dr. Sci. (Geogr.), Prof., OSENU; **E. P. Shkol'nyy**, Dr. Sci. (Techn.), Prof., OSENU; **Zh. R. Shakirzanova**, Dr. Sci. (Geogr.), Prof., OSENU

Foreign Staff: **J. Dominic**, Prof., Institute of Marine Sciences (Venezia, Italy); **N. H. Tri**, Prof., Dalhousie University (Canada); **T. Solovey**, PhD, Dr. Sci., Polish Geological Institute (Warsaw, Poland); **M. V. Bolgov**, Dr. Techn. Sci., Institute of Water Problems RAN (Moscow, Russian Federation); **Ya. M. Ivan'o**, Dr. Techn. Sci., Prof., A. A. Yezhevs'kiy State Agrarian University of Irkutsk (Russian Federation)

О. І. Маруніч - Executive Secretary, OSENU

“Український гідрометеорологічний журнал” є міжвідомчим виданням, у якому публікуються результати теоретичних та експериментальних наукових досліджень за напрямками метеорологія, кліматологія, агрометеорологія, гідрологія, океанологія і гідрографія, висвітлюються гідрометеорологічні аспекти моніторингу навколишнього середовища та сучасний стан окремих проблем у цих галузях. Для науковців та науково-педагогічних працівників, аспірантів та докторантів, а також фахівців, які працюють у цих галузях гідрометеорології.

ЗМІСТ

CONTENTS

**Гідрометеорологічні аспекти моніторингу
навколишнього середовища**

**Hydrometeorological Aspects of
Environmental Monitoring**

Галицька Є.І., Данилевський В.О., Сніжко С.І.
Динаміка аерозолів у атмосфері над східною
Європою за даними AERONET під впливом 5
погодних умов протягом літа 2010

Galytska E., Danylevskyy V., Snizhko S. Aerosols
Dynamics in the Atmosphere over Eastern Europe
by Means of AERONET according to Weather
Conditions during Summer 2010

Ляшенко Г.В., Прикуп Л.О. Оцінка якості 17
ґрунтів за реакцією ґрунтового розчину та вмістом
важких металів на півдні Одеської області

Lyashenko G.V., Prykup L.O. Soil Quality
Assessment Based on Reaction of Soil Solution
and Content of Heavy Metals in the Southern Part
of Odessa Region

Метеорологія та кліматологія

Meteorology and Climatology

*Степаненко С.Н., Волошин В.Г., Курьшина
В.Ю.* Расчет скорости ветра в нижнем 300-х
метровом слое атмосферы по данным метеоро- 23
логических наблюдений с учетом температур-
ной стратификации и шероховатости поверх-
ности

Stepanenko S.N., Voloshin V.G., Kuryshina V.Yu.
Calculation of Wind Speed in the 300-meter
Lower Layer of the Atmosphere Based on the Me-
teorological Observations Taking Account of
Temperature Stratification and Surface Roughness

*Хохлов В.М., Боровська Г.О., Уманська О.В.,
Тенетко М.С.* Зміна погодних умов на терито- 31
рії України в умовах зміни клімату

*Khokhlov V.M., Borovska H.O., Umanska O.V.,
Tenetko M.S.* Changes of weather conditions in
Ukraine under climate changes

*Івус Г.П., Агайар Е.В., Гурська Л.М., Семергей-
Чумаченко А.Б.* Циркуляційні умови виникнен- 38
ня сильного та стихійного вітру над південним
заходом України

*Ivus H.P., Agayar E.V., Hurska L.M., Semergei-
Chumachenko A.B.* Circulation conditions of
strong and elemental wind over southwestern
Ukraine

Серга Э.Н. Особенности распределения одно- 49
родных зон в полях гидрометеорологических
характеристик Северотихоокеанского региона
в холодный период года

Serga E.N. Peculiarities of Homogeneous Areas
Distribution within the Fields of Hydrometeo-
rological Characteristics in the Northern Pacific
during the Cold Season

*Слизе М.О., Семергей-Чумаченко А.Б.,
Эль Хадри Юссеф.* Современное распределе- 61
ние ветра в Марокко

*Slizhe M.O., Semergei-Chumachenko A.B.,
El Hadri Youssef.* Current Distribution of Wind in
Morocco

Агрометеорологія

Agricultural Meteorology

Польовий А.М., Божко Л.Ю. Характеристика 70
радіаційно-теплових ресурсів в Україні на
період до 2050 р. в умовах зміни клімату

Pol'ovyy A.M., Bozko L.Y. Characteristic of Radia-
tion and Thermal Resources in Ukraine for the
Period up to 2050 under Conditions of
Climate Change

Дронова О.О., Кузнєцова Ю.О. Вплив лісового господарства півдня України на регулювання вуглекислого газу в атмосферному повітрі **79**
Dronova O.O., Kuznetsova Y.O. Effect of Forestry of the Southern Ukraine on the Regulation of Carbon Dioxide in the Atmosphere

Жигайло О.Л., Жигайло Т.С. Оцінка впливу змін клімату на агрокліматичні умови вирощування соняшнику в Україні **86**
Zhygailo O.L., Zhygailo T.S. Evaluation of climate change influence on agroclimatic conditions of sunflower growing in Ukraine

Данілова Н.В. Оцінка зміни агрокліматичних умов вирощування проса в південних областях України в зв'язку зі зміною клімату **93**
Danilova N.V. Assessment of Changes of Agroclimatic Conditions for Cultivation of Millet in the Southern Regions of Ukraine Resulted from Climate Change

Полевой А.Н., Синицына В.В. Моделирование формирования всходов зерновых культур **102**
Polevoy A.N., Sinitsyna V.V. Modelling of Grains' Shoots Formation

Гідрологія суші та гідроекологія

Лобода Н.С., Божок Ю.В. Водні ресурси України XXI сторіччя за сценаріями змін клімату (RCP8.5 та RCP4.5) **114**
Loboda N.S., Bozhok Y.V. Water resources of Ukraine in the XXI century under climate changes scenarios (RCP4.5 and RCP8.5)

Шахман І.О., Лобода Н.С. Оцінка якості води у створі р. Інгулець – м. Снігурівка за гідрохімічними показниками **123**
Shakhman I.O., Loboda N.S. Water Quality Estimation at the Gauge Station of the Ingulets River, Town of Snigurivka, by Hydrochemical Parameters

Океанологія та морське природокористування

Тучковенко Ю.С., Кушнір Д.В. Результати чисельного моделювання внутрішньорічної мінливості характеристик гідрологічного режиму Куяльницького лиману **137**
Tuchkovenko Yu. S. Kushnir D. V. Results of the Numerical Modelling of Intra-Annual Variability of Characteristics of the Hydrological Regime of the Kuyalnik Liman Lagoon

Hydrology and Hydroecology

Oceanography and Marine Nature Management

УДК 551.51:551.510:551.510.4:551.510.42,
PACS number(s): 92.60.Mt Particles and aerosols 89.40.
Dd Air transporation

ДИНАМІКА АЕРОЗОЛІВ У АТМОСФЕРІ НАД СХІДНОЮ ЄВРОПОЮ ЗА ДАНИМИ AERONET ПІД ВПЛИВОМ ПОГОДНИХ УМОВ ПРОТЯГОМ ЛІТА 2010

Є.І. Галицька^{1,2}, асп.,
В.О. Данилевський¹, к.ф.-м.н.,
С.І. Сніжко¹, д. геогр. н.,

¹ Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Україна, 01601, місто Київ, вул. Володимирська, 64/13, tempo2007@meta.ua

² Бременський університет, Інститут фізики навколишнього середовища

Німеччина, 330440, місто Бремен, вул. Отто-Ханн-Аллее 1, egalyska@gmail.com

У роботі представлено результати аналізу даних про спектральні оптичні характеристики аерозолів у атмосфері над Східною Європою за вимірюваннями у міжнародній мережі сонячних фотометрів AERONET, а також динаміки пожеж рослинності на цій території улітку 2010 року за даними супутникового приладу MODIS. Було виявлено та проаналізовано вплив лісових пожеж, горіння торфу та трав'яного покриву на вміст, динаміку і властивості атмосферного аерозолію над Україною та прилеглими регіонами з урахуванням розвитку синоптичної ситуації та переміщень атмосферних мас. Для дослідження шляхів переміщень аерозолів у атмосфері були використані зворотні траєкторії руху повітряних мас до місць спостережень, обчислені за допомогою моделі HYSPLIT для висот 0.5, 1.5, 3, 4 і 5 км. Показано, що підвищений вміст аерозолів над спостережними станціями AERONET, розташованими на території України, Росії, Молдови, Румунії, Польщі, Білорусі й Естонії, що збігся з у часі з періодом сильних лісових пожеж на Європейській території Росії (ЄТР), у різні періоди з середини липня до середини серпня 2010 р. над різними територіями був зумовлений як пожежами на ЄТР, так і на південному сході України, у Молдові та Польщі.

Ключові слова: аерозолі, AERONET, Східна Європа, синоптичний аналіз, зворотні траєкторії, HYSPLIT.

1. ВСТУП

Аерозолі в найпростішій своїй формі є сукупністю твердих та рідких часточок природного та антропогенного походження, завислих у повітрі. Аерозоль – це двофазна система, що складається з часточки та газу, в якому ця часточка зависла. До аерозолів відносять пил, дим, туман, хмари, смог та ін. Дослідження властивостей та динаміки аерозольних частинок має важливе практичне значення, наприклад для вивчення процесів хмароутворення в атмосфері, а також для досліджень особливостей утворення, перенесення та подальшої еволюції цих забруднювачів повітря [10, 24]. Необхідно відзначити і важливість впливу аерозолів на радіаційний баланс Землі, що полягає у безпосередньому поглинанні та розсіюванні сонячного випромінювання, а також опосередкованого впливу на клімат через зміну мікрофізичних властивостей хмар.

Крім того, аерозольні частинки, що характеризуються значною динамікою в часі та просторі, можуть бути перенесені за сотні, а в окремих

випадках і тисячі кілометрів від джерел надходження в атмосферу і впливати на стан її забруднення у віддалених регіонах, як, наприклад, у випадках надходження пилового аерозолію з Сахари на Чорне море [23], або з південних регіонів України на Центральну Європу [1]. Зокрема, значна увага міжнародної наукової спільноти протягом останніх років була привернута до досліджень аерозольного забруднення атмосфери над обширними територіями унаслідок стихійних великомасштабних лісових пожеж у центральних і західних регіонах Росії влітку 2010 р. (див. наприклад [4, 15, 20]). Так, у [4] здійснений аналіз властивостей аерозолів і їх радіаційний вплив у період сильних пожеж у Центральній Росії у 2010 році за даними мережі сонячних фотометрів AERONET та радіаційних вимірювань. Було відзначено, що надзвичайно високі значення аерозольної оптичної товщі в Москві і передмісті спостерігалися 6-8 серпня з досягненням абсолютного максимуму 7 серпня. При цьому спостерігались значні зміни в хімічному складі атмосфери, оптичних та радіаційних

характеристиках аерозолію і, як наслідок, в інтенсивності сонячного випромінювання на земній поверхні. Крім того, висока концентрація аерозолів мала негативний вплив на здоров'я населення: смертність у Центральних регіонах європейської Росії за цей період збільшилася в 1,5 – 1,6 рази.

У [20] зазначено, що у період з середини липня по середину серпня 2010 року склались ідеальні умови для високої активності лісових пожеж в країнах Східної Європи. Спостереження пожежної активності з супутниковими приладами показали, що найбільша кількість пожеж (з 22 липня по 18 серпня) була зафіксована протягом періоду з постійною антициклонічною циркуляцією, унаслідок застою повітря накопичені забруднювальні домішки рециркулювали. Згідно з супутниковими спостереженнями, центр ЄТР (включаючи Москву) знаходився під впливом одного з найвищих рівнів забруднення лісовими пожежами. Зокрема Москва зазнала впливу хмари забруднених домішок, що надходили з осередків інтенсивних пожеж, розташованих на південь і схід від міста.

Детальне дослідження аерозольного забруднення атмосфери протягом літа 2010 року також представлено у роботі [17], де окрім наземних (AERONET) та супутникових вимірювань (POLDER, CALIOP), були використані моделі перенесення аерозольних частинок (CHIMERE, WRF) для визначення радіаційного впливу аерозолів. У [21] були проаналізовані джерела надходження та транспортування аерозолів з лісових, степових, торф'яних і сільськогосподарських пожеж над Україною протягом 2002—2012 років засобами наземних та супутникових вимірювань. Зокрема, автор наголошує на аномальних погодних умовах, що сприяли накопиченню аерозолію в атмосфері в серпні 2010 року.

Мета нашого дослідження – відтворити детальніше, ніж у зазначених вище публікаціях, шляхи впливу лісових пожеж, горіння торфу та трав'яного покриву протягом літа 2010 р. на вміст, динаміку і властивості атмосферного аерозолію над Україною та прилеглими регіонами за даними наземних вимірювань, аналізу синоптичної ситуації і моделювання переміщення атмосферних мас. Хоча окремі аспекти впливу пожеж на забруднення атмосфери над Східною Європою, і зокрема Україною, улітку 2010 року вже розглядалися у декількох публікаціях, зок-

рема у [2, 16, 17, 20, 21], важливі, на нашу думку, деталі атмосферних процесів, що вплинули на просторово-часовий розподіл аерозолів, залишилися не з'ясованими. Так, залишилися без уваги рух повітряних мас на висотах вище 1 км та тривалість їхнього перебування над різними територіями перед прибуттям у місце спостережень. У зазначених вище дослідженнях розглядалися повітряні потоки у межах висот до 1 км, тоді як під час інтенсивних пожеж продукти горіння піднімаються на значно більші висоти [17], де захоплюються повітряними потоками. До того ж, дрібні й легкі частинки здатні перебувати на висотах до декількох кілометрів і переноситися на значні відстані. Тому нами використовуються зворотні траєкторії повітряних мас, що надходять до місць спостережень на висотах до 5 км, і досліджується їхній рух протягом 7 діб до моменту спостережень над конкретним містом. Це дало змогу детальніше оцінити походження аерозолів і, зокрема, виявити значний внесок пожеж на півдні, сході України та заході Росії як джерела підвищеного вмісту аерозолів у Східній Європі.

2. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВИКОРИСТАНІ ДАНІ

2.1 Оптичні характеристики аерозолів за даними AERONET

Одним з найефективніших засобів наземного дистанційного моніторингу аерозолів у регіональному і глобальному масштабах є міжнародна мережа автоматичних сонячних фотометрів AERONET (AErosol RObotic NETwork, <http://aeronet.gsfc.nasa.gov/>), заснована Національним космічним агентством США (NASA) та Національним центром наукових досліджень Франції (CNRS – Centre National de la Recherche Scientifique), представленим Лабораторією оптики атмосфери Університету наук і технологій м. Ліля (Університет Ліль 1), в 90-х роках ХХ століття. Усього мережа нараховує декілька сотень діючих станцій у всьому світі. Основним принципом AERONET є стандартизація обладнання і його метрологічного забезпечення, методів вимірювань і обробки результатів, які зберігаються у централізованій базі даних. Засоби й методи вимірювань та обробки даних, а також використовувана термінологія викладені у [11] та у документації, розміщеній на інтернет - сторінці AERONET. За спостережними даними, одержан-

ними з цими сонячними фотометрами, за допомогою спеціальних алгоритмів [8, 9] визначаються оптичні характеристики аерозольного шару та оптичні й мікрофізичні характеристики аерозольних частинок, усереднені у стовпі атмосфери над місцем спостережень, зокрема розподіл за розмірами, альbedo однократного розсіювання, фазова функція, комплексний показник заломлення.

У цій роботі аналізується оптична товща аерозольного шару (згідно з прийнятою в AERONET термінологією вона позначається AOD – Aerosol Optical Depth) при довжині хвилі 500 нм та параметр Ангстрема, визначений у спектральному діапазоні 440 – 870 нм. Параметр Ангстрема (α) – це показник степеня емпіричної функції, що використовується для оцінки залежності спектральної аерозольної оптичної товщі від довжини хвилі випромінювання і вказує на середній розмір частинок в стовпі атмосфери над місцем спостереження [14]. При значенні $\alpha \approx 0$ у атмосфері переважають великі аерозольні частинки ($d > 1 \mu\text{m}$), такі як ґрунтовий пил; при $\alpha \rightarrow 2,0$ можна зробити висновки про домінування аерозолів середніх розмірів ($0,1 < d < 1 \mu\text{m}$), таких як сульфати та часточки диму.

Для дослідження літнього періоду 2010 року в роботі використовувались дані усіх вимірювань (allpoints в термінології AERONET) та середньодобові значення зазначених параметрів найвищої точності та гарантованої якості, отримані після урахування хмарності та змін характеристик фотометрів, для станцій України і сусідніх держав: Мінськ (Білорусь), Москва (Російська Федерація), Тиравере (Естонія), Бельск (Польща), Кишинів (Молдова), Севастополь та Київ (Україна), Клуз-Напока, Бухарест та Ефорі (Румунія). Залучення цих станцій AERONET обґрунтовується необхідністю встановлення масштабів поширення забруднюючих домішок протягом червня – серпня 2010 року.

2.2 Характеристика розподілу пожеж за супутниковими даними

Дослідження локалізації та інтенсивності пожеж здійснювалось за даними супутникового приладу MODIS. MODIS (MODerate Resolution Imaging Spectroradiometer) – скануючий спектро-радіометр середньої роздільної здатності, встановлений на супутниках Terra (з лютого 2000 р., <http://terra.nasa.gov/about/>) та Aqua (з червня 2002 р. <http://atrain.gsfc.nasa.gov>), що виконують вимірювання в рамках Системи спостереження

Землі (NASA's Earth Observing System – EOS). Дані цього приладу широко використовуються для досліджень земної атмосфери та поверхні як для кліматології, так і для вивчення біосфери. Виявлення пожеж здійснюється за допомогою алгоритму, який використовує інтенсивність випромінювання середнього інфрачервоного діапазону спектру (при довжинах хвиль 4 та 11 μm [12]) від осередків пожеж. У більшості випадків MODIS фіксує пожежі рослинності, хоча іноді це можуть бути і виверження вулканів або спалахи з газових свердловин. Детальнішу інформацію про алгоритми розпізнавання пожеж та оцінювання їхньої інтенсивності, принципи архівування та поширення даних можна знайти у [5, 13, 18]. Дані про розподіл пожеж знаходяться у вільному доступі в мережі Інтернет, за підтримки NASA, і зберігаються за такими посиланням: <https://earthdata.nasa.gov/data/near-real-time-data/firms>.

2.3 Джерела даних про метеорологічну ситуацію у досліджуваному регіоні протягом літа 2010 р.

Для аналізу впливу погодних умов на розподіл аерозолів у атмосфері протягом червня-серпня 2010 року були використані синоптичні карти Українського гідрометеорологічного центру на основних ізобаричних висотах: аналіз приземний (вимірювання основних метеорологічних параметрів здійснені на висоті 2 м, АТ-850 (на висоті приблизно 1,5 км), АТ-700 (близько 3 км) та АТ-500 (5 км). Додатково були залучені архівні синоптичні карти міжнародних дослідницьких центрів з використанням таких інтернет-ресурсів:

- <http://www.wetterzentrale.de/topkarten> - де розміщені архівні карти 500 гПа / аналіз приземний GFS (Global Forecast System) – Глобальної системи прогнозів США.

- <http://www1.wetter3.de> – архів карт аналізу приземного Німецької служби погоди.

2.4 Дослідження переміщень атмосферних мас. Зворотні траєкторії HYSPLIT

Для підтверджень результатів синоптичного аналізу подій літа 2010 року, була застосована модель траєкторій руху повітряних мас HYSPLIT. HYSPLIT – Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model – це проінте-

грована за Лагранжем траєкторія пробної частинки. Для обчислень траєкторій використовуються метеорологічні дані, які є результатами метеорологічних спостережень і розрахунків за допомогою чисельних метеорологічних моделей [7]. Ця модель поєднує в собі найпоширеніші в математичному моделюванні атмосферних процесів моделі – Ейлера та Лагранжа і вважається гібридною. Розрахунки адвекції та дифузії здійснюються в межах методу Лагранжа, а концентрація речовин у повітряному потоці обчислюється у кожній фіксованій точці простору. Перевагою використання цієї моделі у порівнянні з синоптичними методами є висока деталізація, можливість аналізу флуктуацій повітряної частинки у просторі.

Згідно з результатами детального аналізу [19] типова похибка обчислень траєкторій становить $\approx 20\%$ у горизонтальній площині для проміжків часу > 24 год у вільній тропосфері, а після 120 год помилки становлять ≈ 400 км у горизонтальній і ≈ 300 м у вертикальній площинах. Детальна характеристика моделі і науково-методичні аспекти її використання викладені, зокрема, у [3, 6, 22]. Програмне забезпечення моделі знаходиться у вільному доступі (<http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>) і може бути завантажено разом з усіма необхідними для його роботи утилітами.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ АНАЛІЗ

3.1 Вміст і характеристики аерозолію влітку 2010 року

Як зазначено вище, для виявлення впливу лісових пожеж літа 2010 року був здійснений аналіз таких оптичних характеристик аерозолію, як AOD (у спектральному каналі 500 нм) та параметр Ангстрема 440-870 нм для станцій AERONET в Україні та в сусідніх державах. Результати виконаного раніше аналізу характеристик аерозольного забруднення атмосфери над Східною Європою частково наведені у [2, 16]. Це, зокрема, характеристики аерозольного шару і аерозольних частинок над Києвом за даними AERONET протягом 2008 – 2013 рр. Тут ми наводимо результати характеристик детальнішого

аналізу аерозолів лише протягом літа 2010 р.

Аналіз щоденно осереднених значень AOD у спектральному каналі 500 нм (рис. 1) вказує на значну динаміку аерозолів в часі з вираженими максимумами 15 – 17 серпня в Києві, Севастополі, Бухаресті та Мінську (див. табл. 1), що свідчить про накопичення аерозолів з одного й того ж джерела забруднення в межах одного синоптичного процесу. Зокрема, максимальні значення для досліджуваних станцій були зафіксовані в серпні (у Бельську та Молдові – в липні). Найвищі показники AOD були виміряні в Москві (понад 4.0) у першій половині серпня, що не було нанесено на рис. 1 через неспівмірність цього значення з іншими.

Аналіз щоденно осереднених значень параметра Ангстрема (рис. 2), що змінювався від 1 до 1.8, вказує, що середній діаметр (d) частинок у стовпі атмосфери над досліджуваними містами знаходився в межах $0,1 < d < 1$ мкм. Крупні частинки з діаметром більше 1 мкм спостерігались лише у червні переважно у Києві, Севастополі та Мінську, про що свідчать малі значення показника Ангстрема.

Для більш детальної оцінки динаміки аерозолів були залучені дані усіх вимірювань та проведений елементарний статистичний аналіз значень AOD-500 нм, результати якого представлені у табл. 1. Найбільша кількість спостережених даних була одержана у Севастополі (що пов'язано із найсприятливішими погодними умовами) – понад 3,5 тис. вимірювань, у Києві – близько 3 тис. та у Бухаресті – понад 2 тис. Найбільше середнє значення було зафіксовано у Москві, Києві та Бухаресті, що свідчить про найбільшу забрудненість повітря аерозолем у даний період у порівнянні з іншими досліджуваними містами. Значення стандартного відхилення даних від усереднених, що для Москви становило 0,46, а для Києва та Мінська 0,2, свідчать про значні варіації AOD протягом досліджуваного періоду. Такі високі значення вмісту аерозолію в атмосфері над Москвою у порівнянні з іншими станціями можуть бути пояснені близькістю розташування джерела забруднення та інтенсивністю надходження забруднюючих домішок від нього.

Таблиця 1 - Статистичний аналіз розподілу AOD-500 нм влітку 2010 року

Місто	Кількість значень	Середнє	Мінімум	Максимум	Дата максимуму	Стандартне відхилення
Бельськ	1938	0.18	0.05	0.74	16.07.2010	0.11
Бухарест	2381	0.30	0.06	0.97	17.08.2010	0.16
Клуж-Напока	1220	0.25	0.04	0.62	01.08.2010	0.13
Ефорі	1855	0.24	0.06	0.59	01.08.2010	0.10
Київ	2732	0.30	0.05	1.26	15.08.2010	0.20
Мінськ	1368	0.25	0.04	1.27	17.08.2010	0.20
Молдова	1343	0.22	0.05	0.62	13.07.2010	0.11
Москва	1573	0.36	0.05	4.62	07.08.2010	0.46
Севастополь	3564	0.23	0.04	0.93	16.08.2010	0.12
Тиравере	1296	0.20	0.03	1.23	07.08.2010	0.19

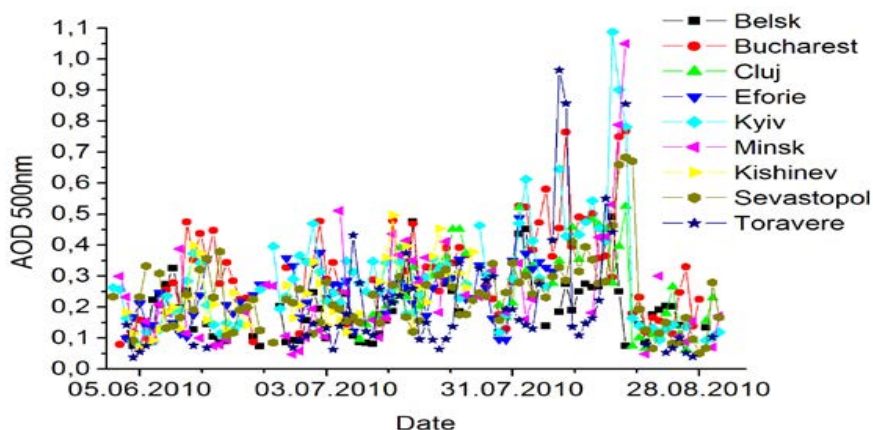


Рис. 1 – Зміна з часом щоденно усереднених AOD для довжини хвилі сонячного випромінювання 500 нм впродовж літа 2010 року

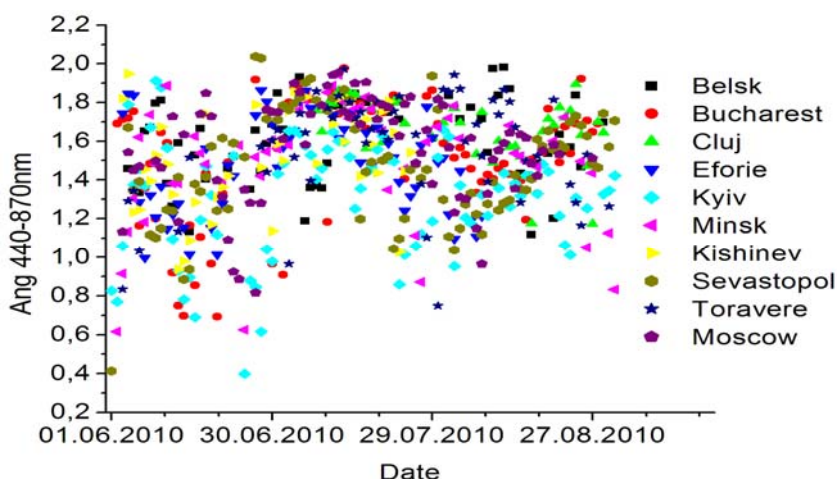


Рис. 2 – Зміна з часом щоденно усереднених значень параметра Ангстрема для діапазону 440 – 870 нм впродовж літа 2010 року.

Для встановлення частоти спостережуваних AOD у різних діапазонах були побудовані криві

її розподілу для кожного з досліджуваних міст, представлені на рис. 3, на осі абсцис якого нане-

сені діапазони AOD (від 0 до 0,1, від 0,1 до 0,2 і т.д), на осі ординат – відносна частка AOD, що належить до відповідних інтервалів значень. З рис.3 видно, що значення AOD в межах 0 – 0,3 спостерігалися найчастіше: для Севастополя у понад 30% усіх вимірювань, Києва, Бельська, Бухареста – у 15 – 20%. Загальною рисою, притаманною усім досліджуваним станціям, є переважання малих значень AOD (в межах 0 – 0,4). AOD понад 0,7 реєструвалися досить рідко (0-3% усіх одержаних значень).

Безперечно, максимуми AOD в кінці липня – на початку серпня, що спостерігалися на досліджуваних станціях, сприяли виявленню джерела їх надходження. Результати зазначених вище досліджень (див. Вступ) пов'язують явища підвищеного вмісту аерозолів у цьому регіоні з впливом лісових пожеж на Європейській території Росії (ЄТР). Саме тому у нашому дослідженні була використана інформація про локалізацію та інтенсивність пожеж на території Східної Європи влітку 2010 р. за даними супутникового приладу MODIS.

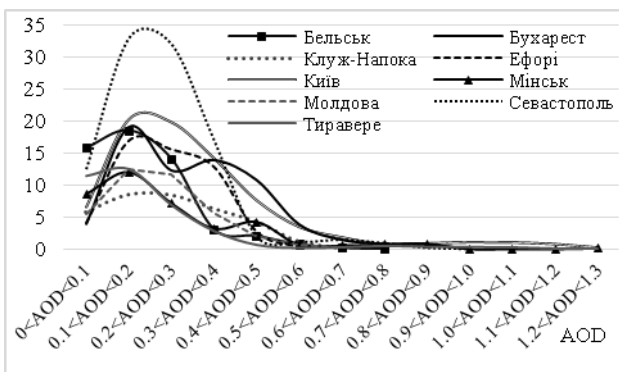


Рис. 3 – Криві розподілу AOD 500 нм за інтервалами значень протягом літа 2010 року для різних станцій (у відсотках від усієї кількості даних для кожної станції).

Необхідно зазначити, що пожежі після середини липня відбувалися не лише на ЄТР, а і на території України, Молдови та Польщі. Причому їхня кількість та інтенсивність сягнули максимуму в кінці липня – на початку серпня. За даними Українського гідрометцентру над Україною у досліджуваний період був встановлений високий та надзвичайний клас пожежної небезпеки.

Для виявлення причин накопичення аерозолів у атмосфері над досліджуваною територією нами було проаналізовано синоптичну ситуацію для кожного окремого періоду літа 2010 року. Протягом червня та липня на території України спостерігалась нестійка погода, яку визначали в основному атмосферні фронти та циклонічна циркуляція повітряних мас. Упродовж 1-17 серпня в Україні встановився аномальний характер погоди, що відзначався стійким положенням висотного антициклону та гребеня над ЄТР та Уралом. Внаслідок цього на територію України поширювалося субтропічне повітря, яке зумовило спекотну погоду (див. також у [25]). Відповідно, в першу половину серпня спостерігались сприятливі умови для накопичення аерозолів у атмосфері над зазначеними територіями. 18 – 21 серпня атмосферні фронти зумовили суттєву зміну погоди у Східній Європі, що призвело до різкого спаду вмісту аерозолів над залученими до досліджень спостережними станціями у другій половині серпня.

З більшою деталізацією джерела надходження аерозолів можна встановити, побудувавши зворотні траєкторії для об'ємів повітря, що надійшли до місця спостережень на середину конкретного дня на різних висотах. З цією метою для кожної з досліджуваних станцій для днів з максимальним вмістом аерозолів були побудовані зворотні траєкторії руху повітряних мас, що надійшли протягом 168 годин, тобто 7 днів (рис.4), до відповідної станції на висотах 500, 1500 та 3000, 4000 та 5000 м на 12 годину за Грінвичем.

Спершу максимуми вмісту аерозолів були зафіксовані в Молдові та Бельську (13 та 16 липня відповідно). Обчислені для цих міст зворотні траєкторії показані на рис. 4а. Причому, якщо до Молдови аерозолі надходили і з Європи (на висоті 3 – 4 км), і з ЄТР (0,5 км) і з району Чорного моря (1,5 км), то у Бельську були переважно аерозолі з Атлантичного океану, які переносились через Європу (1,5 – 5 км) та Прибалтики (0,5 км).

У двох пунктах Румунії (Клуз-Напока та Ефорі) максимум AOD був зафіксований 1 серпня. Відповідно до рис. 4б, спільною рисою, притаманною обома містам, було надходження аерозолів у нижньому 1,5 км шарі з районів пожеж на південному сході України та з Молдови.

починаючи з середини липня по середину серпня. Найбільший максимум AOD був зафіксований у Москві (AOD(500 нм) = 4,62), що обумовлено близькістю розташування міста до джерела забруднення. Локалізація, інтенсивність пожеж та їхня часова динаміка були визначені за даними приладів MODIS, встановлених на супутниках NASA Aqua і Terra.

З синоптичного аналізу метеорологічних умов над зазначеними територіями протягом літа 2010 р. зроблено висновок про аномальність погодних умов другої половини літа, яка проявлялась в антициклонічному характері погоди з низькою хмарністю, відсутністю опадів, малими швидкостями вітру та високими температурами повітря над Східною Європою і сприяла накопиченню аерозолів в атмосфері. Зокрема, максимумами AOD у Києві, Севастополі, Мінську та Бухаресті в середині серпня були зумовлені впливом одного і того ж синоптичного процесу. Аналіз траєкторій руху повітряних мас, побудованих за допомогою моделі HYSPLIT для висот 0.5, 1.5, 3, 4 і 5 км, показали проте, що не над усіма включеними у аналіз станціями AERONET підвищений вміст аерозолів був зумовлений саме стихійними лісовими пожежами на території Росії. Зокрема, аерозолі над Бельськом (Польща) були принесені повітряними масами з заходу, над Тиравере (Естонія) – з Азії через регіони сильних пожеж на південному сході України, тоді як забруднення над Москвою і Мінськом зумовлене саме пожежами у Росії. Аерозолі ж у атмосферу над рештою міст надходили на різних висотах і з території Росії, і з інших регіонів, де спостерігалися пожежі у цей же період, зокрема на південному сході України.

ПОДЯКИ

Автори висловлюють подяку керівникам та іншим працівникам спостережних станцій AERONET Belsk, Bucarest, CLUJ_UBB, Eforie, Minsk, Moldova, Moscow_MSU_MO, Sevastopol, Toravere за забезпечення роботи станцій та одержані спостережні дані, використані у цій роботі.

We thank the PI investigators and their staff for establishing and maintaining Belsk, Bucarest, CLUJ_UBB, Eforie, Minsk, Moldova, Moscow_MSU_MO, Sevastopol, Toravere sites and data used in this investigation.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Birmili W., Schepanski K., Ansmann A., Spindler G., Tegen I., Wehner B., Nowak A., Reimer E., Mattis I., Müller K., Brüggemann E., Gnauk T., Herrmann H., Wiedensohler A., Althausen D., Schladitz A., Tuch T., and Löschau G. A case of extreme particulate matter concentrations over Central Europe caused by dust emitted over the southern Ukraine. *Atmos. Chem. Phys.*, 2008, vol.8, pp. 997-1016.
2. Bovchaliuk A., Milinevsky G., Danylevsky V., Goloub P., Dubovik O., Holdak A., Ducos F., Sosonkin M. Variability of aerosol properties over Eastern Europe observed from ground and satellites in the period from 2003 to 2011. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2013, vol.13, pp.6587–6602.
3. Bowman P., Lin C., Stohl A., Draxler R., Konopka P., Andrews A., Brunner D. Input Data Requirements Lagrangian Trajectory Models. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 2013, vol.94, pp.1051–1058.
4. Chubarova N., Nezval' Ye., Sviridenkov I., Smirnov A., Slutsker I. Smoke aerosol and its radiative effects during extreme fire event over Central Russia in summer 2010. *Atmospheric Measurement Techniques*, 2012, vol.5, pp.557–568.
5. Davies D.K., Ilavajhala S., Wong M.M., Justice C.O. Fire Information for Resource Management System: Archiving and Distributing MODIS Active Fire Data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2009, vol.47 (1), pp.72-79.
6. Draxler R.R., Hess G.D. An overview of the HYSPLITp4 modeling system for trajectories, dispersion, and deposition. *Aust. Meteor. Mag.*, 1997, vol.47, pp.295–308.
7. Draxler R.R., Hess G.D. Description of the HYSPLIT-4 modeling system. *NOAA Tech. Memo*, 1997, ERL ARL-224, 25 p.
8. Dubovik O., King M. A flexible inversion algorithm for retrieval of aerosol optical properties from Sun and sky radiance measurements. *Journal of Geophysical Research*, 2000, vol.105, pp.20673-20696.
9. Dubovik O., Smirnov A., Holben B.N., King M.D., Kaufman Y.J., Eck T.F., Slutsker I. Accuracy assessments of aerosol optical properties retrieved from Aerosol Robotic Network (AERONET) Sun and sky radiance measurements. *Journal of Geophysical Research*, 2000, vol.105, pp.9791–9806.
10. Hinds W. (Ed.). *Aerosol technology: properties, behavior, and measurement of airborne particles, 2nd Ed.* New York, Wiley, 1999. 504 p.
11. Holben B.N., Eck T.F., Slutsker I., Tanre D., Buis J.P., Setzer A., Vermote E., Reagan J.A., Kaufman Y.J., Nakajima T., Lavenu F., Jankowiak I., Smirnov A. AERONET - a federated instrument network and data archive for aerosol characterization, *Remote Sensing of Environment*, 1998, vol.66, pp.1 – 16.
12. Justice C.O., Giglio L., Korontzi S., Owens J., Morisette Roy D., Descloitres J., Alleaume S., Petitcolin F., Kaufman Y. The MODIS fire products, *Remote Sensing of Environment*, 2002, vol.83. pp.244 – 262.
13. Ramachandran B., Justice C.O., Abrams M.J. (Eds). *Land Remote Sensing and Global Environmental Change*. Springer, New York, 2011, 679 p.
14. Kokhanovsky A.A. *Aerosol optics. Light absorption and scattering by particles in the atmosphere*. Springer and Praxis Publishing, 2008, 146 p.
15. Konovalov I.B., Beekmann M., Kuznetsova I.N., Yurova A., Zvyagintsev A.M. Atmospheric impacts of the

- 2010 Russian wildfires: integrating modelling and measurements of an extreme air pollution episode in the Moscow region. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2011, vol.11, pp.10031–10056.
16. Milinevsky G., Danylevsky V., Bovchaliuk V., Bovchaliuk A., Goloub Ph., Dubovik O., Kabashnikov V., Chaikovsky A., Miatselskaya N., Mishchenko M., Sosonkin M.. Aerosol seasonal variations over urban–industrial regions in Ukraine according to AERONET and POLDER measurements. *Atmospheric Measurement Techniques*, 2014, vol.7, pp.1459–1474.
 17. Péré J.C., Bessagnet B., Mallet M., Waquet F., Chiappello I., Minvielle F., Pont V., Menut L. Direct radiative effect of the Russian wildfires and its impact on air temperature and atmospheric dynamics during August 2010. *Atmos. Chem. Phys.*, vol.14, pp.1999–2013.
 18. Schroeder W., Prins E., Giglio L., Csiszar I., Schimdt C., Morisette J., Morton D. Validation of GOES and MODIS active fire detection products using ASTER and ETM+ data. *Remote Sensing of Environment*, 2008, vol.112, pp.2711–2726.
 19. Stohl A. Computation, accuracy and applications of trajectories – a review and bibliography. *Atmospheric Environment*, 1998, vol. 32, no.6, pp.947–966.
 20. Witte J.C., Douglass A.R., da Silva A., Torres O., Levy R., Duncan B.N. NASA A-Train and Terra observations of the 2010 Russian wildfires. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2011, vol.11, pp.9287–9301.
 21. Бовчалюк А.П. Вплив пожеж на розподіл аерозолу над Україною за даними супутникових та наземних вимірювань / А.П. Бовчалюк // Косм. наука і технологія. - 2013. - 19, № 5. - С. 27-41.
 22. Галицька Є.І. Науково-методичні аспекти використання Лагранжевої моделі HYSPLIT для побудови траєкторій повітряних потоків /Є.І. Галицька, С.І. Сніжко, В.О. Данилевський //Фізична географія та геоморфологія. – 2014. - Вип.1 (73).- С. 138-146.
 23. Калинин Д.В. Исследование особенностей оптических характеристик пылевого аэрозоля над Черным морем / Д.В. Калинин // Экологічна безпека прибережної та шельфової зон та комплексне використання ресурсів шельфу: Зб. наук. пр. — Севастополь, 2012. — Вип. 26, том 2. — С. 151-162.
 24. Райст П. Аэрозоли. Введение в теорию: Пер. с англ. / П Райст. – Москва: Мир, 1987.- 280 с.
 25. Шевченко О.Г. Характеристика синоптических процессов над территорией Украины во время волны тепла в июле-августе 2010 г. /О.Г. Шевченко, Е.В. Самчук, С.И. Снежко // Ученые записки РГГМУ. - 2013. - № 29. - С. 85-94.
- ## REFERENCES
1. Birmili W., Schepanski K., Ansmann A., Spindler G., Tegen I., Wehner B., Nowak A., Reimer E., Mattis I., Müller K., Brüggemann E., Gnauk T., Herrmann H., Wiedensohler A., Althausen D., Schladitz A., Tuch T., and Löschau G. A case of extreme particulate matter concentrations over Central Europe caused by dust emitted over the southern Ukraine. *Atmos. Chem. Phys.*, 2008, vol.8, pp. 997-1016.
 2. Bovchaliuk A., Milinevsky G., Danylevsky V., Goloub P., Dubovik O., Holdak A., Ducos F., Sosonkin M. Variability of aerosol properties over Eastern Europe observed from ground and satellites in the period from 2003 to 2011. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2013, vol.13, pp.6587–6602.
 3. Bowman P., Lin C., Stohl A., Draxler R., Konopka P., Andrews A., Brunner D. Input Data Requirements Lagrangian Trajectory Models. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 2013, vol.94, pp.1051–1058.
 4. Chubarova N., Nezval' Ye., Sviridenkov I., Smirnov A., Slutsker I. Smoke aerosol and its radiative effects during extreme fire event over Central Russia in summer 2010. *Atmospheric Measurement Techniques*, 2012, vol.5, pp.557–568.
 5. Davies D.K., Ilavajhala S., Wong M.M., Justice C.O. Fire Information for Resource Management System: Archiving and Distributing MODIS Active Fire Data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2009, vol.47 (1), pp.72-79.
 6. Draxler R.R., Hess G.D. An overview of the HYSPLITp4 modeling system for trajectories, dispersion, and deposition. *Aust. Meteor. Mag.*, 1997, vol.47, pp.295–308.
 7. Draxler R.R., Hess G.D. Description of the HYSPLIT-4 modeling system. *NOAA Tech. Memo*, 1997, ERL ARL-224, 25 p.
 8. Dubovik O., King M. A flexible inversion algorithm for retrieval of aerosol optical properties from Sun and sky radiance measurements. *Journal of Geophysical Research*, 2000, vol.105, pp.20673-20696.
 9. Dubovik O., Smirnov A., Holben B.N., King M.D., Kaufman Y.J., Eck T.F., Slutsker I. Accuracy assessments of aerosol optical properties retrieved from Aerosol Robotic Network (AERONET) Sun and sky radiance measurements. *Journal of Geophysical Research*, 2000, vol.105, pp.9791–9806.
 10. Hinds W. (Ed.). *Aerosol technology: properties, behavior, and measurement of airborne particles*, 2nd Ed. New York, Wiley, 1999. 504 p.
 11. Holben B.N., Eck T.F., Slutsker I., Tanre D., Buis J.P., Setzer A., Vermote E., Reagan J.A., Kaufman Y.J., Nakajima T., Lavenu F., Jankowiak I., Smirnov A. AERONET - a federated instrument network and data archive for aerosol characterization, *Remote Sensing of Environment*, 1998, vol.66, pp.1 – 16.
 12. Justice C.O., Giglio L., Korontzi S., Owens J., Morisette Roy D., Descloitres J., Alleaume S., Petitcolin F., Kaufman Y. The MODIS fire products, *Remote Sensing of Environment*, 2002, vol.83. pp.244 – 262.
 13. Ramachandran B., Justice C.O., Abrams M.J. (Eds). *Land Remote Sensing and Global Environmental Change*. Springer, New York, 2011, 679 p.
 14. Kokhanovsky A.A. *Aerosol optics. Light absorption and scattering by particles in the atmosphere*. Springer and Praxis Publishing, 2008, 146 p.
 15. Konovalov I.B., Beekmann M., Kuznetsova I.N., Yurova A., Zvyagintsev A.M. Atmospheric impacts of the 2010 Russian wildfires: integrating modelling and measurements of an extreme air pollution episode in the Moscow region. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2011, vol.11, pp.10031–10056.
 16. Milinevsky G., Danylevsky V., Bovchaliuk V., Bovchaliuk A., Goloub Ph., Dubovik O., Kabashnikov V., Chaikovsky A., Miatselskaya N., Mishchenko M., Sosonkin M.. Aerosol seasonal variations over urban–industrial regions in Ukraine according to AERONET and POLDER measurements. *Atmospheric Measurement Techniques*, 2014, vol.7, pp.1459–1474.
 17. Péré J.C., Bessagnet B., Mallet M., Waquet F., Chiappello I., Minvielle F., Pont V., Menut L. Direct radiative effect of the Russian wildfires and its impact on air temperature and atmospheric dynamics during August 2010. *Atmos. Chem. Phys.*, vol.14, pp.1999–2013.

18. Schroeder W., Prins E., Giglio L., Csizsar I., Schimdt C., Morisette J., Morton D. Validation of GOES and MODIS active fire detection products using ASTER and ETM+ data. *Remote Sensing of Environment*, 2008, vol.112, pp.2711-2726.
19. Stohl A. Computation, accuracy and applications of trajectories – a review and bibliography. *Atmospheric Environment*, 1998, vol. 32, no.6, pp.947 – 966.
20. Witte J.C., Douglass A.R., da Silva A., Torres O., Levy R., Duncan B.N. NASA A-Train and Terra observations of the 2010 Russian wildfires. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2011, vol.11, pp.9287–9301.
21. Bovchaliuk A. Vplyv pozhezh na rozpodil aerezolyu nad Ukrainoiu za danymy sputnykovykh ta nazemnykh vymiryuvan' [Fire impact on aerosol distribution over Ukraine from satellite and ground-based measurements]. *Kosm. nauka i tekhnolohiya. - Space science and technology*, 2013, vol.19, no.5, pp.27-41.
22. Galytska E., Snizhko S., Danylevsky V. Naukovometodychni aspekty vykorystannya Lagranzhevoi' modeli HYSPLIT dlya pobudovy trayektorii povitryanykh potokiv [Scientific methodological aspects of using Lagrangian Trajectory model HYSPLIT]. *Fizychna heografiya ta heomorfologiya - Physical geography and Geomorphology*, 2014, vol.1 (73), pp.138-146.
23. Kalinskaya D.V. Issledovanie osobennostey opticheskikh kharakteristik pylevogo aerezolya nad Chernym morem [Research of optical characteristics features of dust aerosol over the Black Sea]. *Ekolohichna bezpeka pryberezhnoi' ta shel'fovoi' zon ta kompleksne vykorystannya resursiv shel'fu - Ecological safety of coastal and shelf zones and complex use of shelf resources*. Sevastopol, 2012, vol.2, pp.151-162.
24. Rajst P. Ajerzoli. Vvedenie v teoriju: per. s angl. [*Aerosols. Introduction to the theory: transl. from Engl.*]. Moskow: Mir, 1987. 280 p.
25. Shevchenko O., Samchuk E., Snezhko S. Kharakteristika sinopticheskikh protsessov nad territoriey Ukrainy vo vremya volny tepla v iyule-avguste 2010 g. [Characteristics of synoptic processes during heat wave in July-August 2010 in Ukraine]. *Uchenye zapiski RGGMU - Scientific notes of Russian state hydrometeorological university*, 2013, №29, pp.85-94.

AEROSOLS DYNAMICS IN THE ATMOSPHERE OVER EASTERN EUROPE BY MEANS OF AERONET ACCORDING TO WEATHER CONDITIONS DURING SUMMER 2010

E. Galytska^{1,2}, *Ph.D. student*
V. Danylevsky¹, *Cand. Sci. (Phys.-Math.)*
S. Snizhko¹, *Dr Sci. (Geogr.)*

¹-Taras Shevchenko National University of Kyiv;
64/13, Volodymyrska Street, City of Kyiv, Ukraine, 01601, tempo2007@meta.ua

²- Bremen University, Institute of Environmental Physics
Otto-Hahn-Allee 1, Bremen, Germany, 330440, egalytska@gmail.com

Introduction. Aerosols in the Earth's atmosphere are not only air pollutants but also a factor that affects the climate. The study of the dynamics of aerosol layer properties and aerosol particles properties, and revealing sources of the atmosphere pollution by aerosols is one of the urgent problems of modern environmental sciences. Monitoring of the air pollution caused by aerosols contributes to the determination of its effects on the climate and to the reduction of its negative impacts on the health of the population.

The purpose of this paper is to present the analysis of the dynamics of aerosols in the atmosphere over Eastern Europe. Thus, latest technologies and approaches are used: remote ground-based measurements of the optical properties of aerosol particles with the international sun photometers network AERONET; analysis of fires distribution during summer 2010 with the data application from satellite instrument MODIS; atmospheric dynamics research with the analysis of synoptic situation and modeling of transport of particles with the application of HYSPLIT model.

Results. The peculiarities of changes of aerosol optical depth at 500 nm spectral channel and Angstrom parameter 440-870 nm for 10 AERONET stations in Eastern Europe are discussed in the article. The authors provide complex analysis of aerosols distribution together with natural processes as forest fires and overview these processes considering weather conditions that were conducive for aerosols accumulation during that time. HYSPLIT back trajectories for mentioned stations in the altitude 0.5, 1.5, 3, 4 and 5 km are used as the improvement of results of synoptic analysis. Clear advantage of modelling of transport processes give the ability to receive detailed transport paths, which makes easier to distinguish the origin of aerosols.

Conclusion. Detailed research of aerosols with the application of up-to-date technologies makes the analysis of the optical properties of aerosols over large area quite efficient. The obvious effect of forest fires in European territory of Russia (UTR) on air quality of observational stations

of Ukraine, Russia, Moldova, Romania, Poland, Belarus and Estonia is detected and analysed. The further application of satellite measurements of optical properties of aerosols are attempted to be implemented to the further research.

Keywords: aerosols, AERONET, Eastern Europe, synoptic analysis, back trajectories, HYSPLIT.

ДИНАМИКА АЭРОЗОЛЕЙ В АТМОСФЕРЕ НАД ВОСТОЧНОЙ ЕВРОПОЙ ПО ДАННЫМ АERONET ПОД ВЛИЯНИЕМ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ В ТЕЧЕНИЕ ЛЕТА 2010

Е.И. Галицкая^{1,2}, асп.,
В.А. Данилевский¹,
С.И. Снежко¹, д. геогр. н.

¹ Киевский национальный университет имени Тараса Шевченка,
Украина, 01601, город Киев, ул. Владимирская, 64/13, tempo2007@meta.ua

² Бременский университет, Институт физики окружающей среды
Германия, 330440, город Бремен, ул. Отто-Ханн-Аллее 1, egalytska@gmail.com

В работе представлены результаты анализа данных о спектральных оптических характеристиках аэрозолей в атмосфере над Восточной Европой по измерениям в международной сети солнечных фотометров AERONET, а также динамики пожаров растительности на этой территории летом 2010 года по данным спутникового прибора MODIS. Было выявлено и проанализировано влияние лесных пожаров, горения торфа и травяного покрова на содержание, динамику и свойства атмосферного аэрозоля над Украиной и прилегающими регионами с учетом развития синоптической ситуации и перемещений атмосферных масс. Для исследований путей перемещений аэрозолей в атмосфере были использованы обратные траектории движения воздушных масс к местам наблюдений, вычисленные с помощью модели HYSPLIT для высот 0.5, 1.5, 3, 4 и 5 км. Показано, что повышенное содержание аэрозолей над наблюдательными станциями AERONET, расположенными на территории Украины, России, Молдовы, Румынии, Польши, Беларуси и Эстонии, совпавшее по времени с периодом сильных лесных пожаров на Европейской территорией России (ЕТР), в разные периоды с середины июля до середины августа 2010 над различными территориями было обусловлено пожарами как на ЕТР, так и на юго-востоке Украины, в Молдове и Польше.

Ключевые слова: аэрозоли, AERONET, Восточная Европа, синоптический анализ, обратные траектории, HYSPLIT.

Дата першого подання: 27.09.2015

Дата надходження остаточної версії: 06.05.2016

Дата публікації статті: 04.07.2016

ОЦІНКА ЯКОСТІ ҐРУНТІВ ЗА РЕАКЦІЄЮ ҐРУНТОВОГО РОЗЧИНУ ТА ВМІСТОМ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ НА ПІВДНІ ОДЕСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Г.В. Ляшенко, д.геогр.н.,

Л.О. Прикуп, к.геогр.н.

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

В статті досліджено сучасний стан якості ґрунтів за реакцією ґрунтового розчину та вмістом важких металів на півдні Одеської області та надано оцінку якості ґрунтового покриву на досліджуваній території. Дослідження проведено за відповідними категоріями реакції ґрунтового розчину та порівнянні концентрацій важких металів зі значеннями гранично-допустимих концентрацій. На досліджуваній території переважають ґрунти з слабо лужною та лужною реакцією та повсюдно спостерігається наявність важких металів, що потребує проведення певних змін в організації різних типів угідь.

Ключові слова: якість ґрунтів, реакція ґрунтового розчину, важкі метали.

1. ВСТУП

Рациональне використання земельних ресурсів у сільськогосподарському виробництві, розробка та ефективність застосування комплексу заходів з регулювання та управління родючості ґрунтового покриву неможливі без знання фактичного агроекологічного стану, який визначається за сукупністю агрофізичних, фізико-хімічних та біологічних властивостей, а також з урахуванням забрудненості ґрунтового покриву важкими металами, радіонуклідами, залишками пестицидів. Найбільш прийнятним для цього є агроекологічний метод якісної оцінки ґрунтів за сукупністю внутрішніх властивостей, що характеризують здатність ґрунту забезпечувати потребу рослин у елементах живлення в конкретних умовах та реакції ґрунтового середовища [1].

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Кислотність ґрунтового покриву та вміст важких металів залежать від кількості внесених добрив, пестицидів, агрохімікатів та частоти і якості поливної води. Кислотність ґрунтів утворюється через присутність у ґрунтовому розчині іонів H^+ . Розрізняють два види кислотності: актуальну та потенційну. Актуальна кислотність обумовлена підвищеною концентрацією іонів водню, а утворюється при нестачі в ґрунті нейтралізуючих речовин. Потенційна кислотність обумовлена іонами водню та алюмінію, які можуть витіснитися при дії на ґрунт нейтральних солей (обмінна

кислотність), або менш рухливими іонами водню, які витісняються гідролітичною лужною сіллю (гідролітична кислотність) [2].

Під кислотністю розуміють здатність ґрунту підкислювати воду і розчини солей залежно від величини рН водної витяжки. Реакція ґрунтового розчину рН: дуже кисла 3-4; кисла 4-5; слабо кисла 5-6; нейтральна 7; слабо лужна 7-8; лужна 8-9; дуже лужна 9-10. Кисла реакція властива підзолистим, дерново-підзолистим, сірим лісовим і болотним ґрунтам; нейтральна – чорноземам; лужна – каштановим ґрунтам і солонцям [3].

Для розуміння екологічної небезпеки, пов'язаної з використанням пестицидів, необхідно враховувати процеси міграції їх в навколишньому природному середовищі. Крім характеристики забруднення ґрунтів в одиницях ГДК, оцінка ступеня їх забрудненості проводиться за ГОСТ 17.4.3.06-86, згідно з яким ґрунти класифікуються як: сильно забруднені, в яких вміст забруднюючих речовин у декілька разів перевищує ГДК; середньо забруднені, в яких вміст забруднюючих речовин перевищує ГДК, але без явних змін властивостей ґрунту; слабо забруднені, в яких вміст забруднюючих речовин не перевищує ГДК [4].

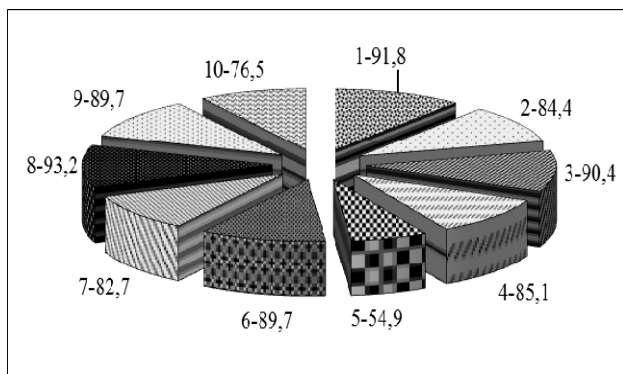
3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

До території півдня Одеської області входять 10 адміністративних районів області: Арцизький, Білгород-Дністровський, Болградський, Ізмаїльський, Кілійський, Овідіопольський, Ренійський, Саратський, Тарутинський та Татар-

бунарський райони.

На досліджуваній території районів поширені чорноземи звичайні малогумусні потужні міцелярно-карбонатні, чорноземи звичайні малогумусні середньопотужні міцелярно-карбонатні, чорноземи звичайні малогумусні малопотужні міцелярно-карбонатні та чорноземи південні середньопотужні слабкогумусовані міцелярно-карбонатні. Лише на невеликій площі даної території спостерігаються лучно-чорноземні ґрунти в комплексі з приморськими солончаками, лучно-чорноземні і лугові ґрунти та дернові замулені ґрунти на пісках [5].

Територія півдня Одеської області відноситься до числа одних з найбільш освоєних в сільськогосподарському відношенні земель. Сільськогосподарські угіддя тут становлять 54,9-93,2% (рис. 1), яким притаманна різна реакція ґрунтового розчину та вмісту важких металів.



Райони: 1 - Арцизький; 2-Білгород-Дністровський; 3 - Болградський; 4 - Ізмаїльський; 5 - Кілійський; 6 - Овідіопольський; 7 - Ренійський; 8 - Саратський; 9 - Тарутинський; 10 - Татарбунарський

Рис. 1 – Сільськогосподарські угіддя в південних районах Одеської області

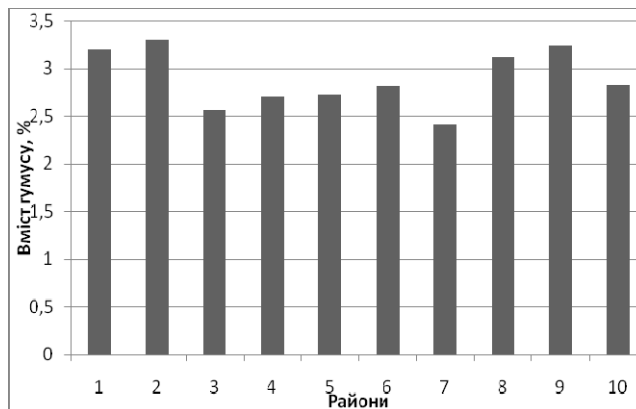
Хімічне забруднення ґрунтів зберігається упродовж тривалого часу, тому що здатність ґрунтів до самоочищення невелика або її може не бути зовсім. Значну шкоду ґрунтамносять забруднення важкими металами, найбільш небезпечними з яких є Hg, Pb, Cd, Cu, Zn [6].

Згідно із дослідженнями ґрунтового покриву, проведеними в останнє десятиріччя [7], запаси гумусу у ґрунтах на території районів становлять 3,30 – 2,42 % та знижуються з півночі на південь (рис. 2).

Найменший вміст гумусу спостерігається в придунайських і приморських районах (Болградський, Ізмаїльський, Кілійський, Овідіопольський, Ренійський та Татарбунарський райони) та змінюється від 2,42 % до 2,83 %. Більше 3,0% він складає в ґрунтах Білгород-

Дністровського, Тарутинського, Саратського і Арцизького районів.

Найбільший вміст гумусу спостерігається в ґрунтовому покриві Білгород-Дністровського району.



Райони: 1-Арцизький; 2-Білгород-Дністровський; 3-Болградський; 4-Ізмаїльський; 5-Кілійський; 6-Овідіопольський; 7-Ренійський; 8-Саратський; 9-Тарутинський; 10-Татарбунарський

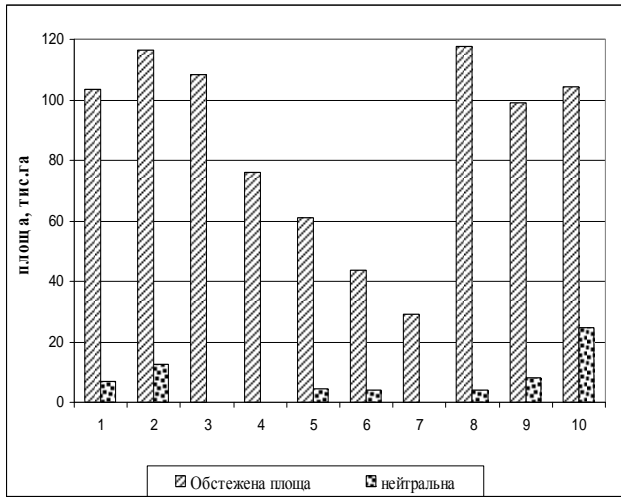
Рис. 2 – Вміст гумусу в ґрунтовому покриві на півдні Одеської області.

З огляду вирощування сільськогосподарських культур та їх потреб в гумусі розподіл вмісту гумусу в ґрунтовому покриві по всій досліджуваній території змінюється від дуже низького до підвищеного.

Згідно із дослідженнями [8], проведеними в 2008 р., землі сільськогосподарських підприємств області мають різні значення рН. На всій досліджуваній території відсутні дуже кислі (<4,6), кислі (4,6-5,0), слабо кислі (5,6-6,0) та дуже лужні (>9,0) ґрунти.

ґрунти з нейтральною реакцією ґрунтового розчину не спостерігаються на території трьох районів: Болградського, Ізмаїльського, Ренійського районів. На території семи адміністративних районів відсоток земель з нейтральною реакцією ґрунтового розчину від обстеженої площі змінюється в межах 3-23 тис.га (рис. 3).

На території десяти досліджуваних районів спостерігаються ґрунти з слабо лужною реакцією, однак їх розподіл неоднорідний по території (рис. 4). В Саратському районі слабо лужні ґрунти становлять 75 % від загальної площі району, а в Болградському – 63,6%. Площі територій зі слабо лужними ґрунтами змінюються від 9 тис.га в Кілійському районі до 78 тис.га в Саратському.



Райони: 1-Арцизький; 2-Білгород-Дністровський; 3-Болградський; 4-Ізмаїльський; 5-Кілійський; 6-Овідіопольський; 7-Ренійський; 8-Саратський; 9-Тарутинський; 10-Татарбунарський

Рис. 3 - Площа ґрунтів з нейтральною рН-реакцією на півдні Одеської області

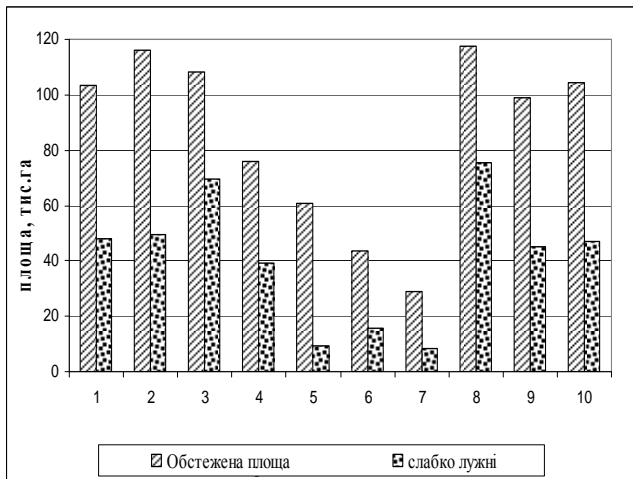


Рис. 4 - Площа ґрунтів з слабко лужною рН-реакцією на півдні Одеської області

Площі ґрунтів з лужною реакцією спостерігаються на території всіх досліджуваних районів на півдні Одеської області та змінюються від 20 тис.га в Ренійському районі до 55 тис.га в Білгород-Дністровському (рис. 5). Близько третини від загальної площі районів займають лужні ґрунти в Болградському, Саратському, Тарутинському та Татарбунарському районах. В Арцизькому, Білгород-Дністровському, Ізмаїльському та Овідіопольському районах площі земель з лужними ґрунтами становлять близько половини загальних площ районів. В Кілійському районі відсоток таких земель рівний 83% від загальної площі, а в Ренійському – 74%.

Порівнюючи ґрунти за різною реакцією

ґрунтового розчину (рис. 6) виявлено, що слаболужні ґрунти в Кілійському районі займають 77 % від обстеженої площі. Не найкраща ситуація і в Ренійському районі, де ґрунти зі слаболужною рН-реакцією охоплюють 69% території. Найменший відсоток слаболужних ґрунтів відзначається на території Саратського і Татарбунарського районів. Середнє значення відсоткового співвідношення змінюється від 35 до 54 % в Арцизькому, Білгород-Дністровському, Болградському, Ізмаїльському, Овідіопольському та Тарутинському районах.

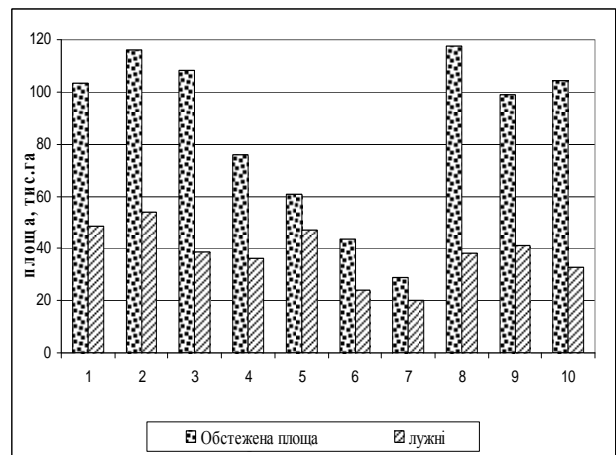


Рис. 5 - Площа ґрунтів з лужною рН-реакцією на півдні Одеської області

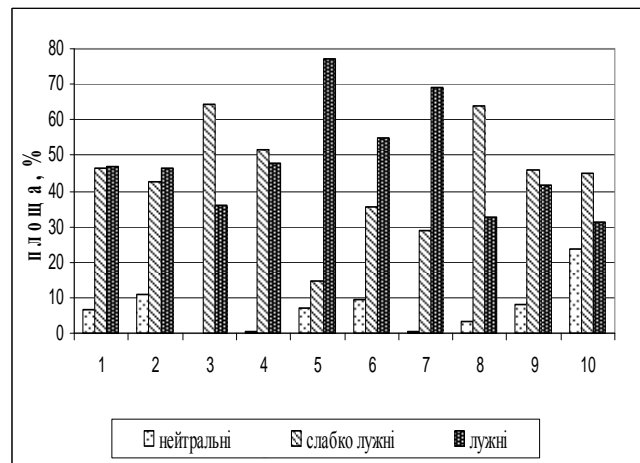


Рис. 6 - Співвідношення ґрунтів з різною реакцією ґрунтового розчину на території півдня Одеської області

В ґрунтового покриві території півдня Одеської області відзначаються значні площі земель з нейтральною, слабко лужною та лужною рН-реакцією ґрунтового розчину. ґрунти з нейтральною реакцією виявлені на незначних територіях та становить 0-11%. Виділяється лише Татарбунарський район, в якому дана вели-

чина сягає 23 %. Грунти з слабо лужною реакцією значно переважають над нейтральними та слабо лужними ґрунтами в Болградському та Саратському районах (64-64,2 %). Незначна різниця між слабо лужними та лужними ґрунтами простежується в Арцизькому, Білгород-Дністровському, Ізмаїльському та Тарутинському районах. А на територіях Кілійського, Овідіопольського та Ренійського районів спостерігаємо перевагу ґрунтів з лужною рН-реакцією, відсоток яких змінюється в межах 54-77 % від обстеженої площі. Слабо кислі ґрунти (5,1-5,5) спостерігаються лише на території Білгород-Дністровського району та займають 100 га від загальної площі району. Середньо-лужні ґрунти (8,1-8,5) виявлено в Кілійському, Овідіопольському, Ренійському та Тарутинському районах, площі яких змінюються в межах 0,5 – 4,3 % від загальної обстеженої площі. З проведених досліджень виявлено, що на території півдня Одеської області переважають ґрунти з потенційною, гідролітичною кислотністю.

За вмістом важких металів у ґрунті (свинцю, кадмію, марганцю, цинку, міді, кобальту та ртуті) ситуація на досліджуваній території значно відрізняється. Вміст кадмію, свинцю і ртуті у ґрунтах не перевищує ГДК і становить відповідно 30,0 - 3,0 та 2,1 мг/кг). Коливання вмісту цих металів у ґрунті по території відзначаються в межах 9,5-13,3; 0,11-0,67 і 0,0382-0,1760 мг/кг. Для території Кілійського, Овідіопольського, Ренійського, Саратського, та Тарутинського районів за вмістом міді та кобальту відсутні вихідні дані. На території 5-ти районів, для яких отримано вихідні дані, спостерігається перевищення допустимої норми, так як ГДК міді становить 3 мг/кг. ГДК міді в 3 рази більша в Болградському районі. В Ізмаїльському районі значення досягає максимуму та рівне 9,8 мг/кг. В районах, що містять вихідну інформацію за вмістом кобальту спостерігається перевищення ГДК. Мінімальний вміст кобальту спостерігається в Болградському районі, а максимальний - в Татарбунарському та змінюється в межах 4,7-6,8 мг/кг.

Найвищий вміст свинцю спостерігається в ґрунтах Кілійського і Ренійського районів, а найменший – в Тарутинському, Саратському і Арцизькому районах. Найвищий вміст кадмію відзначається в Тарутинському районі (0,67 мг/кг). Високий вміст ртуті у ґрунті простежується також в Кілійському і Ренійському районах, а також в Тарутинському районі, а найвищий – в Овідіопольському, де

становить 0,1760 мг/кг. За вмістом цинку його концентрація у ґрунтах не перевищує ГДК.

Вміст свинцю в ґрунтовому покриві адміністративних районів становить 9,4-13,3 мг/кг. Найвищий вміст свинцю спостерігається в ґрунтах Кілійського району, найменший – в Болградському. Середній вміст свинцю в ґрунтовому покриві становить 10,9 мг/кг. Вміст свинцю в ґрунтовому покриві Болградського, Арцизького, Татарбунарського та Білгород-Дністровського районів не перевищує 10 мг/кг. Вищі концентрації свинцю зосереджені на території крайніх північних (Овідіопольського, частково Тарутинського та Саратського) та південних районів (Ренійського, Ізмаїльського та Кілійського).

Вміст кадмію в ґрунтовому покриві значно коливається та змінюється від 0,11 до 0,67 мг/кг. Середній вміст по району становить 0,325 мг/кг. В жодному районі не спостерігається перевищення ГДК. Найменший вміст спостерігається в 3-х районах: Арцизькому, Білгород-Дністровському та Татарбунарському (0,11 мг/кг), а найвищий відзначається в Тарутинському районі (0,67 мг/кг).

На території Ренійського району вміст кадмію становить 0,57 мг/кг, а на території Овідіопольського – 0,6 мг/кг. Виявлено закономірність, що вищі концентрації кадмію, як і свинцю, зосереджені в ґрунтовому покриві крайніх північних та південних районів.

За вмістом марганцю, міді і кобальту у ґрунтах досліджуваної території спостерігається повсюдне перевищення ГДК. Так, при ГДК 50,0 мг/кг кількість марганцю у ґрунтах Кілійського, Овідіопольського, Ренійського, Саратського і Татарбунарського районів відповідно становить 86,8; 71,7; 75,8; 66,6 і 56,8 мг/кг. Вміст міді в ґрунтах усіх районів в 1,5- 2,5 рази перевищує ГДК (3,0 і 5,0 мг/кг), а в Ізмаїльському районі – в 3 рази. Перевищення ГДК за вмістом кобальту становить 1,2 - 1,3.

Середній вміст марганцю по всім районам рівний 58,3 мг/кг. На території Ізмаїльського, Болградського, Арцизького, Тарутинського та Білгород-Дністровського районів відношення величин до ГДК змінюється в межах 51-75%, а на території Ренійського, Кілійського, Татарбунарського, Саратського та Овідіопольського адміністративних районів показники перевищують ГДК.

Середній вміст ртуті по території становить 0,0879 мг/кг, а ГДК ртуті 2,1 мг/кг, тобто в даних районах не спостерігається перевищення допустимої норми. Найнижчий вміст ртуті

спостерігається на території Арцизького, Болградського та Ізмаїльського районів. В Овідіопольському районі спостерігаємо найвищий вміст ртуті (0,1760 мг/кг) в ґрунтовому покриві. В межах Татарбунарського, Саратського та Білгород-Дністровського районів вміст ртуті в ґрунтовому покриві змінюється від 0,0465 до 0,0628 мг/кг. Найвищий вміст ртуті спостерігається на території Ренійського та Овідіопольського районів, де відповідно становить 0,1717 та 0,176 мг/кг, а на території Тарутинського та Кілійського районів – 0,13 мг/кг.

ВИСНОВКИ

Щоб перевести важкі метали в малорухомі форми, на кислих ґрунтах проводять вапнування, на лужних — гіпсування. З цією ж метою можна використовувати фосфорні та органічні добрива. Утворюючи комплекси, важкі метали стають менш рухомими й в менших кількостях надходять до рослин. Знизити надходження важких металів у рослини можна й шляхом внесення у ґрунт органічних іонообмінних речовин — цеолітів, гранул полістиролу, кремнійорганічних сполук. Заслугове на увагу й підбір культур та сортів, котрі накопичують мінімальну кількість важких металів. На забруднених ґрунтах перевагу слід надавати технічним культурам (льону, коноплі, бавовнику та ін.). Найбільш забруднені ґрунти відводять під заліснення.

Припинення сільськогосподарської діяльності рекомендується на територіях, де забруднення важкими металами повітря, вод, ґрунтів й рослин досягає критичного рівня для здоров'я людей, а система сучасних захисних методів не є ефективною. Повернення таких земель у сільськогосподарське виробництво можливе лише після різкого зниження рівня промислового забруднення та докорінної рекультивациі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Крикунова О.В. Агроекологічні аспекти оцінки ґрунтів в системі ґрунтозахисних технологій /О.В. Крикунова //Матеріали Міжнародної конференції «Молодь у вирішенні екологічних та соціально-економічних проблем сьогодення», 15-20 жовтня 2012. – С. 48-49.

2. Ярошко М. Кислотність ґрунтів та її вплив на живлення рослин /М. Ярошко //Агроном №1, лютий 2013 р. – С. 30-34.
3. Земельні ресурси України /За ред. В.В. Медведєва, Т.М. Лактіонової. – К.: Аграрна наука, 1998. – 150 с.
4. Сафранов Т.А. Загальна екологія та неоекологія: Конспект лекцій /Т.А. Сафранов. – К.: КНТ, 2005. – 188 с.
5. Атлас Одеської області. – Одеса: ХОРС, 2002. – 36 с.
6. Сафранов Т.А. Екологічні основи природокористування: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів /Т.А. Сафранов. – Львів: «Новий Світ-2000», 2003. – 248 с.
7. Кісеолар М.Г. Засади щодо охорони та збереження родючості ґрунтів Одеської області /М.Г. Кісеолар, А.Г. Новаковський, В.П. Онишук та ін. – Одеса: Науково-виробниче видання, 2008. – 105 с.
8. Кулиджанов Г.В. Экологическое состояние почвенного покрова Одесской области /Г.В. Кулиджанов //Агроекологічний журнал. – 2010. – №4. – С. 60-64.

REFERENCES

1. Krykunova O.V. Ahroekologichni aspekty otsinky hruntiv v systemi hruntozakhysnykh tekhnolohiy [Agroecological aspects of soil evaluation system of soil technologies]. *Materialy Mizhnarodnoi konferentsii «Molod' u vyrishenni ekolohichnykh ta sotsialno-ekonomichnykh problem syohodennya»* [International Conference "Youth in environmental, social and economic problems of today"], 15-20 October 2012, pp. 48-49.
2. Yaroshko M. Kyslotnist' hruntiv ta ii vplyv na zhyvlennya roslyn [The acidity of the soil and its effect on plant nutrition]. *Agronom №1* [Agronomist no. 1], February 2013, pp. 30-34.
3. Medvedev V.V., Laktionova T.M. (Eds). *Zemelni resursy Ukrainy* [Land Resources of Ukraine]. Kyiv: Agrarna nauka, 1998. 150 p.
4. Safranov T.A. *Zagalna ekolohiya ta neoekolohiya* [General Ecology and Neoecology]. Kyiv: KNT, 2005. 188 p.
5. *Atlas Odeskoy oblasti* [Atlas of the Odessa region]. Odessa: HORS, 2002. pp. 36.
6. Safranov T.A. *Ekolohichni osnovy pryrodokorystuvannya: Navchal'nyy posibnyk dlya studentiv vyshchyykh navchal'nykh zakladiv* [Ecological bases of nature: A manual for university students]. Lviv: «Novyy Svit-2000», 2003. 248 p.
7. Kiseolar M.G., Novakovs'kyu A.G., Onyshchuk V.P. etc. *Zasady shchodo okhorony ta zberezhennya rodyuchosti hruntiv Odes'koi oblasti* [Principles for the protection and preservation of soil fertility of Odessa region]. Odessa: Naukovo-vyrobnyche vydannya, 2008. 105 p.
8. Kulydzhanov G.V. *Ekologicheskoe sostoyanie pochvennogo pokrova Odesskoy oblasti* [Ecological condition of soil Odessa region]. *Agroekologichnyy zhurnal - Agroecological journal*, 2010, no. 4, pp. 60-64.

SOIL QUALITY ASSESSMENT BASED ON REACTION OF SOIL SOLUTION AND CONTENT OF HEAVY METALS IN THE SOUTHERN PART OF ODESSA REGION

G.V. Lyashenko, Dr Sci (Geogr.)

L.A. Prykup, Cand Sci (Geogr.)

Odessa State Environmental University

15 Lvivska str., Odessa, 65016, Ukraine, prykup_lena@ukr.net

Introduction. Land resources suffer from serious anthropogenic influence which negatively influences soil covering. It's necessary to obtain reliable information about condition of soil to provide rational land using.

Purpose. The objective of this research consists in assessment of quality of soil in the southern part of Odessa Region based on reaction of soil solution and content of heavy metals.

Methods. Assessment of quality of soil covering is carried out on the basis of the established classification of reactions of soil covering and the comparative characteristic of content of heavy metals in soil with indication of maximum permissible concentration of these metals.

Results. Within the territory of the southern part of Odessa Region soils with weakly alkaline and alkaline reactions of soil solution prevail. The areas of soils with neutral reaction don't exceed 23% of the total area of Tatarbunary district. Content of heavy metals is observed in soils of all regions of the southern part of Odessa region.

Conclusion. In order to transfer heavy metals to slow-moving forms liming of soils is carried out with regard to sour soils and gypsuming – with regard to alkaline ones. It is possible to achieve the same purpose through using phosphoric and organic fertilizers. After formation of complexes heavy metals become less mobile and get to vegetation in smaller quantities. It is also possible to reduce intake of heavy metals by vegetation through adding organic ion-exchange substances in soils. Termination of agricultural activity is recommended with respect to the territories where rate of heavy metals' pollution of air, water, soil and vegetation reaches the level that is critical for human health, and where the system of modern protective methods is no more effective.

Keywords: quality of soils, reaction of soil solution, heavy metals

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОЧВ ЗА РЕАКЦИЕЙ ПОЧВЕННОГО РАСТВОРА ТА СОДЕРЖАНИЕМ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ НА ЮГЕ ОДЕССКОЙ ОБЛАСТИ

Г.В. Ляшенко, д.геогр.н,

Л.А. Прикуп, к.геогр.н.

Одесский государственный экологический университет

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

В статье исследовано современное состояние качества почв за реакцией почвенного раствора и содержанием тяжелых металлов на юге Одесской области и дана оценка качества почвенного покрова на исследуемой территории. Исследование проведено по соответствующим категориям реакции почвенного раствора и сравнению концентраций тяжелых металлов со значениями предельно допустимых концентраций. На исследуемой территории преобладают почвы со слабо щелочной и щелочной реакцией и повсеместно наблюдается наличие тяжелых металлов, что требует проведения определенных изменений в организации различных типов угодий.

Ключевые слова: качество почв, реакция почвенного раствора, тяжелые металлы.

Дата першого подання: 02.03.2016

Дата надходження остаточної версії: 28.03.2016

Дата публікації статті: 04.07.2016

УДК 551.513.1:551.551.8

РАСЧЕТ СКОРОСТИ ВЕТРА В НИЖНЕМ 300-Х МЕТРОВОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ С УЧЕТОМ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СТРАТИФИКАЦИИ И ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ

С.Н. Степаненко, доктор физ.-мат. наук,
В.Г. Волошин, кандидат геогр. наук,
В.Ю. Курышина, ассистент

*Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, geophys@ogmi.farlep.odessa.ua*

Предлагается метод расчета скорости и направления ветра, в нижнем 300-х метровом слое атмосферы по данным стандартных метеорологических наблюдений с учетом зависимости показателя m степенного закона профиля ветра от гидростатической устойчивости слоя и шероховатости земной поверхности.

Ключевые слова: степенной закон, ветроэнергетика, критерии устойчивости приземного слоя, турбулентные потоки.

1. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Для многих прикладных инженерных задач требуются данные о распределении ветра и температуры в слое до 300-500 метров. Такие данные необходимы для оценки энергетических параметров ветра при проектировании высотных сооружений и эксплуатации ветроэнергетических установок. Основной задачей является определение предельных ветровых нагрузок и воздействий.

Так как существующая сеть аэрологических станций не позволяет достаточно подробно описать пространственную изменчивость ветра и температуры в пограничном слое, то для оценки характеристик атмосферного пограничного слоя (АПС) часто используются гидродинамические, макро- или мезомасштабные, модели атмосферы, которые воспроизводят вертикальный профиль ветра в расчетной сеточной «области». В узлы этой области, с помощью методов генерализации, сведены пространственно-усредненные метеорологические величины.

Поэтому для исследования мезо- и даже микромасштабных процессов применяют методы «детализации» численных решений, которые позволяют непосредственно, по данным фактических метеорологических наблюдений и известных свойств земной поверхности, рассчитывать для заданного района энергетические параметры воздушного потока.

В пограничном слое атмосферы поля ветра формируются под влиянием внешней силы горизонтального градиента давления, силы Кориолиса и силы трения, зависящей от шероховатости земной поверхности и турбулентной вязкости,

которая, в свою очередь, зависит от гидростатической устойчивости пограничного слоя [1, 2].

Следует отметить, что приземные метеорологические наблюдения, характеризующие состояние атмосферы, содержат достаточно информации для определения масштабов (импульса, температуры, влаги) атмосферного пограничного слоя с целью восстановления вертикального профиля ветра с учетом гидростатической устойчивости слоя и динамических свойств подстилающей поверхности.

2. ПОСЛЕДНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПУБЛИКАЦИИ

Для оценки скорости высотного ветра на высоте z по данным приземных измерений ветра на высоте $z = 10$ м, используется степенной закон изменения скорости с высотой, который впервые, в начале XX века, в практику расчетов ввел Хелльман [3]

$$\frac{u_z}{u_{10}} = \left(\frac{z}{z_{10}} \right)^m \quad \text{при } m > 0, \quad (1)$$

где m – безразмерный показатель степенного закона изменения скорости с высотой.

Основной проблемой использования степенного закона является поиск зависимости показателя степенного закона от гидростатической устойчивости слоя и шероховатости поверхности. Впервые такую зависимость ввел Ирвин [4]. Проведя логарифмическое дифференцирование степенной функции $\left((\ln u)' = u'/u; (\ln z)' = z'/z \right)$

он предложил представить показатель степени m в виде безразмерного соотношения

$$m = \frac{z}{u_z} \frac{\partial u}{\partial z}, \quad (2)$$

где $\partial u / \partial z$ – сдвиг ветра в исследуемом слое, u_z – скорость ветра на высоте z .

Степенной закон изменения ветра с высотой широко используется и в настоящее время, так, например, в «Руководстве по специализированному обслуживанию экономики» (СПб, 2009 г.) [5] рекомендовано выбирать значение показателя степени m в зависимости от сезона года и географического региона.

Однако, при эксплуатации ветроэнергетических установок часто требуются данные о скорости ветра на высотах не только осредненные за сезон, но и данные изменения скорости в течение суток, когда происходят значительные колебания гидростатической устойчивости, ведущие к изменению вертикальных профилей скорости ветра.

Такие расчеты возможны только при условии наличия данных об изменениях, периодических или непериодических, стратификации атмосферы в пограничном слое и изменениях динамических свойств поверхности в районах расположения ветроэнергетических установок.

Целью данного исследования является разработка метода расчета изменения скорости и направления ветра в нижнем 300-х метровом слое атмосферы с учетом зависимости показателя m от гидростатической устойчивости слоя и шероховатости земной поверхности.

Метод основан на использовании энергобалансовой модели приземного слоя SLEB (Surface Layer Energy Balance), созданной для расчета формируемых у поверхности турбулентных потоков по данным стандартных метеорологических наблюдений. Основные положения модели опубликованы в [1,6,7,8,9].

3. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ

Модель разработана применительно к изучению изменчивости турбулентных потоков тепла, диссипации турбулентной энергии, потока импульса, испарения, потока тепла в почве, температуры подстилающей поверхности, температуры поверхностей с растительным покровом, масштабов приземного и пограничного слоя атмосферы над различными типами поверхностей.

Параметризация приземного слоя выполнена на основе теории Монина-Обухова (MOST) [10], а также работ Бызовой Н.Д. [11], Зилитинкевича С.С. [12], расширяющие возможности теории MOST.

Модель имеет некоторые отличия от применяемых ранее моделей, так как включает параметризацию вязкого подслоя и параметризацию диссипации турбулентной энергии, что позволяет достаточно достоверно перераспределить доступную энергию между явными и скрытыми турбулентными потоками тепла.

Вертикальные распределения температуры и скорости ветра в приземном слое вычисляются по градиентным формулам теории Монина-Обухова с применением универсальных безразмерных профильных функций и их интегральных форм.

Пространственная неоднородность свойств поверхности учитывается в модели путем деления ее площади на отдельные участки, соответствующие определенным типам почв и видам растительности. Каждая почва характеризуется набором параметров, включающих удельную теплоемкость, теплопроводность, объемный вес, наименьшую влагоемкость, максимальную гигроскопичность, полевую влагоемкость, пористость и коэффициент фильтрации. Влажность почвы определяется по уравнению водного баланса с учетом количества выпавших осадков, инфильтрации и горизонтального стока [7].

В модели SLEB для численного решения УТБ используется рекурсивно заданная функция, включенная в последовательность вычислительных процедур, состоящих из внешнего и внутреннего цикла. До начала вычислительных процедур задаются начальные условия для двух неизвестных переменных: температуры подстилающей поверхности и критерия гидростатической устойчивости слоя. На нулевом цикле, с помощью рекурсивных обращений к функциям, содержащих неизвестные величины, происходит замыкание уравнение баланса с заданной точностью $\pm 2,5\%$, и находятся потоки импульса, тепла и влаги, необходимые для расчета критерия гидростатической устойчивости приземного слоя. Найденные значения критерия устойчивости и температуры поверхности являются начальными условиями для запуска последующих циклов и т.д. Внешний цикл повторяется до тех пор, пока не выполняется условие равенства цикловой скорости ветра и скорости фактического ветра.

4. МЕТОД РАСЧЕТА

Зависимость показателя степени m степенного закона скорости ветра от устойчивости и шероховатости находим, используя безразмерное соотношение (2). Основываясь на теории приземного слоя Мони́на-Обухова, запишем соотношение для сдвига ветра $\partial u / \partial z$

$$\frac{\partial u}{\partial z} = \frac{u_*}{k_z} \varphi_u(\zeta), \quad (3)$$

где u_* – динамическая скорость ($u_* = \sqrt{\tau/\rho}$), – универсальная безразмерная функция профиля ветра, k – постоянная Кармана.

Функция $\varphi_u(\zeta)$ зависят только от критерия устойчивости приземного слоя Мони́на-Обухова $\zeta = z/L$, или числа Ричардсона Ri . Отношение z/L иногда называют «безразмерной высотой», так как L является масштабом приземного слоя.

В настоящее время существует множество различных эмпирических аппроксимаций для функций $\varphi_u(\zeta)$. Наиболее распространенными и надежными являются интерполяционные уравнения Бюзингера [13]:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_u &= (1 - a\zeta)^{-1/4}, \quad \zeta \leq 0 \\ \varphi_u &= (1 - b\zeta), \quad \zeta > 0 \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

Безразмерная высота ζ , определяющая тип стратификации, рассчитывается по формуле [6]

$$z/L = \zeta = -\kappa \left[\beta \frac{H}{c_p \rho} + \frac{0,68 g E}{\rho} \right] / u_*^3, \quad (5)$$

где H – турбулентный поток явного тепла, E – испарение с единицы площади за единицу времени, $\beta = g/T$ – параметр плавучести, c_p – удельная теплоемкость при постоянном давлении, ρ – плотность воздуха.

Для определения скорость ветра u_z , используется закон изменения ветра в приземном слое атмосферы [2], который получен путем интегрирования выражения (3) от уровня шероховатости z_0 , где $\bar{u}(z_0) = 0$, до высоты измерения z , в пределах слоя постоянных потоков [14]

$$u_z = \frac{u_*}{k_z} \left[\ln \frac{z}{z_0} - \varphi_u(\zeta) \right]. \quad (6)$$

Безразмерная функция $\Psi_u(z)$ в уравнении (6)

$$\Psi_u(z) = \int_0^z \frac{[1 - \varphi_u(z)] dz}{z} \quad (7)$$

является интегральной формой безразмерной функции сдвига ветра φ_u и определяет степень расхождения логарифмического профиля ветра от линейного.

Подставляя в соотношение (2) уравнение (3), (6) и интерполяционные уравнения для функции φ_u (4), получаем, окончательно, зависимость показателя $m = f(\zeta, z, z_0)$ от стратификации атмосферы и шероховатости поверхности, а именно:

для неустойчивой стратификации

$$m = \frac{k(1 - 15\zeta)^{-0,25}}{(\ln z/z_0 - \Psi(\zeta))} \quad (8)$$

и для устойчивой стратификации

$$m = \frac{k(1 - 2\zeta)}{(\ln z/z_0 - \Psi(\zeta))}, \quad (9)$$

где k – эмпирический коэффициент ($k = 1,164$), значение которого выбрано таким образом, чтобы показатель m при нейтральной стратификации $\zeta = 0$ и шероховатости поверхности $z = 0,05$ м был равен $m = 0,2$.

В уравнениях (8) и (9) безразмерные функции $\Psi_u(\zeta)$ (первообразные функции) определены из уравнений Польсона [13]

$$\left. \begin{aligned} \Psi_u(\zeta) &= 2 \ln [0,5(1+x) + \\ &+ \ln [0,5(1+x^2)] - 2 \arctan x + \pi/2 \end{aligned} \right\} \text{ для } \zeta \leq 0, \quad (10)$$

где $x = (1 - 15\zeta)^{0,25}$

$$\left. \begin{aligned} \Psi_u(\zeta) &= -2\zeta \\ \text{где } x &= (1 - 2\zeta) \end{aligned} \right\} \text{ для } \zeta > 0. \quad (11)$$

Найденные зависимости (8) и (9) позволили построить распределение функции $m = f(\zeta, z, z_0)$ при изменении устойчивости (стратификации) атмосферы при различных значениях шероховатости поверхности (рис.1). Все расчеты выполнены с помощью энергобалансовой модели SLEB.

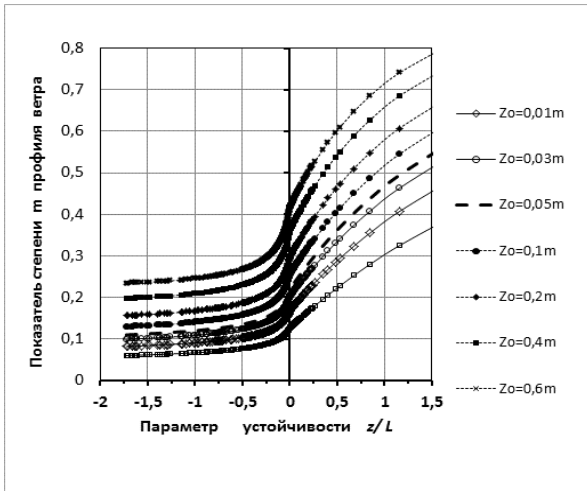


Рис. 1 – Зависимость показателя степенного закона скорости ветра от параметра устойчивости z/L и шероховатости поверхности z_0 . Неустойчивая стратификация $\zeta < 0$, устойчивая стратификация $\zeta > 0$.

На рисунке 1 пунктирная центральная линия соответствует шероховатости поверхности $z_0 = 0,05$ м, нижняя сплошная линия со светлыми квадратными маркерами шероховатости $z_0 = 0,001$ м, верхняя пунктирная линия с темными квадратными маркерами шероховатости $z_0 = 0,6$ м.

Из рисунка 1 следует:

При нейтральной стратификации значения показателя m зависят только от шероховатости поверхности. Так, например, если при шероховатости $z_0 = 0,05$ м показатель m равен 0,2, то при шероховатости $z_0 = 0,6$ м значение m равно $m = 0,4$;

С увеличением неустойчивости показатель m уменьшается. При сильной неустойчивости, когда $\zeta = -1,5$, показатель m равен 0,12;

При устойчивой стратификации происходит рост значений показателя m от $m = 0,2$, соответствующей нейтральной стратификации, до $m = 0,35$ при устойчивости $\zeta = 0,5$ и $z_0 = 0,05$ м.

При очень сильной устойчивости, когда образуется приземная температурная инверсия, скорость ветра быстро нарастает с высотой и в случае шероховатой поверхности $z_0 = 0,6$ м показатель m достигает значения равного $m = 0,8$, т.е. скорость ветра изменяется с высотой практически по линейному закону.

Влияние шероховатости на рост скорости ветра при неустойчивой стратификации оказывается большим, чем при устойчивой. Так, например, при сильной неустойчивости $\zeta = -1,0$ показатель m изменяется от $m = 0,0662$ ($z_0 = 0,001$ м) до $m = 0,2447$ ($z_0 = 0,6$ м), а при сильной устойчивости $\zeta = 1,0$ от $m = 0,32$ ($z_0 = 0,001$ м) до $m = 0,7405$ ($z_0 = 0,6$ м), т.е. увеличивается в $(0,2447 / 0,0662) = 3,69$ раза при неустойчивости и в 2,31 раза при устойчивости. При нейтральном состоянии показатель m за счет изменения шероховатости увеличивается в 3,28 раза до высоты 300 метров (рис. 2).

Графическая зависимость показателя m степенного закона от шероховатости поверхности z_0 при различных значениях устойчивости z/L показана на рис. 2

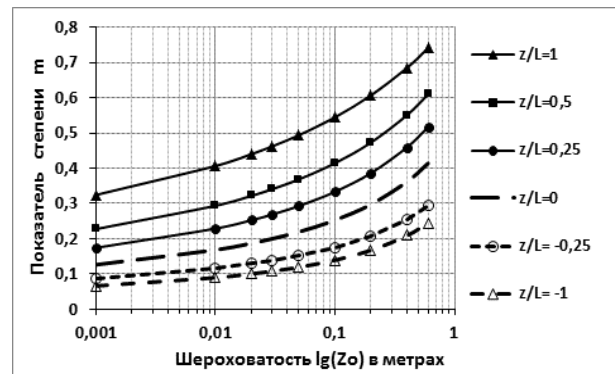


Рис.2 – Зависимость показателя степенного закона от шероховатости поверхности z_0 при различных значениях устойчивости z/L

5. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИХ АНАЛИЗ

Используя модель SLEB, по данным 8 срочных метеорологических наблюдений станции Аскания-Нова (Украина), были рассчитаны, для каждого срока, параметры и масштабы пограничного слоя атмосферы, в том числе гидростатическая устойчивость слоя и шероховатость поверхности, которая оценивалась по состоянию земной поверхности фиксируемой один раз в сутки.

В таблице 1 показаны результаты расчётов показателя m по формулам (8) и (9). Расчёты выполнены для каждого месяца с учетом суточной изменчивости стратификации в 300 метровом слое.

Таблица 1 – Среднемесячные и среднегодовые значения показателя степени закона для различных сроков метеорологических наблюдений. г. Аскания-Нова, 2005

Месяц	Срок наблюдений, час								Сред. мес.
	0	3	6	9	12	15	18	21	
1	0,28	0,27	0,29	0,20	0,20	0,20	0,36	0,3	0,26
2	0,36	0,28	0,26	0,19	0,18	0,19	0,31	0,37	0,27
3	0,46	0,42	0,3	0,19	0,18	0,19	0,31	0,39	0,31
4	0,48	0,43	0,21	0,18	0,18	0,18	0,21	0,46	0,28
5	0,36	0,28	0,18	0,17	0,18	0,18	0,17	0,3	0,23
6	0,24	0,23	0,16	0,17	0,16	0,17	0,16	0,24	0,19
7	0,24	0,21	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,25	0,19
8	0,24	0,22	0,18	0,17	0,16	0,18	0,16	0,24	0,19
9	0,27	0,26	0,24	0,19	0,17	0,18	0,25	0,27	0,23
10	0,32	0,31	0,24	0,2	0,19	0,18	0,38	0,31	0,27
11	0,33	0,29	0,26	0,19	0,19	0,18	0,33	0,33	0,26
12	0,29	0,24	0,25	0,21	0,20	0,2	0,35	0,27	0,25
Сред. Год	0,32	0,29	0,23	0,19	0,18	0,18	0,26	0,31	0,24

Из таблицы следует, что в светлое время суток, в сроки 09, 12 и 15 час, независимо от времени года, среднемесячные значения показателя степени равны $m = 0,16 \div 0,20$, что соответствует слабой неустойчивости и нейтральной стратификации слоя.

В летние месяцы неустойчивость присутствует в течение всего светлого времени суток, т.е. от 06 до 18 часов. Наибольшие значения показателя m наблюдаются в ночные сроки и достигают величин $m = 0,4 \div 0,5$.

Все расчеты среднемесячных и среднегодовых значений показателя m выполнены для поверхности с $z_0 = 0,05$ м независимо от сезона.

Среднегодовое значение показателя m равно 0,24, что укладывается в пределы критерия устойчивости $\zeta = \pm 0,1$, близкого к нейтральной стратификации.

Используя расчеты показателя m , получен коэффициент изменения скорости ветра для высот $z = 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250$ и 300 метров, относительно скорости на анемометрическом уровне $k = \bar{U}_z / \bar{U}_{z=10\text{м}}$ (рис. 3).

Вертикальные профили безразмерной скорости характеризуют изменчивость нарастания

скорости ветра с высотой в зависимости от изменения стратификации слоя в ночные и дневные часы суток.

6. ВЫВОДЫ

Предложен метод учета влияния стратификации слоя и шероховатости поверхности на изменение скорости ветра в нижнем 300-метровом слое для степенного закона изменения скорости с высотой.

Расчитанные значения показателя степени m , согласуются с известными экспериментальными и теоретическими данными [11,15,16,17].

Получить зависимость показателя m от стратификации возможно только с помощью моделей пограничного или приземного слоя атмосферы, которые на основании приземных метеорологических или иных наблюдений смогут оценить гидростатическую устойчивость слоя при известной шероховатости поверхности.

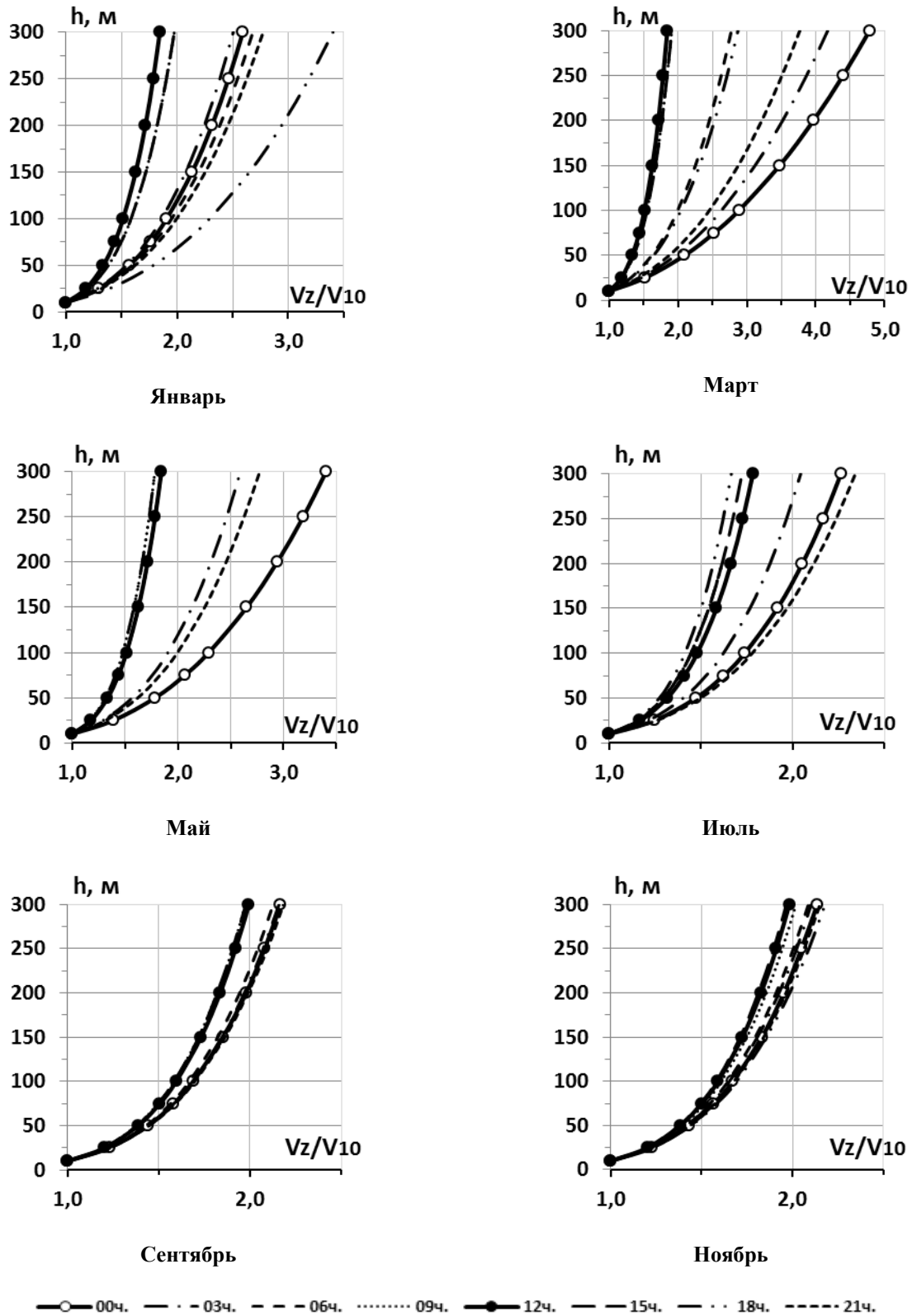


Рис.3 – Среднемесячные вертикальные профили безразмерной скорости ветра в слое 300 м для различных сроков метеорологических наблюдений в центральные месяцы сезонов года. Аскания-Нова, 2005 г.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Степаненко С.Н. Масштабы приземного и пограничного слоя атмосферы / С.Н. Степаненко, В.Г. Волошин, В.Ю. Курышина // Украинский гидрометеорологический журнал. – 2014. – № 14. – С. 23-39.
2. Хргиан А.Х. Физика атмосферы / А.Х. Хргиан. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 156 с.
3. Hellmann G. Ober die Bewegung der Luft in den untersten Schichten der Atmosphäre (2 M itt). *Met. Zs.*, 1917, bd. 34, h 3. pp. 140.
4. Irwin J.S. A theoretical variation of the wind profile power law exponent as a function of surface roughness and stability. *Atmospheric Environment*, 1979, no. 13, pp. 191-194.
5. Руководство по специализированному обслуживанию экономики климатической информацией, продукцией и услугами; отв. ред. док. геогр. наук, профессор Н.В. Кобышева. – СПб., 2009. – 336 с.
6. Волошин В.Г. Оценка устойчивости пограничного слоя атмосферы по данным метеорологических сетевых наблюдений / В.Г. Волошин, А.В. Воротницкая // Метеорология, климатология и гидрология. – 1978. – Вып. 14. – С. 10-17.
7. Волошин В.Г. Метод расчета турбулентных потоков и температуры подстилающей поверхности на основе метеорологических наблюдений / В.Г. Волошин // Метеорология, климатология и гидрология. – 2002. – Вып. 46. – С. 83-89.
8. Волошин В.Г. Динамическая модель загрязнения атмосферы с метеорологическим препроцессором: [монография] / В.Г. Волошин. – Одесса: Экология, 2013. – 295 с.
9. Степаненко С.Н. Энергобалансовая модель приземного слоя атмосферы / С.Н. Степаненко, В.Г. Волошин, В.Ю. Курышина // Украинский гидрометеорологический журнал. – 2011. – № 9. – С. 38-59.
10. Монин А.С. Основные закономерности турбулентного перемешивания в приземном слое атмосферы / А.С. Монин, А.М. Обухов // Труды Геофизин. АН СССР. – 1954. – № 24. – С. 163-187.
11. Бызова Н.Л., Иванов В.Н., Гаргер Е.К. Турбулентность в пограничном слое атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат. – 1989. – 264 с.
12. Зилитинкевич С.С. Теория подобия для планетарного пограничного слоя атмосферы / С.С. Зилитинкевич, А.С. Монин // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. – 1974. – Т. 10. – № 6. – С. 587-599.
13. Holtslag A.A. Modelling of Atmospheric Boundary Layers. *Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences*. Amsterdam, 1998. pp. 85-110.
14. Tennekes H. The logarithmic wind profile. *Journal of Atmospheric Science*, 1973, vol. 30, pp. 234-238.
15. Blackadar A.K. The Vertical Distribution of Wind and Turbulent Exchange in a Neutral Atmosphere. *J. Geophys. Res.*, 1962, vol. 67, pp. 3095-3102.
16. Touma J.S. Dependence of the wind profile power law on stability for various locations. *Journal of the Air Pollution Control Association*, 1977, vol. 27 (9), pp. 863-866.
17. Борисенко М.М. Зависимость вертикальных профилей скорости ветра от температурной стратификации / М.М. Борисенко // Труды ГГО. – 1967. Вып. 210. – С. 21-29.

REFERENCES

1. Stepanenko S.N., Voloshin V.G., Kuryshina V.YU. Masshtaby prizemnogo i pogranichnogo sloya atmosfery [Scaling the surface and atmospheric boundary layer]. *Ukr. gidrometeorol. ž. – Ukrainian Hydrometeorological Journal*, 2014, no. 14, pp. 23-39.
2. Hrgian A.H. *Fizika atmosfery* [Atmosphere Physics]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1978. 156 p.
3. Hellmann G. Ober die Bewegung der Luft in den untersten Schichten der Atmosphäre (2 M itt). *Met. Zs.*, 1917, bd. 34, h 3. pp. 140.
4. Irwin J.S. A theoretical variation of the wind profile power law exponent as a function of surface roughness and stability. *Atmospheric Environment*, 1979, no. 13, pp. 191-194.
5. Kobysheva N.V. (Executive Ed., prof.). *Rukovodstvo po specializirovannomu obsluzhivaniyu ekonomiki klimaticheskoy informatsii, produktsiy i uslugami* [Guide on special purpose service of economy with climate information, products and facilities]. SPb., 2009. 336 p.
6. Voloshin V.G., Vorotnitskaya A.V. Otsenka ustoychivosti pogranichnogo sloya atmosfery po dannym meteorologicheskikh setevykh nablyudeniya [Estimation of the stability of the atmospheric boundary layer based on the weather observations]. *Meteorologiya, klimatologiya i gidrologiya – Meteorology, climatology and hydrology*, 1978, no 14, pp 10-17.
7. Voloshin V.G. Metod rascheta turbulentykh potokov i temperatury podstilayushchey poverkhnosti na osnove meteorologicheskikh nablyudeniya [The method of calculation of turbulent fluxes and the surface temperature based on the weather observations]. *Meteorologiya, klimatologiya i gidrologiya – Meteorology, climatology and hydrology*, 2002, no 46, pp. 83-89.
8. Voloshin V.G. *Dinamicheskaya model' zagryazneniya atmosfery s meteorologicheskim preprocessorom* [A dynamic model of air pollution with the meteorological preprocessor]. Odessa: Ecology Publ., 2013. 295 p.
9. Stepanenko S.N., Voloshin V.G., Kuryshina V.Yu. Energo-balansovaya model prizemnogo sloya atmosfery [Surface Layer Energy Balance]. *Ukr. gidrometeorol. ž. – Ukrainian Hydrometeorological Journal*, 2011, no. 9, pp. 38-59.
10. Monin A.S., Obuhov A.M. Osnovnye zakonomernosti turbulentsnogo peremeshvaniya v prizemnom sloe atmosfery [Basic laws of turbulent mixing in the atmospheric surface layer]. *Trudy Geofizin. AN SSSR – Proceedings of Geophysical Institute of the USSR Academy of Sciences*, 1954, vol.24, pp. 163-187.
11. Byzova N.L., Ivanov V.N., Garger E.K. Turbulentnost' v pogranichnom sloe atmosfery [Turbulence in the atmospheric boundary layer]. – Leningrad: Gidrometeoizdat, 1989. 264 p.
12. Zilitinkevich S.S., Monin A.S. Teoriya podobiya dlya planetarnogo pogranichnogo sloya atmosfery [The similarity theory of the planetary atmospheric boundary layer]. *Izv. AN SSSR. Fizika atmosfery i okeana – Proceedings of the Academy of Sciences of the USSR. Physics of Ocean and Atmosphere*, 1974, vol. 10, no. 6, pp. 587-599.
13. Holtslag A.A. Modelling of Atmospheric Boundary Layers. *Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences*. Amsterdam, 1998, pp. 85-110.
14. Tennekes H. The logarithmic wind profile. *Journal of Atmospheric Science*, 1973, vol. 30, pp. 234-238.
15. Blackadar A.K. The Vertical Distribution of Wind and Turbulent Exchange in a Neutral Atmosphere. *J. Geophys. Res.*, 1962, vol. 67, pp. 3095-3102.

16. Touma J.S. Dependence of the wind profile power law on stability for various locations. *Journal of the Air Pollution Control Association*, 1977, vol. 27 (9), pp. 863-866.
17. Borisenko M.M. Zavisimost' vertikal'nyh profiley skorosti vetra ot temperaturnoy stratifikatsii [Relationship of vertical wind speed profiles from temperature stratification]. *Trudy GGO – Proceedings of Central Geophysical Observatory*, 1967, vol. 210, pp. 21-29.

РОЗРАХУНОК ШВИДКОСТІ ВІТРУ В НИЖНЬОМУ 300-МЕТРОВОМУ ШАРІ АТМОСФЕРИ ЗА ДАНИМИ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ З УРАХУВАННЯМ ТЕМПЕРАТУРНОЇ СТРАТИФІКАЦІЇ І ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХНІ

С.М. Степаненко, д. ф.-м. н.,
В.Г. Волошин, канд. геогр. н., В.Ю. Куришина, асист.

*Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, geophys@ogmi.farlep.odessa.ua*

Пропонується метод розрахунку швидкості і напрямку вітру в нижньому 300-х метровому шарі атмосфери за даними стандартних метеорологічних спостережень з урахуванням залежності показника (m) степеневого закону профілю вітру від гідростатичної стійкості шару і шорсткості земної поверхні.

Ключові слова: степеневий закон, вітроенергетика, критерії стійкості приземного шару, турбулентні потоки.

CALCULATION OF WIND SPEED IN THE 300-METER LOWER LAYER OF THE ATMOSPHERE BASED ON THE METEOROLOGICAL OBSERVATIONS TAKING ACCOUNT OF TEMPERATURE STRATIFICATION AND SURFACE ROUGHNESS

S.N. Stepanenko, Dr Sci. (Phys. – Math.),
V.G. Voloshin, Ph.D., V. Yu. Kuryshina, assist.

*Odessa State Environmental University,
15, Lvivska St., 65016 Odessa, Ukraine, geophys@ogmi.farlep.odessa.ua*

Introduction. Taking into account relationship of wind profile power-law exponent (m) from hydrostatic stability of the layer and surface roughness the calculation method of wind speed and direction in the lower 300-meter layer of the atmosphere based on the meteorological observations is proposed.

Problem. For many applied engineering problems, for example, for the design of high-rise construction and operation of wind power plants the wind and temperature profile data in the lower 300-meter layer are required. In the design, the main objective is to determine the peak wind loads and influences on objects.

Research methods. The calculations were carried out using the energy-balance model of the atmospheric surface layer, SLEB, based on standard meteorological information. The model is built on the basis of Monin-Obukhov similarity. To determine spatial variability of wind and temperature hydrostatic stability of the atmosphere and the dynamic properties of the underlying surface are taken into account.

Purpose. The aim of the study is to develop a method of calculation of changes in wind speed and direction in the lower 300-m layer of the atmosphere using the wind profile power law based on the standard surface meteorological information.

Results of the study. Relationships of non-dimensional wind profile power-law exponent from hydrostatic stability of the layer and surface roughness, obtained with the SLEB model, allowed building function graphics for different observation times and months. All calculated values agree with the known experimental and theoretical data very well.

Keywords: wind profile power law, wind energy, stability criteria for surface layer, turbulent flows.

*Дата первого представления: 15.06.2015
Дата поступления окончательной версии: 27.06.2016
Дата опубликования статьи: 04.07.2016*

УДК 551.583.16

ЗМІНА ПОГОДНИХ УМОВ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ В УМОВАХ ЗМІНИ КЛІМАТУ

В.М. Хохлов, д.геогр.н., проф.
Г.О. Боровська, к.геогр.н., доц.
О.В. Уманська,
М.С. Тенетко

*Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, metod1@odeku.edu.ua*

Наведено просторово-часовий аналіз кількісних показників, які характеризують погодні умови стосовно добової температури та опадів – індекси тепла, холоду та опадів. Виявлено, що в умовах змін клімату збільшилась повторюваність надзвичайно теплих днів та зменшилась кількість днів з екстремально низькою температурою. За допомогою аналізу гістограм та вейвлет-аналізу показано, що можливою причиною таких змін може бути вплив на погодні умови України Північноатлантичного коливання.

Ключові слова: температура, опади, Північноатлантичне коливання, вейвлет-аналіз

1. ВСТУП

Той факт, що клімат Землі змінюється, вже не викликає сумнівів. Тому необхідною є правильна оцінка стану та змін клімату і його екстремальності. Через те, що сучасні тенденції глобальної температури не можуть розглядатися як інтегральний показник регіональних змін клімату, дуже важливо оцінити зміни у режимі температури та опадів саме на регіональному рівні. Більше того, потрібно звернути увагу на мінливість і повторюваність екстремальних явищ погоди.

Темі змін клімату в останні десятиріччя приділяється велика увага. Але вивчення регіональних змін клімату в контексті мінливості і повторюваності екстремальних явищ погоди тільки зараз набуває широкого розповсюдження (див., наприклад, [1–5]).

Дана робота має на меті виявити за допомогою дослідження змін погодних умов в Україні певних закономірностей та особливостей у змінах режимів температури та опадів і визначення можливих причин цих змін.

2. ВИХІДНІ ДАНІ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Як вихідна інформація використовувались дані про добову мінімальну температуру (TN_i) та кількість опадів (R) за період з 1 січня 1951 року по 31 грудня 2013 року по певних станціях в Україні, які були одержані з Бази Даних Клімату Європи [6]. Грунтуючись на цих даних, для кожного місяця (j) протягом зазначеного періоду були розраховані три індекси [7]:

- TNx_j – максимальне значення добової мінімальної температури, тобто $TNx_j = \max(TN_{ij})$;
- TNn_j – мінімальне значення добової мінімальної

температури, тобто $TNn_j = \min(TN_{ij})$;

- $RX5day_j$ – найбільша кількість опадів за 5 днів поспіль.

Відзначимо, що перший з індексів є дуже простим індексом тепла, а другий – індексом холоду.

Для порівняльного аналізу просторового розподілу індексів розрахунки виконувались для станцій, розташованих у різних кліматично-однорідних регіонах (КОР), кількість яких в Україні дорівнює десяти [8].

Нарешті, вважаючи, що Північноатлантичне коливання (ПАК) є тим феноменом, який не тільки впливає на погодні умови в Європі взагалі й в Україні зокрема, але й завдяки своїй низькочастотній природі може визначати їх протягом тривалого проміжку часу у декілька років [2], була зроблена спроба виявити цей вплив за допомогою перехресного вейвлет-перетворення (див., наприклад, [1]).

3. АНАЛІЗ ОДЕРЖАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Розглянемо спочатку екстремальні за усі роки значення індексів тепла та холоду в Україні. Як випливає з табл. 1, максимально високі температури спостерігалися у східній частині України (+39,4 °C у Полтаві та Дебальцевому), в той же час як на північному заході максимальний індекс тепла був менший (+31,7 °C у Рівному). У східній частині України відзначалася й найнижча температура повітря (–39,6 °C у Луганську), а максимальним індексом холоду був у Одесі (–18,5 °C). Треба також відзначити й той факт, що у більшій частині України максимальні значення індексів тепла і холоду реєструвалися після 1980 р., тобто після початку так званого «глобального потепління», а мінімальні – у поперед-

Таблиця 1 – Найбільший на найменший індекси тепла та холоду в різних кліматично однорідних регіонах України

№ КОР	Пункт	Індекс TN_x , °C		Індекс TN_n , °C	
		max / рік	min / рік	max / рік	min / рік
1	Рівне	+31,7 / 2010	+29,3 / 1975	-25,0 / 1997	-30,2 / 1987
2	Тернопіль	+36,2 / 1952	+32,3 / 1971	-22,0 / 1996	-27,0 / 2006
3	Вінниця	+32,4 / 1999	+29,6 / 1973	-27,0 / 1996	-34,0 / 1987
4	Полтава	+39,4 / 2010	+34,4 / 1981	-26,2 / 2010	-33,1 / 1960
5	Дебальцеве	+39,4 / 1986	+34,8 / 1984	-26,7 / 1988	-31,2 / 1997
6	Одеса	+36,4 / 2007	+33,6 / 1987	-18,5 / 2012	-22,0 / 2006
7	Херсон	+35,0 / 1971	+32,4 / 1987	-24,7 / 1972	-31,0 / 1954
8	Харків	+36,1 / 2010	+32,6 / 1966	-25,5 / 2012	-32,2 / 1964
9	Луганськ	+36,7 / 1960	+33,2 / 1972	-28,3 / 2012	-39,6 / 1954
10	Лубни	+35,9 / 2010	+31,4 / 1972	-25,9 / 1970	-28,3 / 1994

ній період 1950-1980 рр. Взагалі ж, можна казати про дещо більшу континентальність клімату (яку можна умовно визначити як різницю між максимальним значенням TN_x та мінімальним TN_n) у східних областях та меншу – у західних областях України.

Отже, навіть нескладний аналіз, наведений вище, показує, що в останні роки зменшується кількість холодних днів і тривалість екстремально холодних періодів, в той же час як кількість і тривалість аномально спекотних днів збільшується. Зазвичай, такі аномальні погодні умови визначаються синоптичними процесами, насамперед такими, що викликають інтенсивний потік тепла у меридіональному напрямку, наприклад, блокуючими антициклонами, пірнаючими циклонами тощо.

З іншого боку, вважається загальноприйнятим, що Північноатлантичне коливання є одним з факторів, які визначають погодні умови в Україні [1, 2], але цей вплив позначається у різних регіонах України по-різному (див., наприклад, [9]). Тому розглянемо вплив ПАК з урахуванням його фази на повторюваність індексів тепла, холоду та опадів в Одесі (КОР № 6) та Лубнах (КОР № 10). Для цього з усього масиву даних про індекси виберемо тільки ті значення, які спостерігалися за індексах ПАК > 1 (+ПАК) і ПАК < -1 (-ПАК), і побудуємо так звані гістограми накопичення.

Як видно з рис. 1а, значення гранично низької добової температури (найхолодніша ніч у місяці) у Лубнах найчастіше (24 рази за досліджуваний період) за позитивної фази Північноатлантичного коливання було у діапазоні температур від +5 до +10 °C, а за негативної фази ПАК від +10 до +15 °C. Також треба відзначити, що кількість надзвичайно холодних ночей (нижча за -15 °C)

зазвичай спостерігалася у випадку +ПАК.

Гістограма гранично низької добової температури для Одеси (рис. 1б) показує, що максимум повторів індексу холоду припадає на позитивну фазу Північно-Атлантичного коливання (25 випадків) у діапазоні температур від 0 до +5 °C, тобто є трохи нижчим за аналогічний параметр для м. Лубни, але привертає увагу набагато більша кількість випадків температур вище +15 °C для обох фаз ПАК. Взагалі ж, гістограма для Одеси виглядає як зсунута на +5 °C гістограма для Лубен, що й має спостерігатися, тому що в Одесі взагалі тепліше. Проте, для більшості діапазонів температур, якщо у Лубнах переважає позитивна фаза ПАК, то в Одесі, навпаки, негативна.

Повторюваність індексу тепла (TN_x) у Лубнах за негативної фази ПАК є максимальною для двох діапазонів – від +5 до +10 °C та від +30 до +35 °C (рис. 1в). Майже таким же чином розподілені найжаркіші дні й для +ПАК, хоча кількість випадків з індексом тепла є, взагалі, трохи меншою. Треба також відзначити, що найжаркіші дні у Лубнах спостерігалися за -ПАК, але тільки 3 рази.

На рис. 1г показано гістограму максимального значення добової максимальної температури (найжаркіший день) для м. Одеса. Як можна побачити, максимальна повторюваність індексу тепла (24 випадки) мала місце у діапазоні температур від +30 до +35 °C як за негативної, так і за позитивної фази ПАК. Але треба відзначити, що у більшості випадків цей індекс частіше спостерігається за негативної фази ПАК.

Нарешті, розглянемо ще один індекс, $RX5day$, який стосується опадів, що дозволить брати до уваги й іншу важливу характеристику погоди – опади.

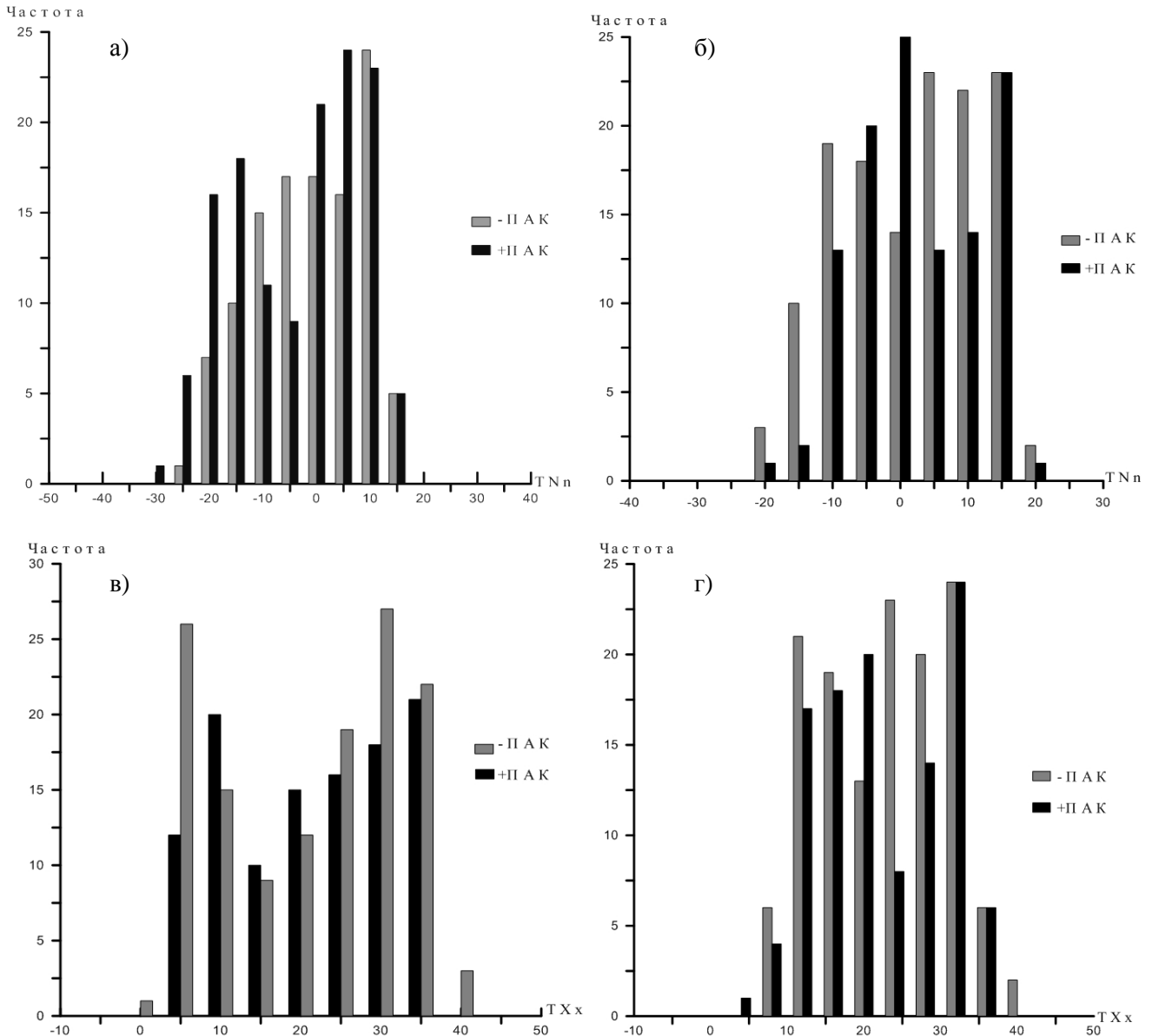


Рис. 1 – Гістограма індексів холоду в Лубнах (а) та Одесі (б) та індексів тепла в Лубнах (в) та Одесі (г) за різних фаз Північноатлантичного коливання (+ПАК і –ПАК) за період з 1951 по 2010 рр.

Максимальна кількість опадів за 5 днів, більша за 120 мм, у м. Лубни (рис. 2а) спостерігалася за позитивної фази ПАК, але тільки одного разу. У середньому ж найчастіше (39 випадків за розглянутий період) за позитивної фази ПАК спостерігалася опади кількістю у діапазоні від 20 до 30 мм за 5 діб. Більш інтенсивні опади, від 30 до 40 мм та від 40 до 50 мм за 5 діб, найчастіше (до 25 разів) спостерігаються за негативної фази ПАК. Інакше кажучи, максимум повторюваності опадів за –ПАК припадає на більш інтенсивні опади, ніж за +ПАК.

Максимальна кількість опадів за 5 днів для м. Одеса (рис. 2б.) також спостерігалась за позитивної фази ПАК і перевищувала 120 мм. З ін-

шого боку, для цієї фази переважають опади у діапазонах від 10 до 20 мм та від 20 до 30 мм за 5 діб, хоча загальна кількість опадів від 10 до 30 мм за 5 діб майже співпадає з аналогічним показником для м. Лубни (пор. рис. 2а і 2б). Що ж стосується впливу негативної фази ПАК на опади в Одесі, то як і для Лубен, максимум повторюваності спостерігається у діапазоні від 30 до 40 мм за 5 діб.

Таким чином, підсумовуючи вище викладений аналіз, можна висловити припущення, що перебування Північноатлантичного коливання у певній фазі може визначати й аномальність погодних умов в Україні. Крім того, стосовно температурних аномалій цей вплив навіть по різно-

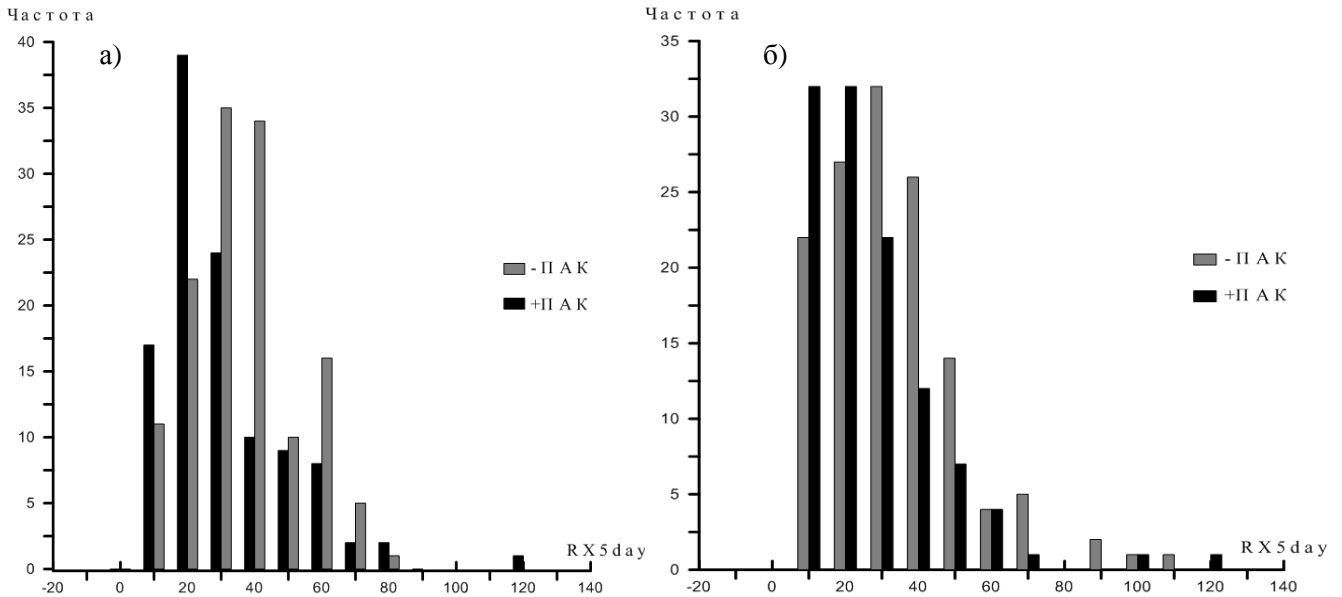


Рис. 2 – Гістограма індексу опадів $RX5day$ у Лубнах (а) та Одесі (б) за різних фаз Північноатлантичного коливання (+ПАК і -ПАК) за період з 1951 по 2010 рр.

му виявляється у південних та північних регіонах України, а стосовно опадів фаза ПАК може впливати на їх інтенсивність.

Для більш детального аналізу впливу Північноатлантичного коливання на погодні умови в Україні скористаємось вейвлет-аналізом для індексів холоду та опадів на станціях Одеса та Лубни, застосувавши перехресне вейвлет-перетворення спільно з індексом Північноатлантичного коливання (ПАК). Вейвлет-перетворення є ефективним засобом для аналізу нестационарних часових рядів і є достатньо гнучким у пристосуванні до локальних змін періоду сигналів, що змінюються в широких межах [1, 9]. На рис. 3 можна побачити вейвлет-енергію, яка позначена різними відтінками у відносному масштабі (чим ближче відтінок до світлого, тим більшою є енергія, тобто вищою є амплітуда коливань). Зони значущої вейвлет-енергії коливань виділені товстими лініями. На осі ординат зазначені періоди цих коливань (у місяцях року), а на осі абсцис – проміжок часу, протягом якого вони мали місце. Стрілками на цих рисунках показано, у фазі чи ні перебувають два розглянутих сигнали: якщо стрілка спрямована праворуч, то зміни відбуваються синфазно, а якщо – ліворуч, то два сигнали є у протифазі.

Якщо розглядати спільну вейвлет-енергію для індексів холоду та Північноатлантичного коливання (верхні графіки на рис. 3), то можна виділити значущі її величини на періодах коливань приблизно 12 місяців, тобто 1 рік, як для Лубен,

так і для Одеси. Звичайно, це можна пояснити існуючою та добре відомою зміною температури у зв'язку зі змінами пор року: влітку спостерігається максимум температури, а взимку – її мінімум. Проте найцікавішим є те, що починаючи з 1950-х та до 1980-х два розглянутих часових ряди коливалися з періодом приблизно 1 рік синфазно, а у другій половині розглянутого періоду вони перебували у протифазі. Інакше кажучи, у період 1950-1980-х років посилення позитивної фази ПАК збільшувало мінімальну місячну температуру, а у 1980-2010-х роках – навпаки, зменшувало.

Тут треба ще раз згадати, що спочатку 1980-х років і дотепер спостерігається так зване глобальне потепління з додатним трендом температури. Таким чином, синфазні або протифазні спільні коливання можна пояснити змінами клімату. З іншого боку, зміни клімату виявляються також у превалюванні певної фази ПАК: в останні десятиріччя Північноатлантичне коливання перебувало переважно у позитивній фазі.

Інакша картина має місце для перехресного вейвлет-перетворення індексів опадів та ПАК (нижні графіки на рис. 3). Внаслідок того, що опади не мають яскраво вираженого річного ходу і, навпаки, існує два максимуми опадів – влітку (головний) та взимку – на цих графіках майже відсутні значущі вейвлет-енергії для періоду приблизно 1 рік. Якщо навіть значуща вейвлет-енергія спостерігалася для зазначеного періоду, то тільки в окремі нетривалі проміжки часу,

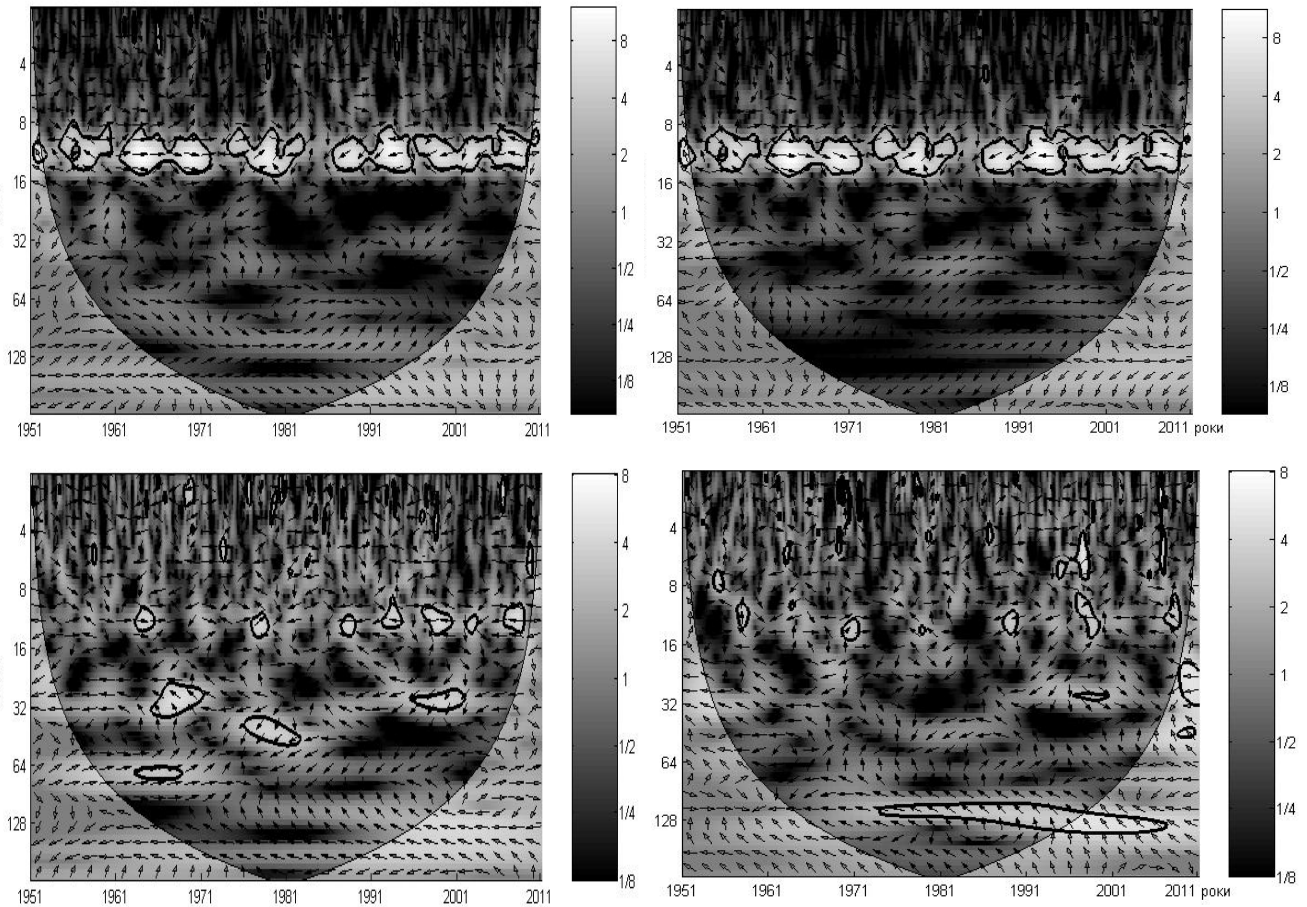


Рис. 3 – Перехресне вейвлет-перетворення річних індексів холоду і опадів для м. Лубни (рисунки ліворуч) та м. Одеса (рисунки праворуч) та ПАК: *TNn* та ПАК (нагорі) і *RX5day* та ПАК (унизу). Позначення є стандартними (див., наприклад, [1]).

і до того ж в Одесі та Лубнах це відбувалося неодноразово. Отже можна казати про те, що ПАК впливає на південні та північні регіони України по-різному, що підтверджує результати попереднього дослідження [9]. З іншого боку, в окремі роки існують значущі енергії для більш довгих періодів часу – від 3 до 5 років для м. Лубни, та приблизно 10 років для м. Одеса. Більше того спільна вейвлет-енергія з періодом приблизно 10 років мала місце також у другій половині розглянутого періоду, тобто з початком глобального потепління.

4. ВИСНОВКИ

1. Індекси холоду показали зменшення повторюваності холодних днів (ночей) і тривалості екстремально холодних періодів, а індекси тепла – збільшення повторюваності теплих днів (ночей) і тривалості теплих періодів. Загальний тренд показує тенденцію до зростання температури, що є одним із основних проявів регіональних кліматичних змін в Україні на тлі глобальних процесів потепління.

2. Гістограми індексів опадів показали, що за негативної фази Північноатлантичного колювання на півночі та півдні України (м. Лубни, м. Одеса) збільшується кількість опадів. Це підтверджує відомий факт, що за позитивної фази ПАК над Україною має місце від’ємна аномалія опадів, тим часом як негативна фаза ПАК супроводжується збільшенням опадів. Індекси тепла та холоду в Лубнах та Одесі за негативної фази ПАК траплялися також з більшою частотою, що може бути пов’язано з посиленням меридіональних процесів над територією України.

3. За допомогою вейвлет-аналізу було виявлено зв’язок між змінами клімату, фазою ПАК та інтенсивністю температурних аномалій. До 1980 р. під час позитивної фази ПАК мінімальна місячна температура збільшувалась, а після 1980 р. – зменшувалась. Також виявлено, що ПАК впливає на опади в північних та південних регіонах по-різному.

На нашу думку проведений аналіз, з одного боку, виявив добре відомі відомості про вплив ПАК на синоптичні умови України, але, з іншого боку,

можу бути продовжений більш докладним аналізом зв'язку між характерною синоптичною ситуацією та виникненням тих чи інших аномальних погодних умов.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Khokhlov V., Romanova A. Joint principal component – wavelet analysis of atmospheric teleconnection: the North Atlantic Oscillation case. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 2014, vol. 28, pp. 369–381.
2. Polonskiy A.B., Basharin D.V., Voskresenkaya E.N., Worley S. North Atlantic Oscillation: description, mechanisms, and influence on the Eurasian climate. *Physical Oceanography*, 2004, vol. 14, pp. 96–113.
3. Orłowsky B., Seneviratne S.I. Global changes in extremes events: regional and seasonal dimension. *Climatic Change*, 2012, vol. 110, pp. 669–696.
4. Serra C., Lana X., Burgueño A., Martínez M.D. Partial duration series distributions of the European dry spell lengths for the second half of the twentieth century. *Theoretical and Applied Climatology*, 2016, vol. 123, pp. 63–81.
5. Forzieri G., Feyen L., Russo S., Vousdoukas M., Alfieri L., Outten S., Migliavacca M., Bianchi A., Rojas R., Cid A. Multi-hazard assessment in Europe under climate change. *Climatic Change*, 2016, vol. 137, pp. 105–119.
6. Klein Tank A.M.G., Wijngaard J.B., Können G.P., Böhm R., Demarée G., Gocheva A., Mileta M., Pashiardis S., Hejkrlik L., Kern-Hansen C. et al. Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European climate assessment. *International Journal of Climatology*, 2002, vol. 22, pp. 1441–1453.
7. <http://eca.knmi.nl/indicesextremes/indicesdictionary.php>.
8. Врублевская А.А. Статистическая оценка поля температуры и осадков с целью выделения климатически однородных регионов на территории Украины / Врублевская А.А., Гордейчук О.П., Миротворская Н.К. // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2001. – Вип. 44. – С. 3–9.
9. Loboda N.S., Glushkov A.V., Khokhlov V.N., Lovett L. Using non-decimated wavelet decomposition to analyse time variations of North Atlantic Oscillation, eddy kinetic energy, and Ukrainian precipitation. *Journal of Hydrology*, 2006, vol. 322, pp. 14–24

REFERENCES

1. Khokhlov V., Romanova A. Joint principal component – wavelet analysis of atmospheric teleconnection: the North Atlantic Oscillation case. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 2014, vol. 28, pp. 369–381.
2. Polonskiy A.B., Basharin D.V., Voskresenkaya E.N., Worley S. North Atlantic Oscillation: description, mechanisms, and influence on the Eurasian climate. *Physical Oceanography*, 2004, vol. 14, pp. 96–113.
3. Orłowsky B., Seneviratne S.I. Global changes in extremes events: regional and seasonal dimension. *Climatic Change*, 2012, vol. 110, pp. 669–696.
4. Serra C., Lana X., Burgueño A., Martínez M.D. Partial duration series distributions of the European dry spell lengths for the second half of the twentieth century. *Theoretical and Applied Climatology*, 2016, vol. 123, pp. 63–81.
5. Forzieri G., Feyen L., Russo S., Vousdoukas M., Alfieri L., Outten S., Migliavacca M., Bianchi A., Rojas R., Cid A. Multi-hazard assessment in Europe under climate change. *Climatic Change*, 2016, vol. 137, pp. 105–119.
6. Klein Tank A.M.G., Wijngaard J.B., Können G.P., Böhm R., Demarée G., Gocheva A., Mileta M., Pashiardis S., Hejkrlik L., Kern-Hansen C. et al. Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European climate assessment. *International Journal of Climatology*, 2002, vol. 22, pp. 1441–1453.
7. <http://eca.knmi.nl/indicesextremes/indicesdictionary.php>.
8. Vrublevskaia A.A., Gordeichuk O.P., Mirotvorskaia N.K. Statisticheskaya otsenka polya temperatury i osadkov s tsel'yu vydeleniya klimaticheskii odnorodnykh regionov na territorii Ukrainy [Statistical estimation of temperature and precipitation fields with the purpose of separation of climatic homogeneous regions in Ukraine]. *Meteorologiya, klimatologiya ta hidrologiya – Meteorology, Climatology and Hydrology*, 2001, vol. 44, pp. 3–9.
9. Loboda N.S., Glushkov A.V., Khokhlov V.N., Lovett L. Using non-decimated wavelet decomposition to analyse time variations of North Atlantic Oscillation, eddy kinetic energy, and Ukrainian precipitation. *Journal of Hydrology*, 2006, vol. 322, pp. 14–24

CHANGES OF WEATHER CONDITIONS IN UKRAINE UNDER CLIMATE CHANGES

Khokhlov V.M., Dr. Sc. (Geogr.), Prof.
Borovska H.O., Cand. Sci. (Geogr.), Assoc. Prof.
Umanska O.V.,
Tenetko M.S.

*Odessa State Environmental University,
15, Lvivska St., 65016 Odessa, Ukraine, metod1@odeku.edu.ua*

The paper analyzes spatiotemporal features the indices of hot, cold and precipitation that are related to weather conditions. The temperature in Ukraine tends to be higher, which is the main regional feature of global climate changes. The North Atlantic Oscillation had an influence on the precipitation in Ukraine – weather is rainier during its negative phases. Also, colder night and hot-

ter days were more frequent during negative phases of the NAO. This fact can be explained by enhancing meridional flows in Ukraine. The wavelet analysis also revealed an impact of the NAO on temperature anomalies – positive phases determined increasing monthly minimum temperatures before the 1980s and decreasing ones after 1980s. Also, the wavelet analysis showed that the North Atlantic Oscillation influenced the precipitation in northern and southern parts of Ukraine in different ways.

Keywords: temperature, precipitation, North Atlantic Oscillation, wavelet analysis.

ИЗМЕНЕНИЕ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ В УСЛОВИЯ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

В.Н. Хохлов, д.геогр.н., проф.

Г.А. Боровская, к.геогр.н., доц.

О.В. Уманская,

М.С. Тенетко

*Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, metod1@odeku.edu.ua*

Приводится пространственно-временной анализ количественных показателей, которые характеризуют погодные условия относительно суточной температуры и осадков – индексы тепла, холода и осадков. Выявлено, что в условиях изменений климата увеличилась повторяемость чрезвычайно теплых дней и уменьшилось количество суток с экстремально низкой температурой. При помощи анализа гистограмм и вейвлет-анализа показано, что возможной причиной таких изменений может быть влияние на погодные условия Украины Североатлантического колебания.

Ключевые слова: температура, осадки, Североатлантическое колебание, вейвлет-анализ.

Дата першого подання.:05.06.2016

Дата надходження остаточної версії :20.06.2016

Дата публікації статті : 04.07.2016

УДК 551.501.7

ЦИРКУЛЯЦІЙНІ УМОВИ ВИНИКНЕННЯ СИЛЬНОГО ТА СТИХІЙНОГО ВІТРУ НАД ПІВДЕННИМ ЗАХОДОМ УКРАЇНИ

Г.П. Івус, професор, к.геогр.н., завідувач кафедри

Е.В. Агайар, к.геогр.н., доцент

Л.М. Гурська, старший викладач

А.Б. Семергей-Чумаченко, к.геогр.н., доцент

*Одеський державний екологічний університет,
буль. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, hurska.od@gmail.com*

У статті описуються особливості взаємодії великомасштабної циркуляції атмосфери з формуванням несприятливих погодних умов в холодний період (жовтень-березень) 2011-2014 рр. в районі Північно-Західного Причорномор'я, які проявляються як сильний і дуже сильний вітер. Для випадків швидкості вітру $\geq 15 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ за даними синоптичного архіву розраховані індекси циркуляції Каца для ізобаричної поверхні 500 гПа. Більш детальне дослідження структури макроциркуляційних процесів при сильному вітрі, крім індексів Каца, дозволяє отримати класифікація і календар послідовної зміни елементарних циркуляційних механізмів (ЕЦМ) Північної півкулі по Б.Л. Дзердзеєвському і типізація синоптичних процесів, розроблена на кафедрі метеорології і кліматології ОДЕКУ. Отримано, що посилення швидкості вітру на півдні України до критеріїв сильного і дуже сильного, в основному, відбувається за рахунок меридіонального характеру циркуляції атмосфери. При цьому переважають змішана або західна форми циркуляції за індексом Каца, тип ЕЦМ 12а і 13з по Дзердзеєвському і типи 5 (підтип 5.2) і 6 (всі підтипи в залежності від ЕЦМ) за синоптичною типізацією ОДЕКУ.

Ключові слова: синоптичні процеси, елементарні циркуляційні механізми (ЕЦМ), типізація атмосферної циркуляції, індекси циркуляції, прогноз сильних вітрів.

1. ВСТУП

На сьогоднішній день проблема штормових вітрів є досить актуальною у тих сферах діяльності людини, які пов'язані з безпекою життєдіяльності населення, мореплавства, авіації тощо. Завчасне виявлення та попередження про виникнення небезпечних погодних умов, у тому числі й сильних штормів, що можуть призвести до значних економічних втрат та загибелі людей, є головною задачею прогностичних підрозділів Гідрометслужби України. Однією із умов успішного прогнозування сильних вітрів є знання характеристик вітрового режиму досліджуваної території та синоптичних умов, що їх обумовлюють [1-5]. Аналіз синоптичного матеріалу дозволяє виділити загальні закономірності таких процесів. Представлені нижче результати є продовженням робіт [6-12] з пошуку кращої синоптичної класифікації, яка відображає повноту макромасштабних баричних процесів, що обумовлюють формування вітру, в тому числі і сильного, над півднем України та дозволяє якомога точніше його прогнозувати.

2. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Перше 20-річчя ХХІ століття є перехідним періодом від панування найбільш нестійких,

провокуючих метеорологічно обумовлених стихійних лиха (у тому числі і викликані сильним вітром) південних меридіональних процесів до переважання меридіональних північних. У зв'язку з тим, що меридіональні південні процеси в даний час майже вдвічі триваліше середньої [13], ймовірність обумовлених ними природних катастроф залишається високою, а самі циркуляційні умови потребують ретельного вивчення з метою підвищення справджуваності прогнозів стихійних гідрометеорологічних явищ (СГЯ).

Загальні властивості атмосферної циркуляції часто описують за допомогою різноманітних індексів, серед яких найбільш відомі індекси циркуляції К.-Г. Росьбі [14] та Є.М. Блінової [15]. К.-Г. Росьбі розглядав геострофічну зональну складову швидкості вітру через різницю тиску між 35 та 55° широти по секторах. Є.М. Блінова рахувала лінійну швидкість руху атмосфери уздовж кола широти рівною осередненій зональній швидкості геострофічного вітру. Дещо пізніше А.Л. Кац [16-18] розробив типізацію, а також індекси зональної та меридіональної циркуляції, які детально розглянемо нижче.

М.А. Петросянц та Д.Ю. Гущина [19, 20] запропонували новий видозмінений індекс циркуляції, який дуже близький до індексу Є.М. Блінової. За допомогою цього індексу об-

числюється циркуляція швидкості зональної складової реального вітру, який відбиває великомасштабні особливості глобальної зональної циркуляції та дозволяє більш детально характеризувати особливості руху атмосфери у різних широтних зонах. В принципі М.А. Петросянцем і Д.Ю. Гущиною було введено два інтегральних індекси циркуляції як інтегральні характеристики поля вітру: 1) циркуляція вектору швидкості зональної складової вздовж кола широти і 2) циркуляція вектору швидкості вітру по контуру. Дані індекси введені для вивчення далеких зв'язків між процесами в тропіках і помірних широтах. Самі індекси циркуляції не несуть інформації про аномалії погоди у відповідних районах, але аномалія циркуляції вектору швидкості вітру може бути показником аномалій температури та опадів. Не дивлячись на привабливість цього індексу подальший його розгляд виходить за рамки статті.

У роботі [21] вперше проілюстрований зв'язок індексів циркуляції Є.М. Блінової [15] та А.Л. Каца [16] з типами циркуляції Північної півкулі по Б.Л. Дзердзеєвському [13]. Оскільки дослідження в [21] виконані по вихідних рядах першої половини ХХ століття і можуть не відображати сучасних змін циркуляційних умов, то становить інтерес провести подібний аналіз.

Загалом існує декілька класифікацій великомасштабної циркуляції атмосфери Північної півкулі, серед яких найбільш відома синоптична класифікація великомасштабних атмосферних процесів Дзердзеєвського [13] і якій у 2016 р. виконується 70 років. Всі ці класифікації схематизують циркуляцію атмосфери, відкидаючи дрібні деталі баричного поля, що спрощує опис синоптичних процесів. Методи статистичного кластерного аналізу використовуються при створенні формальної класифікації [22], близької по фізичному змісту до класифікації Дзердзеєвського. Як відмічають автори формальної класифікації, частина типів і груп типів із синоптичної класифікації Дзердзеєвського спостерігається досить синхронно з типами із класифікації, побудованої по формальних алгоритмах розбиття на кластери спостережених баричних полів.

Нагадаємо [13], що в класифікації Дзердзеєвського тип великомасштабної атмосферної циркуляції для позатропічних широт Північної півкулі визначається положенням і характером основних синоптичних процесів у нижній тропосфері – переміщенням південних циклонів і траєкторій антициклонів, пов'язаних з арктичними вторгненнями. Ці процеси відображують відносно стійке у часі географічне положення висотних

баричних улоговин і гребенів. Так звані елементарні циркуляційні механізми (ЕЦМ) розрізняються по числу та географічному положенню улоговин і гребенів у полі тиску середньої тропосфери і положенню траєкторій приземних баричних утворень. Число ЕЦМ, введених Дзердзеєвським, дорівнює 13. Незначні зміщення улоговин і гребенів у просторі і по сезонах доводить варіанти циркуляційних схем до 41. Цей набір дозволяє будь-який спостережений стан атмосфери віднести до конкретного типу циркуляції, так що зміни циркуляції в часі зводяться до зміни типів (протягом доби існує лише один тип).

Типи циркуляції утворюють 15 груп, що розрізняються на рівні АТ-500 по кількості та напрямку відхилень переважаючого повітряного потоку від чисто зонального. Групи не приурочені до сезонів року.

Календар послідовної зміни ЕЦМ за 1899-2008 рр. представлений в [13], а з 2008 по 2014 рр. на сайті www.atmospheric-circulation.ru. Класифікація та календар є найбільш детальними і тривалими у порівнянні з іншими класифікаціями.

3. ОПИС ОБ'ЄКТА ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою даного дослідження є аналіз взаємодії великомасштабної циркуляції атмосфери з несприятливими погодними умовами у Північно-Західному Причорномор'ї, які проявляються як сильний та дуже сильний вітер. У роботі використано інформацію з архіву АРМсин: приземні карти погоди, карти баричної топографії АТ-850, АТ-500, телеграми штормових сповіщень. Дослідження проводились за холодні сезони (жовтень-березень) 2011-2014 рр. з метою виключення шквалистих посилень вітру, обумовлених розвитком конвекції, які виникають переважно у теплу пору року. Таким чином, до розгляду брались лише випадки градієнтних вітрів, які спостерігались по території півдня України повсюдно; посилення вітру місцями не враховувалось.

4. ОПИС ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

Відомо [23, 24], що вплив штормових вітрів є значним для функціонування народногосподарського комплексу регіону Північно-Західного Причорномор'я. Для дослідження цього впливу відібрано п'ятдесят сім випадків посилення вітру до критерію сильного $\geq 15 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ та дуже сильного $\geq 25 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ по території Одеської області, починаючи з жовтня по березень 2011 – 2014 років.

Основним фактором зміни швидкості вітру в холодну пору року є зміна баричного градієнту. За вказаний період зафіксовано 4 випадки посилення вітру до $25 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ та більше: 07.02.2012 р., 08.02.2012 р., 03.12.2012 р. та 23.03.2013 р. (табл. 1). У табл. 1 представлені дані по району, де більша частина станцій зареєструвала швидкості $15 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. Слід зазначити, що під впливом штормових вітрів перебували виключно південні райони області, особливо станції, що знаходяться на узбережжі моря та лиманів (Білгород-Дністровський, Усть-Дунайськ, порт Південний, Паромна Переправа). Досить нерівномірно розподілились сильні вітри від сезону до сезону за роками. Так, у холодний сезон 2011-12 рр. зафіксовано 19 випадків небезпечних вітрів, 2012-13 рр. – 23 випадки та 2013-14 рр. – лише 15 випадків. Найбільш часто сильний вітер дме з північного сходу, півночі та північного заходу. Ці напрямки характерні для переміщення циклонічних вихорів з південного заходу, коли в зоні впливу теплового фронту посилюється вітер північно-східний, а після проходження холодного фронту – північно-західний та північний. На противагу цим напрямкам вітри південні, південно-західні та західні спостерігаються значно рідше. Дуже сильні вітри 07-08.02.2012 р. мали північно-східний напрямок, 23.03.2013 р. – північно-західний, а 03.12.2012 р. напрямок змінюється від 120 до 350 градусів.

Для визначення характеру макромасштабних синоптичних процесів, що зумовлюють виникнення штормових вітрів у регіоні Північно-Західного Причорномор'я, скористаємось типізацією А.Л. Каца [16-18]. За (1-2) розраховуються індекси зональної та меридіональної циркуляції та при співвідношенні меридіонального індексу до зонального отримуємо індекс загальної циркуляції (3):

$$I_z = \frac{\sum_1^6 (n_z - n_c) \cdot b}{6 \cdot 3,5}, \quad (1)$$

де n_z – число перетинів ізогіпсами меридіанів між 35 та 70° півн.ш., які направлені з заходу на схід; n_c – число перетинів меридіанів, які направлені зі сходу на захід; b – коефіцієнт, який дорівнює 4 гп. дам на карті АТ-500 гПа;

$$I_m = \left[\frac{n_{45} \cdot \frac{1}{\cos 45}}{120} + \frac{n_{55} \cdot \frac{1}{\cos 55}}{120} + \frac{n_{65} \cdot \frac{1}{\cos 65}}{120} \right] \cdot \frac{b}{3}, \quad (2)$$

де $n_{45, 55, 65}$ – число перетинів ізогіпсами цих

паралелей, незалежно від їх напрямку;

$$I_{zag} = I_m / I_z, \quad (3)$$

де I_m та I_z – індекси меридіональної та зональної циркуляції відповідно. Якщо $I_{zag} \geq 0,75$, то циркуляція вважається меридіональною.

Відомо [18], що для зонального (зон) типу циркуляції характерна широтна орієнтація ізогіпс на карті АТ-500, а меридіональний (м) тип циркуляції поділяється на 4 форми: західна (зах), східна (сх), центральна (ц) та змішана (зм), які значно відрізняються між собою територіальним розміщенням висотних гребенів та улоговин. Для визначення типу циркуляції, яка визначає характеристики погоди над Україною, розрахунки проводились для першого сектору помірної зони – Атлантико-Європейського, який знаходиться в межах від 20° зах.д. до 80° сх.д. та від 35° до 70° півн.ш. Результати розрахунків представлені в табл. 1.

Як і слід було очікувати, сильний вітер над півднем України в основному відмічався при меридіональному типі циркуляції атмосфери ($77,2\%$), на зональний тип циркуляції доводиться $22,8\%$ від загальної кількості. Меридіональний тип циркуляції, в свою чергу, здебільшого представлений змішаною ($24,6\%$) та західною ($22,8\%$) формами. Дещо рідше спостерігалась центральна форма циркуляції ($17,5\%$) та східна ($12,3\%$). Всі випадки посилення вітру до $25 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ та більше пов'язані виключно з меридіональною циркуляцією різних форм. Число індексу коливається від $0,76$ до $2,11$. Таким чином можна вважати, що меридіональний характер циркуляції атмосфери створює сприятливі умови для посилень вітру у Північно-Західному Причорномор'ї до критерію сильного та дуже сильного.

Досліджуючи вплив баричних об'єктів на формування сильного та дуже сильного вітру, виділено основні типи синоптичних ситуацій, які спричиняли штормові умови у Північно-Західному Причорномор'ї (табл. 2). Посилення вітру до $25 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ та більше протягом холодних сезонів 2011-14 рр. пов'язано з виходом південних циклонів. Загальною ознакою механізму виникнення південних циклонів є меридіональний характер макроциркуляційних процесів, які впливають на формування сприятливих для місцевого циклогенезу термодинамічних умов. Слід зазначити, що всі розглянуті випадки характеризувались надзвичайно близьким розміщенням системи арктичного фронту до системи полярного, що призвело до посилення активності циклонічних вихорів.

Таблиця 1 - Каталог індексів, типів і форм циркуляції, типів ЕЦМ, підтипів синоптичних процесів та V_{max} . Холодне півріччя. 2011-2014 рр.

Дата	Циркуляція			Тип ЕЦМ	Підтип синоптичного процесу	Вітер	
	індекс	тип	форма			V_{max} , м·с ⁻¹	ff, град
16.10.2011	1,16	м	зм	12а	5.1	16	20
17.10.2011	0,79	м	зах	12а	5.1	20	30
28.11.2011	0,48	зон		8гз	6.2	18	340
25.01.2012	1,30	м	зм	11б	6.1	21	45
30.01.2012	3,01	м	ц	13з	5.2	22	360
06.02.2012	1,45	м	ц	11в	6.1	17	90
07.02.2012	1,71	м	ц	11в	6.1	25	70
08.02.2012	2,11	м	зах	11в	5.2	26	50
25.02.2012	0,70	зон		11а	6.3	22	270
03.03.2012	1,32	м	зм	12а	6.2	20	350
04.03.2012	0,97	м	зах	12а	6.2	20	340
15.03.2012	1,18	м	зах	8гз	6.2	16	340
25.03.2012	1,08	м	зах	12а	6.2	17	200
26.03.2012	0,98	м	зах	12а	6.2	21	360
29.03.2012	0,95	м	зах	13з	6.2	21	330
27.10.2012	0,80	м	ц	12бз	6.1	17	180
01.11.2012	1,10	м	сх	12а	6.1	20	120
29.11.2012	1,03	м	ц	12а	6.1	17	180
03.12.2012	0,77	м	зм	12а	6.4	27	180
06.12.2012	0,75	м	сх	12а	6.3	19	330
09.12.2012	1,50	м	зм	11а	6.4	21	90
12.12.2012	2,85	м	зм	13з	6.4	22	80
15.12.2012	1,53	м	ц	13з	5.2	19	90
18.12.2012	0,74	зон		13з	5.2	20	10
19.12.2012	1,02	м	зм	12вз	5.2	20	10
20.12.2012	0,99	м	зм	12а	6.1	20	10
08.01.2013	0,95	м	зм	5а	6.2	22	340
25.01.2013	0,55	зон		12бз	5.2	17	30
14.02.2013	1,05	м	зм	12вз	5.2	20	50
06.03.2013	0,65	зон		12а	5.1	19	180
15.03.2013	0,35	зон		12бз	6.1	22	180
23.03.2013	0,76	м	зм	12бз	6.2	25	340
01.10.2013	1,11	м	зах	13з	5.1	20	60
19.10.2013	0,67	зон		8бз	5.1	16	270
25.11.2013	0,77	м	сх	12а	6.4	20	260
02.12.2013	0,59	зон		11г	6.2	20	340
06.12.2013	0,72	зон		12а	6.3	20	220
09.12.2013	0,94	м	сх	12вз	6.2	22	330
10.12.2013	1,39	м	зах	12а	6.2	22	320
12.01.2014	0,91	м	зах	5а	6.2	20	320
13.01.2014	1,11	м	сх	5в	6.2	18	270
26.01.2014	0,55	зон		11в	6.4	20	40
29.01.2014	1,13	м	ц	11в	6.1	20	50

Південні циклони найчастіше обумовлювали циркуляції атмосфери у 14 випадках був також сильний вітер (19 випадків), причому тип меридіональний, а у 5 – зональний. Пірнаючі

циклони з району Скандинавії 14 разів спричиняли посилення вітру до штормових значень. Переміщення західних циклонів лише два рази супроводжувалось сильним вітром. Зона взаємодії циклону та антициклону різної географічної локалізації також суттєво впливала на формування сильних вітрів. Найчастіше це були блокуючі антициклони зі сходу – 11 випадків (як арктичного, так і сибірського антициклону). В 6 випадках спостерігається протилежна картина, коли антициклон розміщується над Західною Європою, а циклон на сході (переважно над Поволжжям) та 5 випадків, коли антициклон знаходився на півночі, а циклон на півдні. Таким чином, периферійні процеси є надзвичайно важливими при прогнозі штормових вітрів у Північно-Західному Причорномор'ї.

У табл. 2 представлені всі випадки сильного вітру, які спостерігались на півдні України в холодний сезон 2011-2014 рр. у відповідній групі циркуляційних умов по Кацу, Дзердзевському або класифікації синоптичних процесів, розробленій на кафедрі [8-12].

Сильний вітер утворюється при синоптичних процесах, віднесених до 5 і 6 типу класифікації. Тип 5 – це периферійні атмосферні процеси з атмосферними фронтами. Підтип 5.1 – східний та північно-східний перенос по східній-південно-східній периферії антициклону. Швидкість вітру зростає під впливом чорноморської депресії та штормової зони ($\partial P/\partial n \geq 3,5$ гПа/111 км) з фронтом. Підтип 5.2 – східний і південно-східний перенос відбувається по південній-південно-західній периферії антициклону при проходженні арктичного чи полярного фронтів; в зоні підвищених градієнтів тиску без фронтів або при наявності розмитого фронту. Тип 6 – це циклонічні циркуляції з великими баричними градієнтами ($\partial P/\partial n \geq 2,5$ гПа/111 км). Підтип 6.1 – східна частина циклону або штормова зона між циклоном на заході-північному заході та антициклоном на сході. Підтип 6.2 – тил циклону, що переміщується зі швидкістю ≥ 40 км·год⁻¹. Підтип 6.3 представляє улоговину з фронтами, а підтип 6.4 – південний циклон, що здійснює перенос повітряних мас з півдня. Проте у його північній частині може спостерігатися вітер північно- і південно-східних напрямків, а в центрі циклону (з фронтами) – всіх напрямків, включаючи північно-західний. Сильний і дуже сильний вітер над півднем України відмічається при 6 типах (13 підтипах) ЕЦМ та 2 типах (6 підтипах) кафедральної класифікації. Найбільша повторюваність сильного вітру (10,5%) доводиться на поєднання 12а і 6.2 при

меридіональному типі циркуляції по Кацу. Саме ЕЦМ 12а забезпечує 18 із 57 розглянутих випадків, у тому числі максимальну швидкість (27 м·с⁻¹) вітру в регіоні 03.12.2012 р., коли 11 станцій регіону фіксували швидкість ≥ 20 м·с⁻¹. Напрямок вітру на досліджуваній території змінювався по станціях від 170° (порт Південний) до 350° (Болград); проходив атмосферний фронт з хвилями (підтип 6.4). Також часто спостерігався сильний вітер при ЕЦМ 13з, переважно при меридіональних процесах, тобто при переміщенні південних циклонів.

Розглянемо одну із типових синоптичних ситуацій, яку формує тип ЕЦМ-11 і підтипи 5.2, 6.1. Так, 26-29 січня 2014 р. несприятливі погодні умови в Азово-Чорноморському басейні та на прилеглих територіях зумовлювала взаємодія гребеня північно-західного антициклону з максимальним тиском у центрі 1053 гПа, який зміщувався з Прибалтики в район Москви, та улоговини південного циклону з мінімальним тиском 997 гПа, що виник на хвилі полярного фронту над Італією і зміщувався на східну акваторію Чорного моря (рисунок). Падіння тиску в передній частині циклону вздовж узбережжя Турції становило 1,1-1,6 гПа/3 год, зростання тиску в тилівій частині в районі протоки Дарданели досягало 6,7 гПа/3 год (за даними 09 (11) год 29.01.2014 р.).

Приземному циклону на карті АТ-850 відповідав висотний, окреслений однією замкнутою ізогіпсою 132 дам над північними районами Егейського моря, на АТ-700 – висотна улоговина, вісь якої була орієнтована від Британських островів через Центральну Європу на Балкани. Контрасти температури у висотній фронтальній зоні над Азовським морем на карті ОТ500/1000 становили близько 8-10 дам/1000 км. По передній частині циклону на південно-східні райони Чорного моря поширилась адвекція тепла зі східних районів Середземного моря, температура повітря над турецьким та кавказьким узбережжям Чорного моря за 18 (20) год 29 січня становила 14...18 °С, тоді як над Азовським морем знизилась до 9...14 °С. Циклон за добу перемістився з Мармурового моря на східні райони Чорного моря, при цьому тиск у центрі зріс до 1010 гПа.

Наявність блокуючого антициклону підтримувала значний баричний градієнт біля земної поверхні над Азовським морем (близько 5 гПа/111 км). Значні термічний та баричний градієнти сприяли посиленню північно-східного вітру до критерію стихійного гідрометеорологічного явища. На акваторії морів швидкість вітру

сягала 15...24 м·с⁻¹, в Генічеську, Бердянську та Маріуполі – 25...28 м·с⁻¹. Поєднання вітру з сильним снігом призвело до сильної хуртовини. Посилення вітру супроводжувалось небезпечни-

ми льодовими та згінно-нагінними явищами, швидким обмерзання суден.

Таблиця 2 - Поєднання повторюваності (%) ЕЦМ та підтипів синоптичних процесів з індексами Каца і V_{max}. Холодне півріччя 2011-2014 рр.

Тип ЕЦМ	Підтипи синоптичних процесів					
	5.1	5.2	6.1	6.2	6.3	6.4
5 а, 5 в				5,3 0,95 м зм 0,91 м зах 1,11 м сх 22		
6		3,5 0,76 м зах 0,79 м сх 16				
8 бз, 8 гз	1,7 0,67 м зон 16			3,5 0,48 зон 1,18 м зах 18		
11 а, 11 б, 11 в, 11 г		3,5 1,64 м зм 2,11 м зах 26	7,0 1,30 м зм 1,45 м ц 1,71 м ц 1,13 м ц 25	1,7 0,59 зон 20	3,5 0,70 зон 0,97 м зм 22	5,3 1,50 м зм 0,55 зон 0,99 м ц 21
12 а	5,3 1,16 м зм 0,79 м зах 0,65 зон 20		5,3 1,10 м ц 1,03 м ц 0,99 м зм 20	10,5 1,32 м зм 0,97 м зах 1,08 м зах 0,98 м зах 1,39 м зах 22	5,3 0,97 м сх 0,75 м сх 0,72 зон 20	5,3 0,77 м зм 0,60 зон 0,77 м сх 27
12 бз		3,5 1,29 м ц 0,55 зон 20	3,5 0,80 м ц 0,95 зон 22	1,8 0,76 м зм 25	1,8 0,76 м зм 16	
12 вз		5,3 1,02 м зм 1,05 м зм 0,53 зон 20	1,7 1,16 м зах 16	1,8 0,94 м сх 22		
13 з	3,5 0,82 м зах 1,11 м зах 20	7,0 3,01 м ц 1,53 м ц 1,12 м ц 0,74 зон 22		1,8 0,95 м зах 21		1,8 2,85 м зм 22

Примітка: в кожній клітинці зліва – повторюваність (%), праворуч зверху – індекси циркуляції Каца і значення V_{max}, м·с⁻¹ (внизу).

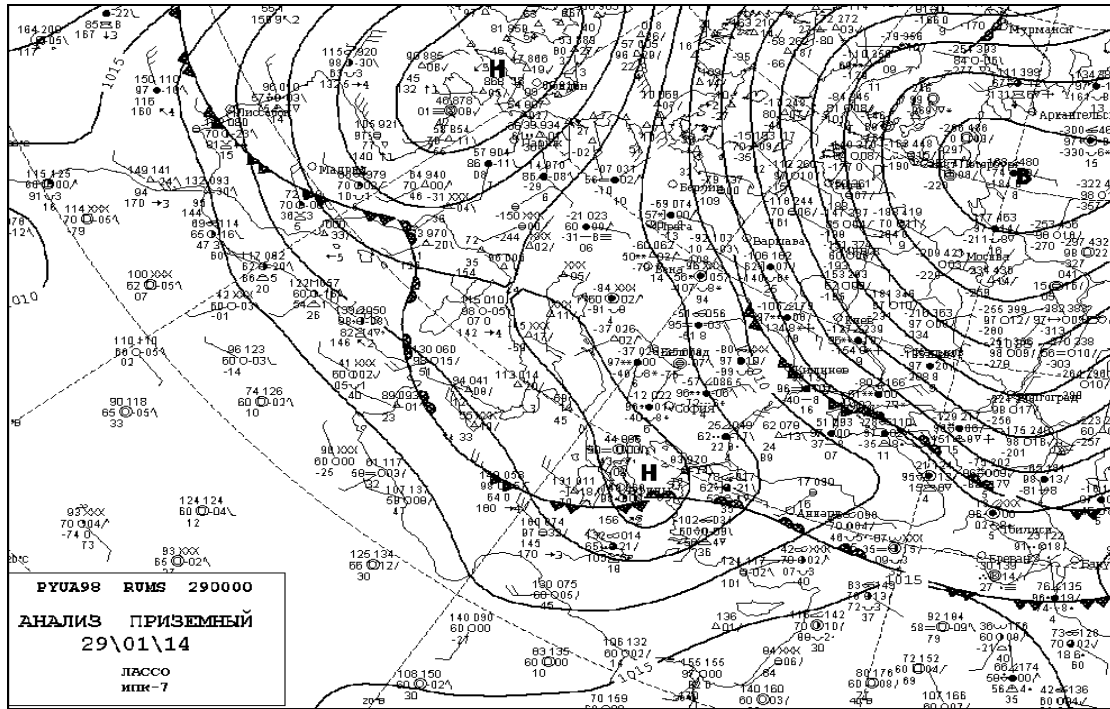


Рисунок - Аналіз приземний за 29.01.2014 р., 00 ВСЧ.

СГЯ завдало збитків портам та підприємствам морської галузі, розташованим на узбережжі Азовського моря: припинялись вантажні операції та судноплавство, були пошкоджені лінії електропередач [2].

5. ВИСНОВКИ

В результаті дослідження особливостей структури макроциркуляційних процесів у тропосфері над Україною з використанням індексів циркуляції Каца, класифікації циркуляційних механізмів по Б.Л. Дзердзевському та типізації синоптичних процесів встановлено наступне:

1. При дослідженні умов формування сильного вітру у холодні сезони по півдню України виявлено, що сильні та дуже сильні вітри найчастіше спостерігаються у південних та центральних районах Одеської області, особливо на станціях, що знаходяться на узбережжі морів та лиманів (Білгород-Дністровський, Усть-Дунайськ, порт Південний, Паромна Переправа).

2. Меридіональний характер циркуляції атмосфери (77,2%) створює сприятливі умови для посилення вітру у Північно-Західному Причорномор'ї до критерію сильного та дуже сильного, на зональний тип циркуляції доводиться 22,8% від загальної кількості. Меридіональний тип циркуляції представле-

ний переважно змішаною (24,6%) та західною (22,8%) формами.

3. Виділено основні типи синоптичних ситуацій (5, 6) по типізації Каца, які спричиняли сильні вітри. Найчастіше сильний вітер спостерігався при переміщенні циклонічних вихорів з півдня (тип ЕЦМ 12а, 13з) та в зоні взаємодії між антициклонами і циклонами. Всі чотири випадки посилення вітру до критерію дуже сильних пов'язані з переміщенням південних циклонів.

Висновки носять попередній характер і потребують підтвердження на більш об'ємному статистичному матеріалі

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Воскресенская Е.Н. Классификация синоптических процессов штормов в Азово-Черноморском бассейне /Е.Н. Воскресенская, В.А. Наумова, М.П. Евстигнеев, В.П. Евстигнеев // Тр. УкрНИГМИ. - 2009. - Вып. 258. - С. 189-200.
2. Савтер Л.А. Стихийні гідрометеорологічні явища, що спостерігались на акваторії Чорного та Азовського морів в 2014 р. / Л.А. Савтер // Вестник Гидрометцентра Черного и Азовского морей. - 2014. - № 2(17). - С. 13-16.
3. Івус Г.П. Характеристика сучасного вітрового режиму у північному Причорномор'ї / Г.П. Івус, А.Б. Семергей-Чумаченко, Л.М. Гурська, М.В. Бородкіна, Д.С. Черней // Зб. статей за матеріалами студентської наук. конф. ОДЕКУ 14-17 квітня 2009. - Одеса:ОДЕКУ. - 2009. - С. 15-20.
4. Настанова по службі прогнозів та попереджень про небезпечні та стихійні явища погоди. - Київ, Держав-

- ний комітет України з гідрометеорології. - 2004. - 31 с.
5. Івус Г.П. Коротка характеристика вітрового режиму півдня Одеської області у 2005-2013 рр. / Г.П. Івус, А.Б. Семергей-Чумаченко, О.В. Замфіров // Вестник Гидрометцентра Черного и Азовского морей. - 2014. - № 2(17). - С. 73-80.
 6. Івус Г.П. До проблеми типізації синоптичних процесів над півднем України в сучасних умовах / Г.П. Івус, А.Б. Семергей-Чумаченко, Е.В. Агайар // Причорноморський екологічний бюлетень. - 2009. - № 2(32). - С. 25-33.
 7. Івус Г.П. Статистичні характеристики швидкості вітру над Сходом України у січні в епоху кліматичних змін / Г.П. Івус, А.Б. Семергей-Чумаченко, С.О. Зубкович // Фізична географія та геоморфологія. - 2009. - Вип. 57. - С. 23-28.
 8. Івус Г.П. Спеціалізовані прогнози погоди [підручник] / Г.П. Івус. - Одеса: ТЕС, 2012. - 407 с.
 9. Івус Г.П., Агайар Е.В., Гурська Л.М., Зубкович С.О. До питання про типізацію синоптичних процесів над територією України / Г.П. Івус, Е.В. Агайар, Л.М. Гурська, С.О. Зубкович // Вісник ОДЕКУ. - 2015. - Вип. 19. - С. 41-47.
 10. Ivus G.P., Zubkovych S.O., Khomenko G.V., Kovallkov I.A. Conditions of formation of dangerous wind zones on the territory of Ukraine. *European Applied Science, Europaische Fachhochschule*, 2014, Ed. 10, pp. 59-64.
 11. Івус Г.П. Вплив циркуляції атмосфери на погодні умови Північно-Західного Причорномор'я / Г.П. Івус, Л.М. Гурська, А.В. Плужніченко // Вестник Гидрометцентра Черного и Азовского морей. - 2014. - № 2(17). - С. 80-87.
 12. Ivus G.P., Zubkovych S.O., Agayar E.V., Hurska L.M. To the question about typification of synoptic processed over territory of Ukraine. *International Journal of Research In Earth and Environmental Sciences*, 2015, vol. 03, № 1, pp. 21-27.
 13. Кононова Н.К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б.Л. Дзердзеевскому / Н.К. Кононова // отв. ред. А.Б. Шмакин; Рос. акад. наук, ин-т географии - М.:Воентехиниздат, 2009. - 372 с.
 14. Rossby C.-G. et al. Relations between variations in the intensity on the zonal circulation of the atmosphere and the displacements of the semipermanent centers of action. *Journal Marine Research*, 1939, vol. 2, pp. 38-55.
 15. Блинова Е.Н. Гидродинамическая теория волн давления, температурных волн и центров действия атмосферы / Е.Н. Блинова // Докл. АН СССР. - 1943. - Т. 39. № 7. - С. 284-287.
 16. Кац А.Л. Об изучении и оценке общей циркуляции атмосферы / А.Л. Кац // Метеорология и гидрология. - 1954. - № 6. - С. 13-18.
 17. Кац А.Л. Индекс циркуляции как показатель зональных и меридиональных синоптических процессов / А.Л. Кац // Метеорология и гидрология. - 1959. - № 5. - С. 3-8.
 18. Кац А.Л. Сезонные изменения общей циркуляции атмосферы и долгосрочные прогнозы / А.Л. Кац // - Л.:Гидрометеиздат, 1960. - 270 с.
 19. Петросянц М.А. Крупномасштабное воздействие глобальной циркуляции атмосферы с температурой поверхности экваториальной части Тихого океана / М.А. Петросянц, Д.Ю. Гущина // Метеорология и гидрология. - 1998. - № 5. - С. 5-24.
 20. Гущина Д.Ю. Связь интенсивности циркуляции в циклонах умеренных широт с аномалиями температуры воздуха и осадков / Д.Ю. Гущина, Т.Г. Аракелян, М.А. Петросянц // Метеорология и гидрология. - 2008. - № 11. - С. 5-20.
 21. Дзердзеевский Б.Л. Типовые схемы общей циркуляции атмосферы и индекс циркуляции / Б.Л. Дзердзеевский, А.С. Монин // Изв. АН СССР. Сер. геофиз. - 1954. - № 6. - С. 562-574.
 22. Золотокрылин А.Н. Сравнение синоптической и формальной классификации крупномасштабной циркуляции атмосферы Северного полушария / А.Н. Золотокрылин, К.В. Коняев, И.Н. Эзау // Метеорология и гидрология. - 1998. - № 2. - С. 34-44.
 23. Наумова В.А. Штормовые волны в Азово-Черноморском бассейне как региональный отклик на крупномасштабные процессы в системе океан-атмосфера / В.А. Наумова, Н.Е. Воскресенская, М.П. Евстигнеев, В.П. Евстигнеев // Мат. конф. «Глобальні та регіональні зміни клімату», Київ, 2010. - С. 43 - 45.
 24. Савтер Л.А. Опис гідрометеорологічних умов, які мали найбільш істотний вплив на виробничу діяльність основних господарських галузей у 2011 році / Л.А. Савтер // Вестник Гидрометцентра Черного и Азовского морей. - 2011. - №2(13). - С. 3-14.

REFERENCES

1. Voskresenskaya E.N. Klassifikatsiya sinopticheskikh protsessov shtormov v Azovo-Chernomorskom baseyne [Classification of synoptic processes for the storms on Azov and Black Sea basin]. *Tr. UkrNIGMI - Proc. UkrSRHMI*, 2009, issue 258, pp. 189-200.
2. Savter L.A. Stykhiyni hidrometeorolohichni yavyschcha, shcho sposterihalys' na akvatorii Chornoho ta Azovskoho moriv u 2014 r. [Severe weather in Azov and Black Sea basin at 2014]. *Vestnik Gidromettsentra Chernogo i Azovskogo morey - Bulletin of the Hydrometeorological Center of the Black and Azov Seas*, 2014, no. 2(17), pp. 13-16.
3. Ivus G.P., Semergey-Chumachenko A.B., Hurska L.M., Borodkina M.V., Cherney D.S. Kharakterystyka suchasnoho vitrovoho rezhymu u pivnichnomu Prychornomor'yi [Present wind conditions on the Black Sea]. *Zb. statey za materialamy students'koyi nauk. konf. ODEKU 14-17 kvitnya 2009 - Coll. Articles for science student. Conf. of OSENU 14-17 April 2009*. Odessa: OSENU, 2009, pp. 15-20.
4. *Nastanova po sluzhbi prohnoziv ta poperedzhenn' pro nebezpechni ta stykhiyni yavyschcha pohody* [Guidelines for Service forecasts and warnings of hazardous weather and natural disasters]. Kyiv: The State Committee of Ukraine for Hydrometeorology, 2004. 31 p.
5. Ivus G.P., Semergey-Chumachenko A.B., Zamfirov O.V. Korotka kharakterystyka vitrovoho rezhymu pivdnya Odes'koyi oblasti u 2005-2013 rr. [Brief description of wind conditions on the south of Odessa region in 2005-2013]. *Vestnik Gidromettsentra Chernogo i Azovskogo morey - Bulletin of the Hydrometeorological Center of the Black and Azov Seas*, 2014, no. 2(17), pp. 73-80.
6. Ivus G.P., Semergey-Chumachenko A.B., Agayar E.V. Do problemy typizatsiyi synoptychnykh protsesiv nad pivdnem Ukrayiny v suchasnykh umovakh [To the problem of typing synoptic processes over the south of

- Ukraine in modern conditions]. *Prychornomors'kyi ekolohichnyi byuletten' - Black Sea Environmental Bulletin*, 2009, no. 2 (32), pp. 25-33.
7. Ivus G.P., Semerгей-Chumachenko A.B., Zubkovich S.O. Statystychni kharakterystyky shvydkosti vitru nad Skhodom Ukrayiny u sichni v epokhu klimatychnykh zmin [Statistical characteristics of wind speed over Eastern Ukraine in January at the time of climate change]. *Fizychna heohrafiya ta heomorfolohiya - Physical geography and geomorphology*, 2009, vol. 57, pp. 23-28.
 8. Ivus G.P. *Spetsializovani prohnozy pohody* [Specialized weather forecast]. Odessa: TES Publ., 2012, 407 p.
 9. Ivus G.P., Agayar E.V., Hurska L.M., Zubkovich S.O. Do pytannya pro typizatsiyu synoptychnykh protsesiv nad terytoriyeyu Ukrayiny [To the question of typing synoptic processes over the territory of Ukraine]. *Visn. Odes. derž. ekol. univ. – Bulletin of Odessa State Environmental University*, 2015, vol. 19, pp. 41-47.
 10. Ivus G.P., Zubkovych S.O., Khomenko G.V., Kovallkov I.A. Conditions of formation zones of dangerous wind on the territory of Ukraine. *European Applied Science, Europäische Fachhochschule*, 2014, ed. 10, pp. 59-64.
 11. Ivus G.P., Hurska L.M., Pluzhnichenko A.V. Vplyv tsirkulyatsiyi atmosfery na pohodni umovy Pivnichno-Zakhidnoho Prychornomor'ya [The influence of atmospheric circulation to weather on Northwestern Black Sea]. *Vestnik Gidromettsentra Chernogo i Azovskogo morey - Bulletin of the Hydrometeorological Center of the Black and Azov Seas*, 2014, no. 2(17), pp. 80-87.
 12. Ivus G.P., Zubkovych S.O., Agayar E.V., Hurska L.M. To the question about typification of synoptic processes over territory of Ukraine. *International Journal of Research In Earth and Environmental Sciences*, 2015, vol. 03, no. 1, pp. 21-27.
 13. Kononova N.K. *Klassifikatsiya tsirkulyatsionnykh mekhanizmov Severnogo polushariya po B.L. Dzerdzeevskomu* [Classification circulation mechanisms over the Northern Hemisphere by Dzerdzeevskiy]. Moscow: Voentekhnizdat Publ., 2009, 372 p. (Ed. Shmakin A.B.)
 14. Rossby C.-G. et al. Relations between variations in the intensity on the zonal circulation of the atmosphere and the displacements of the semipermanent centers of action. *Journal Marine Research*, 1939, vol. 2, pp. 38-55.
 15. Blinova E.N. Gidrodinamicheskaya teoriya voln davleniya, temperaturnykh voln i tsentrov deystviya atmosfery [The hydrodynamic theory of pressure waves, thermal waves and the centers of action atmosphere]. *Dokl. AN SSSR - Report USSR Academy of Sciences*, 1943, vol. 39, no. 7, pp. 284-287.
 16. Kats A.L. Ob izuchenii i otsenke obshchey tsirkulyatsii atmosfery [About the study and assessment the general circulation of the atmosphere]. *Meteorologiya i gidrologiya - Meteorology and Hydrology*, 1954, no. 6, pp. 13-18.
 17. Kats A.L. Indeks tsirkulyatsii kak pokazatel' zonal'nykh i meridional'nykh sinopticheskikh protsessov [Circulation Index as an indicator of the zonal and meridional synoptic processes]. *Meteorologiya i gidrologiya - Meteorology and Hydrology*, 1959, no. 5, pp. 3-8.
 18. Kats A.L. *Sezonnye izmeneniya obshchey tsirkulyatsii atmosfery i dolgosrochnye prognozy* [Seasonal changes of the general atmosphere circulation and long-term forecasts]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1960, 270 p.
 19. Petrosyants M.A., Gushchina D.Yu. Krupnomasshtabnoe vozdeystvie global'noy tsirkulyatsii atmosfery s temperaturoy poverkhnosti ekvatorial'noy chasti Tikhogo okeana [Large-scale impact of the global atmosphere circulation with the surface temperature of the equatorial Pacific]. *Meteorologiya i gidrologiya - Meteorology and Hydrology*, 1998, no. 5, pp. 5-24.
 20. Gushchina D.Yu., Arakelyan T.G., Petrosyants M.A. Svyaz' intensivnosti tsirkulyatsii v tsiklonakh umerennykh shirot s anomaliami temperatury vozdukhha i osadkov [The connection of circulation intensity off-tropical cyclones with anomalies of the air temperature and precipitation]. *Meteorologiya i gidrologiya - Meteorology and Hydrology*, 2008, no. 11, pp. 5-20.
 21. Dzerdzeevskiy B.L., Monin A.S. Tipovye skhemy obshchey tsirkulyatsii atmosfery i indeks tsirkulyatsii [Typical schemes of the general circulation of the atmosphere and the circulation of the index]. *Izv. AN SSSR. Ser. geofiz. - Math. USSR Academy of Sciences. Ser. geophys.*, 1954, no. 6, pp. 562-574.
 22. Zolotokrylin A.N., Konyayev K.V., Ezau I.N. Sravnenie sinopticheskoy i formal'noy klassifikatsii krupnomasshtabnoy tsirkulyatsii atmosfery Severnogo polushariya [Compare odds and synoptic-mal classification of large-scale compass-tion of the atmosphere of the Northern Hemisphere]. *Meteorologiya i gidrologiya - Meteorology and Hydrology*, 1998, no. 2, pp. 34-44.
 23. Naumova V.A., Voskresenskaya N.E., Evstigneev M.P., Evstigneev V.P. Shtormovye volny v Azovo-Chernomorskom bassejne kak regional'nyy otklik na krupnomasshtabnye protsessy v sisteme okean-atmosfera [Storm surges in the Azov-Black Sea Basin as a regional response to large-scale processes in the ocean-atmosphere system]. *Mat. konf. «Hlobal'ni ta rehional'ni zminy klimatu» - Mat. Conf. "Global and regional climate changes"*, Kyiv, 2010, pp. 43 – 45.
 24. Savter L.A. Opys hidrometeorolohichnykh umov, yaki maly naybil'sh istotnyy vplyv na vyrobnychu diyal'nist' osnovnykh hospodars'kykh haluzey u 2011 rotsi [Description of meteorological conditions that have the most significant impact on industrial activity-ness of the main economic sectors in 2011]. *Vestnik Gidromettsentra Chernogo i Azovskogo morey - Bulletin of the Hydrometeorological Center of the Black and Azov Seas*, 2011, no. 2(13), pp. 3-14.

CIRCULATION CONDITIONS OF STRONG AND ELEMENTAL WIND OVER SOUTHWESTERN UKRAINE

H.P. Ivus, professor, candidate of sciences, Head of Department

E.V. Agayar, candidate of sciences, associate professor

L.M. Hurska, senior lecturer

A.B. Semergei-Chumachenko, candidate of sciences, associate professor

*Odessa State Environmental University,
15, Lvivska St., 65016, Odessa, Ukraine, hurska.od@gmail.com*

Introduction. Nowadays the problem of storm winds appears to be a very relevant one in those spheres of human activities related to safety of human living, coastal infrastructure, seafaring, aviation etc. One of the conditions for successful forecasting of strong winds is familiarization with wind characteristics of the study area and with synoptic conditions causing them. The below listed results of research form continuation of previous works for search of a better synoptic classification reflecting completeness of macroscale baric processes causing formation of winds, including strong winds, over the South of Ukraine and also providing an opportunity to forecast winds in a more accurate manner.

The purpose of this publication consists in analysis of interaction of large-scale atmospheric circulation with formation of unfavourable weather conditions (strong and very strong winds) on the north-west coast of the Black Sea.

Methods and results. The impact of storm winds is significant for functioning of the national economic complex of the North-Western Black Sea region. In order to investigate this effect there were fifty seven cases of wind amplification up to criterion of strong ≥ 15 m·s⁻¹ and very strong ≥ 25 m·s⁻¹ selected within the Odessa region during the period from October to March in 2011 – 2014.

Indexes of Katz circulation for isobaric surface of 500 hPa were calculated as per the data of synoptic archive for the cases with wind speed of ≥ 15 m·s⁻¹. A more detailed study of the structure of macrocirculation processes under strong winds, except for Katz indexes, is provided by means of classification and calendar of successive change of elementary circulation mechanisms (ECM) in the Northern hemisphere according to Dzerdzeyevskiy B.L. and typification of synoptic processes developed at the Department of Theoretical Meteorology and Meteorological Forecasts of OSENU. It was determined that strong and very strong winds often occur in southern and central regions, particularly at the stations located on the shores of seas and estuaries (Bilgorod-Dnistrovskiy, Ust-Dunaysk, Pivdennyi port). Meridional type of atmospheric circulation (77.2%) creates favourable conditions for wind amplification in the North-Western part of the Black Sea up to the criterion of strong and very strong one, zonal type of circulation constitutes 22.8% from the total number of cases. Meridional type of circulation is mainly represented by mixed and western forms – (24.6%) and (22.8%) respectively. Main types of synoptic situations (5, 6) of Katz typification that used to cause strong winds were revealed. Most frequently strong wind was observed while moving of cyclonic vortexes from the South (ECM type – 12a, 13z) and in the area of cyclones and anticyclones interaction.

Conclusion. It was found that wind speed amplification in the South of Ukraine up to the criteria of strong and very strong one mainly occurs due to the meridional type of atmospheric circulation which is dominated by mixed or western forms of circulation as per Katz typification, ECM type 12a and 13z according to Dzerdzeyevskiy B.L. and types 5 (subtype 5.2) and 6 (all subtypes depending on ECM) as per synoptic typification of OSENU.

Directions for further research should include the following. The conclusions have preliminary character and need confirmation on the basis of bigger scope of statistical data.

Keywords: synoptic processes, elementary circulation mechanisms (ECM), typification of atmospheric circulation, circulation indexes, strong winds forecasting.

ЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ СИЛЬНОГО И СТИХИЙНОГО ВЕТРА НАД ЮЖНЫМ ЗАПАДОМ УКРАИНЫ

Г.П. Ивус, профессор, к.геогр.н., заведующий кафедрой
Э.В. Агайар, к.геогр.н., доцент
Л.М. Гурская, старший преподаватель
А.Б. Семергей-Чумаченко, к.геогр.н., доцент

*Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, hurska.od@gmail.com*

В статье описываются особенности взаимодействия крупномасштабной циркуляции атмосферы с формированием неблагоприятных погодных условий в холодный период (октябрь-март) 2011-2014 гг. в районе Северо-Западного Причерноморья, которые проявляются как сильный и очень сильный ветер. Для случаев скорости ветра $\geq 15 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ по данным синоптического архива рассчитаны индексы циркуляции Каца для изобарической поверхности 500 гПа. Более детальное исследование структуры макроциркуляционных процессов при сильном ветре, кроме индексов Каца, позволяет получить классификация и календарь последовательной смены элементарных циркуляционных механизмов (ЭЦМ) Северного полушария по Б.Л. Дзердзеевскому и типизация синоптических процессов, разработанная на кафедре теоретической метеорологии и метеорологических прогнозов ОГЭКУ. Получено, что усиление скорости ветра на юге Украины до критериев сильного и очень сильного, в основном, происходит за счет меридионального характера циркуляции атмосферы. При этом преобладают смешанная или западная формы циркуляции по индексу Каца, тип ЭЦМ 12а и 13з по Дзердзеевскому и типы 5 (подтип 5.2) и 6 (все подтипы в зависимости от ЭЦМ) по синоптической типизации ОГЭКУ.

Ключевые слова: синоптические процессы, элементарные циркуляционные механизмы (ЭЦМ), типизация атмосферной циркуляции, индексы циркуляции, прогноз сильных ветров.

Дата першого подання: 06.06.2016

Дата надходження остаточної версії: 14.06.2016

Дата публікації статті: 04.07.2016

УДК 551.58

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОДНОРОДНЫХ ЗОН В ПОЛЯХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕВЕРОТИХООКЕАНСКОГО РЕГИОНА В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД ГОДА

Э.Н. Серга, к. геогр. н., доцент

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

Предлагаются схемы районирования полей разности среднемесячных температур подстилающая поверхность-воздух на высоте 2 м, поверхностных потоков скрытого тепла, зональной составляющей скорости ветра в северной части Тихого океана, выполненного с помощью Универсального итерационного метода кластеризации данных. Приведен физический и статистический анализ полученных схем кластеризации, имеющий хорошее научное обоснование. Показано, что аналогично распределению в Северной Атлантике, распределение зональной составляющей скорости ветра имеет широтное направление, а потоков скрытого тепла и разности температур напоминает очаговый характер, а сохранением общей структуры на протяжении холодного периода.

Ключевые слова: репрезентативный вектор, разность температур, поток тепла, кластер, критерий, внутрикластерная дисперсия.

1. ВВЕДЕНИЕ

Исследование различных проявлений средних температур (в виде среднесуточных, среднемесячных, среднегодовых значений), потоков тепла, ветровых характеристик позволяет определить климатические изменения, как в отдельных районах, так и по всему земному шару. Так, например, в докладах Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC) [1] особое внимание уделяется температуре воздуха, как фактора изменения глобального климата. Здесь же говорится о потеплении вод мирового океана, как доминирующего фактора процесса увеличения энергии (кинетической, потенциальной, лабильной) климатической системы [1]. Естественно, что это потепление в результате турбулентного тепло и массообмена, приводит к изменению свойств приповерхностного слоя атмосферы над океаном, в том числе и температуры воздуха.

Энергетическое взаимодействие между океаном и атмосферой на временных масштабах, сравнимых с сезонным ходом, обладает важной особенностью. Оно заключается в том, что имеют место амплитудно-фазовые различия характеристик теплосодержания атмосферы и океана. Исследования показали, что наблюдается опережение в годовом ходе термических и влажностных характеристик океана термическими и влажностными характеристиками атмосферы. Запаздывание по фазе температуры воды относительно температуры воздуха составляет в среднем по Мировому океану 25-30 суток [2].

Опережение по фазе термическими и влажностными характеристиками атмосферы аналогичных параметров поверхности океанов должно приводить к сезонным потокам, имеющим направление от атмосферы к океану. Однако поскольку $T_B > T$ и $E_0 > e_z$, (T_B , T – соответственно температура воды и воздуха; E_0 , e_z – парциальное давление насыщения и фактическое) этот поток, как указывается в работе [2], является, по существу, "потоком холода" из атмосферы в океан. Ему соответствует поток тепла в обратном направлении. Термин "поток холода" характеризует физику процесса сезонного теплообмена, где активную роль играет атмосфера.

Обмен теплом и импульсом между атмосферой и океаном в большой мере определяет степень приспособления циркуляции воздушных масс к характеристикам океанической поверхности. В работе [2] в качестве меры приспособления рассматривается взаимное расположение вектора ветра над водной поверхностью, который отражает направление переноса и генезис воздушных масс, и вектора скорости крупномасштабных океанических течений, определяющих градиенты температуры вод поверхности океана и положение основных гидрологических фронтов. Когда вектор приповерхностного ветра коллинеарен с направлением течения, характеристики воздуха быстро приспособляются к свойствам поверхности воды, и даже при значительных скоростях ветра не создается условий для появления аномально высоких значений потоков тепла.

Наоборот, если воздушная масса перемещает-

ся перпендикулярно к фронту, в непосредственной близости от него образуются большие вертикальные градиенты метеорологических величин в приводном слое. Они приводят к возникновению экстремальных значений энергообмена.

Для исследования горизонтального распределения гидрометеорологических характеристик, как правило, применяются методы статистического анализа, в том числе и многомерного статистического анализа (например, факторного, кластерного и т.д.), которые позволяют не только получить поля той или иной характеристики с помощью построения соответствующих изолиний, но и определить целые однородные районы с характерной репрезентативной точкой, что помогает существенно сжать информацию, выявить границы распределения характеристики в общей пространственной совокупности.

Анализ изменчивости границ полученных районов, а также соответствующих статистических показателей (средних значений, дисперсий, среднеквадратических ошибок) на протяжении последующих временных интервалов, позволяет судить об особенностях проявления изменчивости климата и её интенсивности в полях рассматриваемых гидрометеорологических характеристик. Кроме того, существенно упрощается задача построения выборки предикторов, снижаются требуемые вычислительные мощности при исследовании взаимосвязи между различными параметрами, характеризующими взаимодействия в деятельном слое системы океан-атмосфера.

Однако все указанные положительные стороны предлагаемого подхода к изучению полей температуры, так же как и других характеристик, имеют место только при наличии объективных исходных данных с минимальным пространственным шагом, и отвечающим предъявляемым к статистическим рядам требованиям однородности, независимости, представительности.

Кластеризация среднемесячных полей разностей температур поверхность-воздух, потоков скрытого тепла и зональной составляющей скорости ветра, расчет статистических характеристик соответствующих однородных зон является целью данной работы и, одновременно, частью более общего исследования, связанного с определением районов интенсивного взаимодействия параметров состояния атмосферы и океана в северной части Тихого океана, как аналогов энергоактивных зон, хорошо описанных в научных трудах (например, [2]).

Размеры и конфигурация, особенности его связей с другими частями Мирового океана, а также размеры и конфигурация окружающих его участков суши и связанные с этим направления циркуляционных процессов в атмосфере создали ряд особенностей Тихого океана: средние годовые и сезонные температуры его поверхностных вод выше, чем в других океанах; часть океана, расположенная в северном полушарии, в целом значительно теплее южной, но в обоих полушариях западная часть теплее и получает больше осадков, чем восточная.

На большей части акватории Тихого океана к северу от экватора преобладают высокие температуры поверхностных вод. Этому способствует большая ширина океана в межтропическом пространстве, а также система течений, выносящих теплые воды Северного Пассатного течения на север вдоль берегов Евразии и соседних с ней островов.

Системы ветров, водообмен, особенности рельефа дна океана, положение континентов и очертания их берегов влияют на формирование поверхностных течений океана, а те, в свою очередь, определяют многие особенности гидрологического режима.

В высоких широтах в северном полушарии господствующим атмосферным процессом является западный перенос, но из-за того, что эта часть Тихого океана с севера, запада и востока замкнута сушей, зимой там складывается несколько иная метеорологическая ситуация, чем в южном полушарии. С западным переносом на океан поступает холодный и сухой континентальный воздух со стороны Евразии. Он вовлекается в замкнутую систему Алеутского минимума, формирующегося над северной частью Тихого океана, трансформируется и юго-западными ветрами выносится к берегам Северной Америки, оставляя обильные осадки в прибрежной зоне и на склонах Кордильер Аляски и Канады.

Подобные процессы предполагают наличие неоднородностей в полях различных гидрометеорологических характеристик северной части Тихого океана. Одним из методов исследования данных неоднородностей является кластерный анализ.

2. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Существует множество литературы, где подробно описаны различные методы проведения кластерного анализа [3-7]. Однако идеального алгоритма не существует и потенциально не мо-

жет существовать [8]. В разработанном нами универсальном итерационном методе кластеризации данных (УИМКД), в качестве исходной информации выступает матрица $X = (x_{ij})_{m \times n}$, содержащая m векторов-строк мерности n , характеризующая статистические ряды объёмом n в m пунктах, которые и должны быть кластеризованы. В качестве априорной информации, в отличие от других методов задается только минимальное количество векторов τ , которые могут составить кластер. Итерационный процесс в алгоритме УИМКД [9] состоит из ряда шагов и включает такие критерии как евклидово расстояние, критерий Фишера, критерий (статистика) Крамера-Уэлча и статистику критерия типа омега-квадрат (Лемана-Розеблатта) для проверки однородности двух независимых выборок. В качестве объекта для исследования методом кластеризации УИМКД были взяты поля разности среднемесячных температур подстилающей поверхности и воздуха на высоте 2 м, поверхностные потоки скрытого тепла и зональной составляющей скорости ветра (данные ре-анализа ERA-40 [10]), заданные в узлах регулярной сетки точек $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ в секторе, ограниченном по широте от 20° до 90° северной широты и по меридиану от 160° восточной долготы до 120° западной долготы, за период с 1957 по 2003 гг., осенне-зимние месяцы (ноябрь, декабрь, январь, февраль). Таким образом, в каждом узле сетки были сформированы 45-ти мерные векторы выбранных гидрометеорологических характеристик для указанных месяцев. Множество этих векторов и было представлено алгоритму УИМКД для разбиения на однородные кластеры.

3. ОПИСАНИЕ И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты проведенной кластеризации приведены на рис. 1-12. Определённые алгоритмом кластеры отображены на рисунках различными буквенными обозначениями латиницы.

В таблицах 1-3 представлены основные статистические характеристики (средние значения и межгодовые внутрикластерные дисперсии), соответствующие репрезентативным векторам выделенных однородных районов, согласно представленным гидрометеорологическим характе-

ристикам.

Данные статистического анализа полученных однородных районов в поле разности среднемесячных температур поверхности и воздуха на высоте 2 м имеют существенные различия (табл. 1), как по величине, так и по знаку. Отрицательные средние значения репрезентативных векторов соответствуют "потокам тепла" из атмосферы в океан, положительные, наоборот – из океана в атмосферу. Закономерным является также наличие больших дисперсий для районов с экстремальными значениями разности температур. Отрицательные значения поверхностных потоков скрытого тепла (табл. 2) означают направленность их от поверхности в атмосферу. Отрицательные значения зональной скорости ветра (табл. 3) определяют восточное, а положительные – западное направление. Минимальные значения символизируют переход от зональных к преобладающим меридиональным направлениям.

Результаты расчетов, полученные при применении алгоритма УИМКД к полям разностей температур поверхность-воздух представлены в виде карт-схем (рис. 1-4).

На них можно отметить очаговый характер распределения однородных зон данной характеристики без четко выраженной зональной или меридиональной направленности во все выбранные месяцы года.

При этом океанскую часть (большую) рассматриваемой территории в холодный период определяют 2-3 кластера (рис. 1-4), очертания и размеры которых обладают значительными вариациями от месяца к месяцу при общей сохранности мест дислокации.

Средние значения репрезентативных векторов однородных зон разности температур максимальны в западных и северо-западных частях водной поверхности (рис.1. – В, Е; рис.2. – С, рис.3 – D, С; рис.4 – С, А), а именно на стыке теплых течений Куроисио и Северо-Тихоокеанского с холодным Камчатско-Курильским и в Беринговом море. Причем в ноябре присутствует однородная зона, вытянутая вдоль западного побережья Берингова моря (рис.1 – кластер В) с максимальным положительным средним значением (температура воздуха ниже температуры воды).

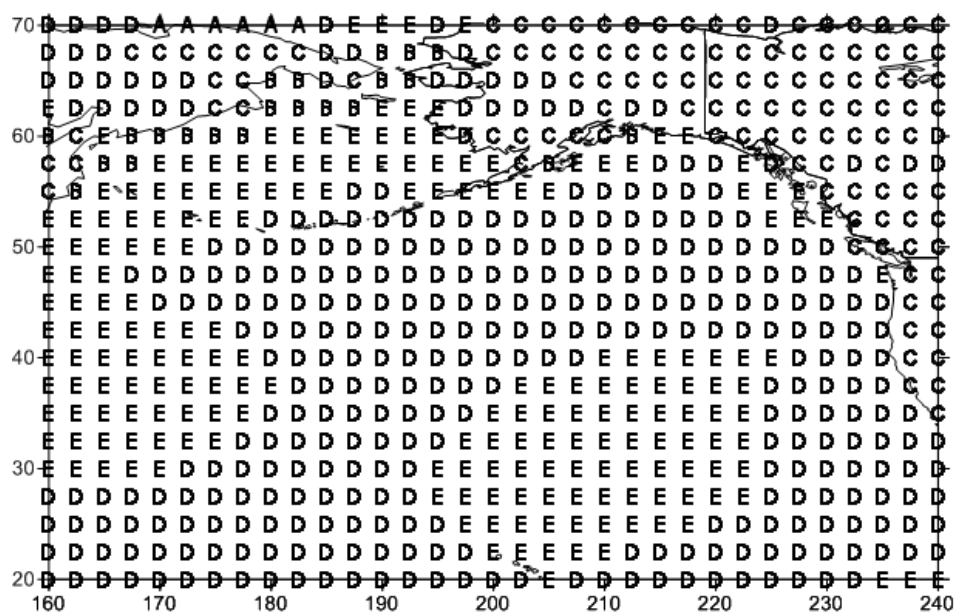


Рис. 1 – Карта распределения кластеров разности среднемесячных температур подстилающей поверхности и воздуха на высоте 2 м в северной части Тихого океана (ноябрь), 1957 - 2002 гг.

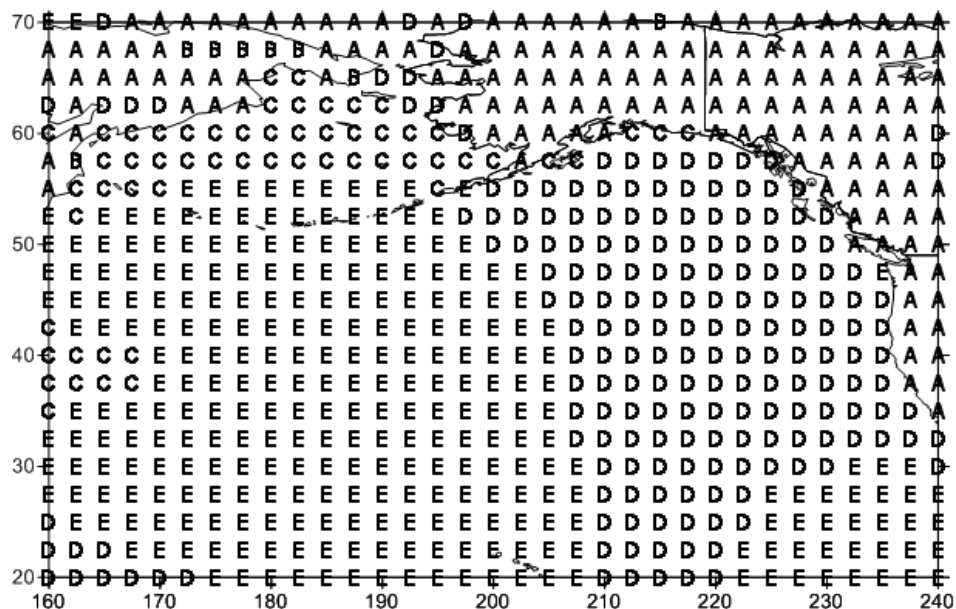


Рис. 2 – Карта распределения кластеров разности среднемесячных температур подстилающей поверхности и воздуха на высоте 2 м в северной части Тихого океана (декабрь), 1957 - 2002 гг.

Этот факт может быть связан с тем, что температура воды в периодически возникающем и усиливающим интенсивность поступающих холодных вод Чукотского моря противотечении ("полярное" течение), формируется под преобладающим воздействием теплого Аляскинского течения в бассейне Берингова моря и оказывается существенно выше температуры воздуха, поступающего с материка, куда он, в свою очередь, поступает уже с большей степенью покрытых льдом Чукотского и Восточно-Сибирского морей.

В последующие месяцы (рис. 1-3) увеличение количества льда в акватории Берингова моря приводит к смещению очага максимальных значений разности температур ближе к центральной области Аляскинского циклонического кругооборота – Алеутской котловине. Интересен также факт присутствия идентичной однородной зоны с максимальными значениями репрезентативного вектора во все рассматриваемые месяцы в пределах региона с координатами 35°-45°ш. и 160°-175°в.д. (рис. 1-4).

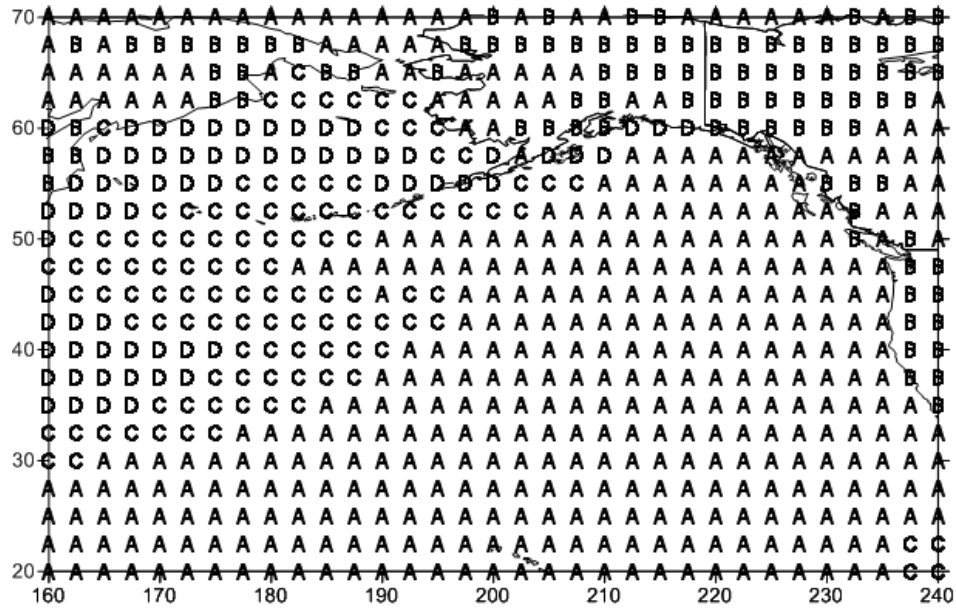


Рис. 3 – Карта распределения кластеров разности среднемесячных температур подстилающей поверхности и воздуха на высоте 2 м в северной части Тихого океана (январь), 1958 - 2003 гг.

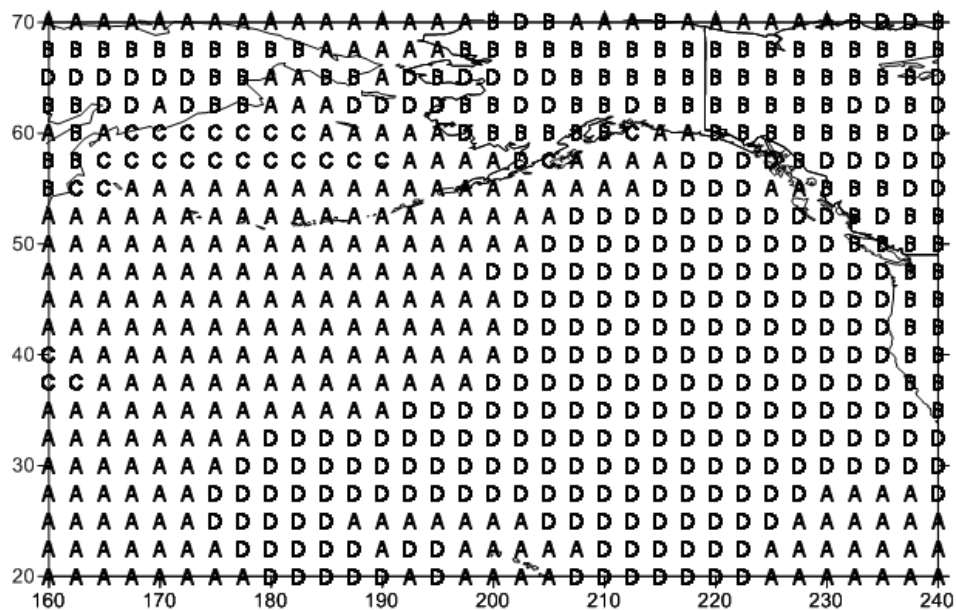


Рис. 4 – Карта распределения кластеров разности среднемесячных температур подстилающей поверхности и воздуха на высоте 2 м в северной части Тихого океана (февраль), 1958 - 2003 гг.

Следующей характеристикой, определяющей условия взаимодействия атмосферы и океана в приповерхностном слое воздуха, является поверхностный поток скрытого тепла (рис. 5-8).

Выявленные однородные регионы в полях значений этой характеристики имеют большую зональную направленность по сравнению с однородными регионами разности температур. Согласно данным таблицы 2 и представленным

картам-схемам (рис. 5-8), рассматриваемая территория поделена на две группы кластеров с линией раздела направленной с запада на восток и проходящей по северной границе Северотихоокеанского максимума. При этом в южной части располагаются зоны с максимальными отрицательными средними значениями и максимальными межгодовыми дисперсиями.

Таблица 1 – Межгодовые дисперсии и средние значения репрезентативных векторов разности среднемесячных температур поверхности и воздуха на высоте 2 м в полученных кластерах северной части Тихого океана (ноябрь-февраль), 1957 – 2003 гг., (К).

№№ п/п	Обозначение кластеров	Межгодовые внутрикластерные дисперсии				Средние значения			
		ноябрь	декабрь	январь	февраль	ноябрь	декабрь	январь	февраль
1	А	1.4	0.1	0.0	0.1	0.0	-0.6	1.0	1.8
2	В	0.9	0.3	0.1	0.1	4.6	-2.0	-0.9	-0.7
3	С	0.1	0.8	0.2	1.4	-0.8	4.1	2.1	4.5
4	Д	0.0	0.1	0.5	0.1	1.2	1.2	3.8	0.8
5	Е	0.0	0.0	-	-	2.0	1.7	-	-

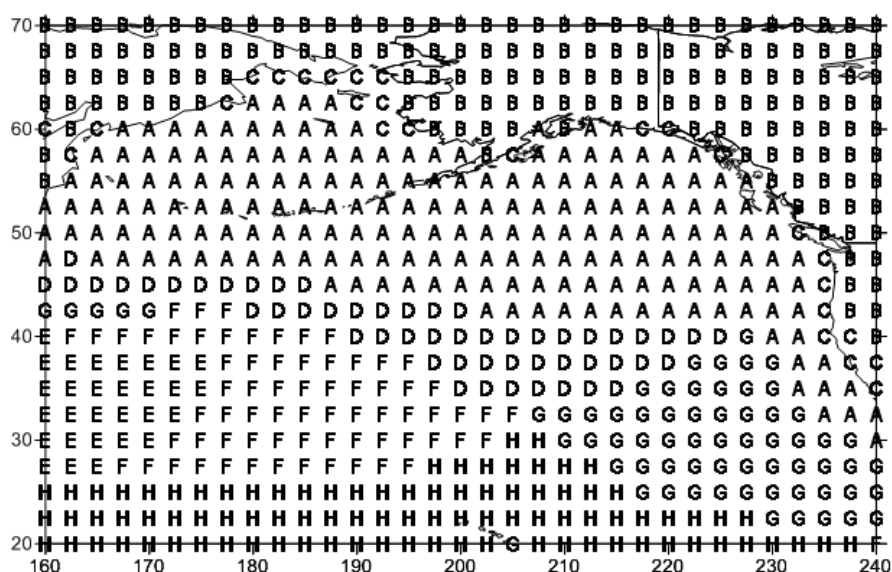


Рис. 5 – Карта распределения кластеров потоков скрытого тепла в северной части Тихого океана (ноябрь), 1957 - 2002 гг.

На полученных схемах кластеризации прослеживается очаг с максимальным отрицательным средним значением репрезентативного вектора (поток тепла из океана в атмосферу) (рис. 5 - Е, рис. 6 - Н, рис. 7 - F, рис. 8 - Е, табл. 2) практически не меняющий свою конфигурацию и располагающийся в районе 24°-40° с. ш. и 160°-176° в. д.

Этот очаг имеет ещё две особенности, заключающиеся в наличии максимального значения межгодовой дисперсии (табл. 2) и в территориальном совпадении с подобным очагом максимальных значений разности температур (рис. 1 - Е, рис.2 - С, рис. 3 - D, рис. 4 - С), который, однако, обладает изменчивостью границ на протяжении рассматриваемого периода. В Беринговом

море такие совпадения отсутствуют, здесь имеют место кластеры с как минимум в половину меньшими отрицательными значениями потоков тепла, что вероятно связано с более низкими температурами в рассматриваемых средах и коллинеарностью в направлениях ветра и океанских течений.

Последний фактор, вероятно определяющий относительно незначительные потоки скрытого тепла при значительных разностях температур, явно прослеживается на картах-схемах кластеризации зональной составляющей скорости ветра (рис. 9 – кластеры D, А, рис. 10 – кластеры В, А, рис. 11 – кластеры В, А; рис. 12 – кластеры Е, А).

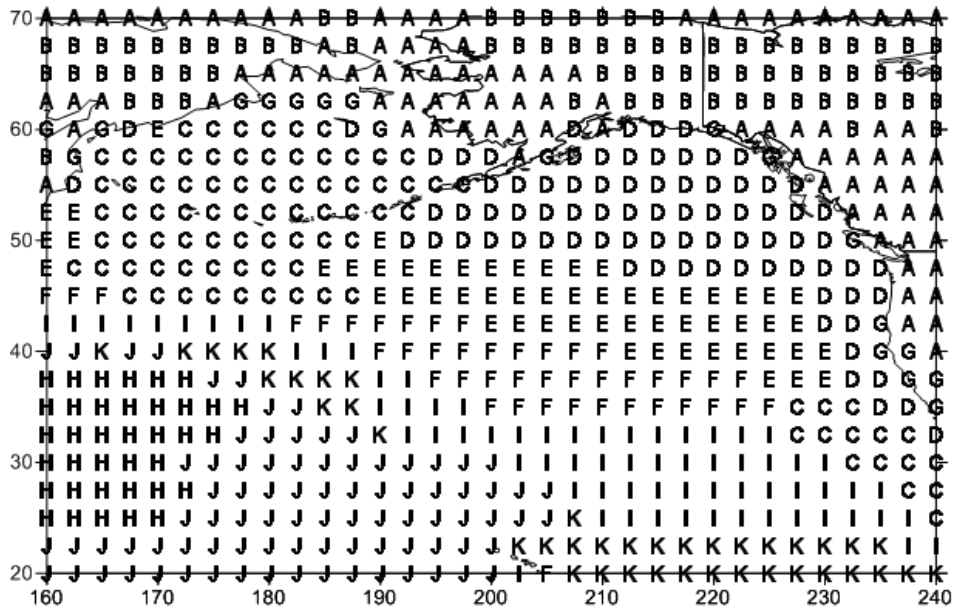


Рис. 6 – Карта распределения кластеров потоков скрытого тепла в северной части Тихого океана (декабрь), 1957 - 2002 гг.

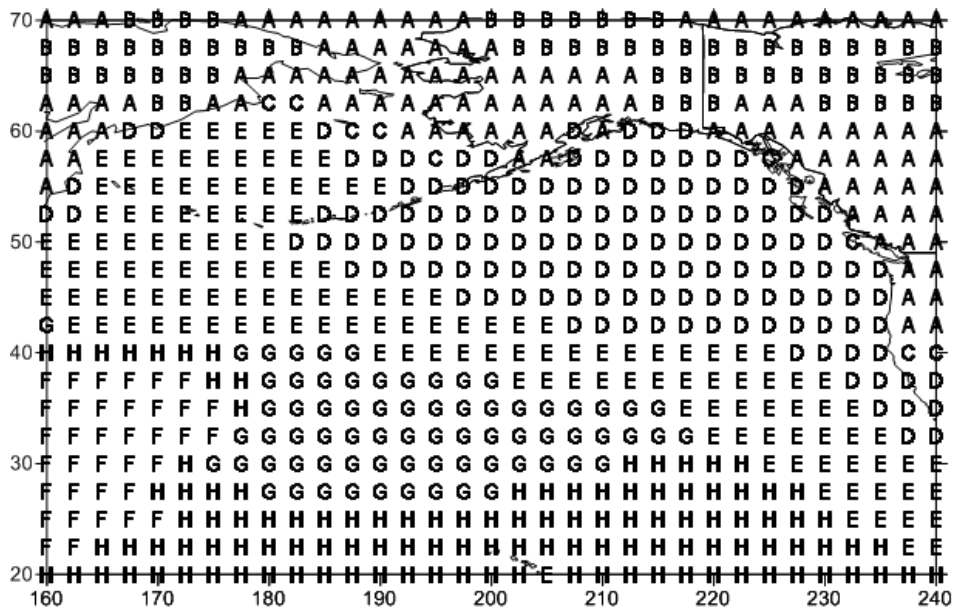


Рис. 7 – Карта распределения кластеров потоков скрытого тепла в северной части Тихого океана (январь), 1958 – 2003 гг.

Здесь северные кластеры имеют большие отрицательные средние значения (преобладающее восточное направление ветра), а значения в южных – положительные и уменьшаются с ноября по февраль.

Конфигурация этих однородных зон сохраняется на протяжении всего рассматриваемого осенне-зимнего периода.

Следующей, с несколько меньшими от максимальных отрицательными значениями потоков скрытого тепла (кроме февраля), является самая

южная зона (рис. 5 – Н, рис. 6 – J, К, рис. 7 – Н, рис.8 – Н), которая на протяжении осенне-зимнего периода практически сохраняет свои очертания. Очевидно, наличие такой зоны связано с высокими температурами поверхности воды Северного Пассатного течения. Этому району, также, соответствует и однородный район с сильными западными ветрами (рис. 9 – E, D, рис. 10 – E, B, рис. 11 - A, B, рис. 12 – E, D).

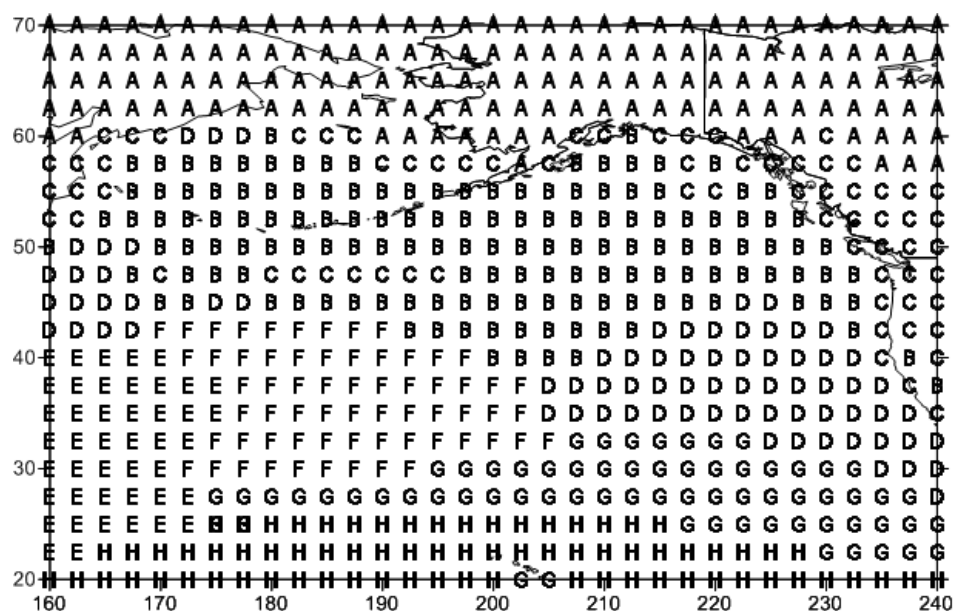


Рис. 8 – Карта распределения кластеров потоков скрытого тепла в северной части Тихого океана (февраль), 1958 – 2003 гг.

На северо-востоке исследуемой территории проявляется ограниченный береговой чертой (западным побережьем Северной Америки) район, включающий в себя от одного до трех кластеров, среди которых выделяется (кроме января) узкой полосой зона, соответствующая наиболее холодной части Калифорнийского течения (рис. 5 - С, рис. 6 - G, рис. 8 - С). Согласно таблицы 2 в этой зоне потоки скрытого тепла относительно слабые и направлены от поверхности океана в атмосферу, а присущая им небольшая межгодовая дисперсия свидетельствует об ус-

тойчивости данного процесса

На остальной территории северной части Тихого океана, особенно в декабре (рис. 6 – кластеры D, E) хорошо проявляются кластеры Аляскинского циклонического (рис. 5 – А, рис. 7 - D, рис. 8 – В) и восточной части Северо-Тихоокеанского антициклонического кругооборотов (рис. 5 - G, рис.6 – С, I, K, рис. 7 - E, H, рис. 8 – D, G), с относительно стабильными в течение всего рассматриваемого периода средними значениями репрезентативных векторов.

Таблица 2 – Межгодовые дисперсии и средние значения репрезентативных векторов поверхностных потоков скрытого тепла в полученных кластерах северной части Тихого океана (ноябрь-февраль), 1957 – 2003 гг., (Дж/м²)

№№ п/п	Обозначение кластеров	Межгодовые внутрикластерные дисперсии ($\times 10^8$)				Средние значения ($\times 10^5$)			
		ноябрь	декабрь	январь	февраль	ноябрь	декабрь	январь	февраль
1	A	505.2	5.4	3.2	4.3	-15.2	-1.1	-1.5	-1.4
2	B	2.1	1.0	1.1	373.8	-0.6	0.0	-0.1	-11.4
3	C	133.8	556.7	264.5	57.4	-7.1	-15.8	-5.9	-7.4
4	D	1505.5	782.1	455.7	722.4	-21.4	-11.6	-11.3	-15.8
5	E	5051.6	863.0	519.4	2259.1	-42.0	-13.7	-17.2	-29.2
6	F	1798.0	1647.1	3296.3	1511.0	-33.4	-20.2	-37.5	-19.9
7	G	1703.3	115.7	2678.1	930.2	-26.0	-6.0	-26.2	-25.4
8	H	1310.4	2935.6	987.0	1383.0	-37.0	-42.2	-31.6	-33.5
9	I	-	658.4	-	-	-	-26.0	-	-
10	J	-	1305.1	-	-	-	-36.0	-	-
11	K	-	988.4	-	-	-	-31.1	-	-

Следует отметить, что однородные зоны антициклонического субполярного кругооборота, расположенные южнее, имеют большие отрицательные значения потока. Очевидно, этот факт связан с более высокими температурами океанской поверхности в южных широтах.

В полях зональной составляющей скорости ветра присутствует строго зонально-

ориентированная система из двух кластеров (рис. 9 – В, С, рис. 10 – С, D, рис. 11 – С, D, рис. 12 – С, В), имеющая максимальные положительные средние значения (преимущественно западные направления воздушных потоков) и межгодовые дисперсии (за исключением ноября).

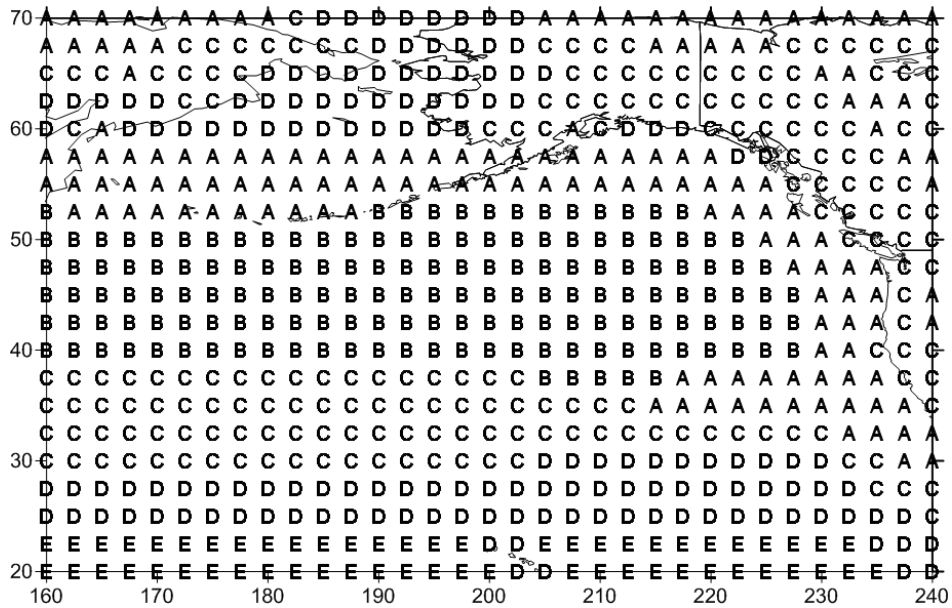


Рис. 9 – Карта распределения кластеров зональной составляющей скорости ветра в северной части Тихого океана (ноябрь), 1957 – 2002 гг.

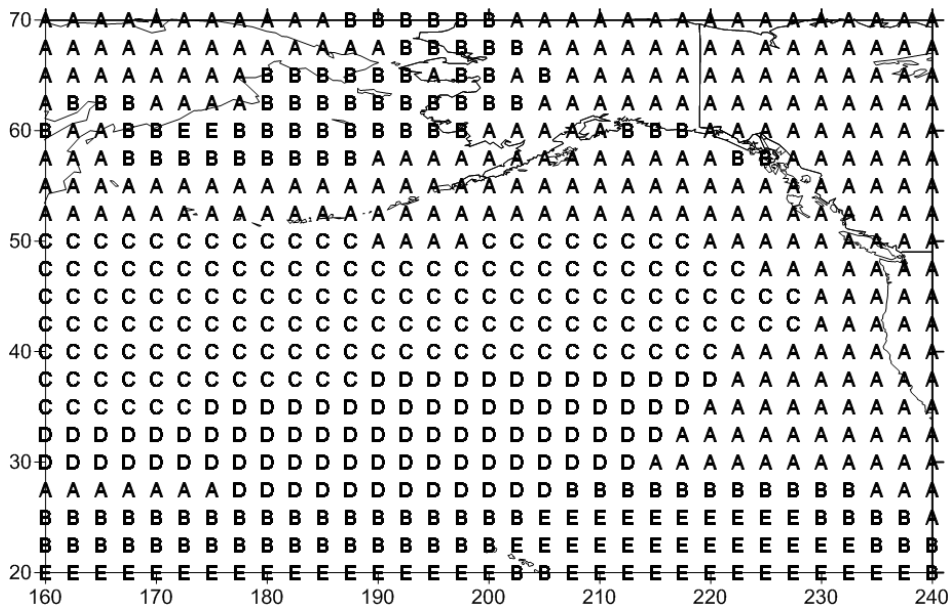


Рис. 10 – Карта распределения кластеров зональной составляющей скорости ветра в северной части Тихого океана (декабрь), 1957 – 2002 гг.

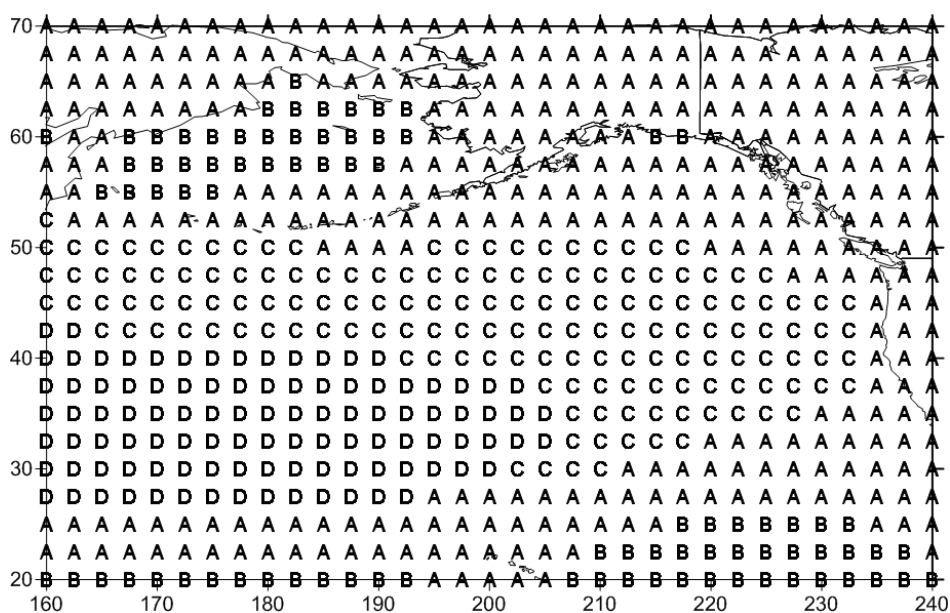


Рис. 11 – Карта распределения кластеров зональной составляющей скорости ветра в северной части Тихого океана (январь), 1958 – 2003 гг.

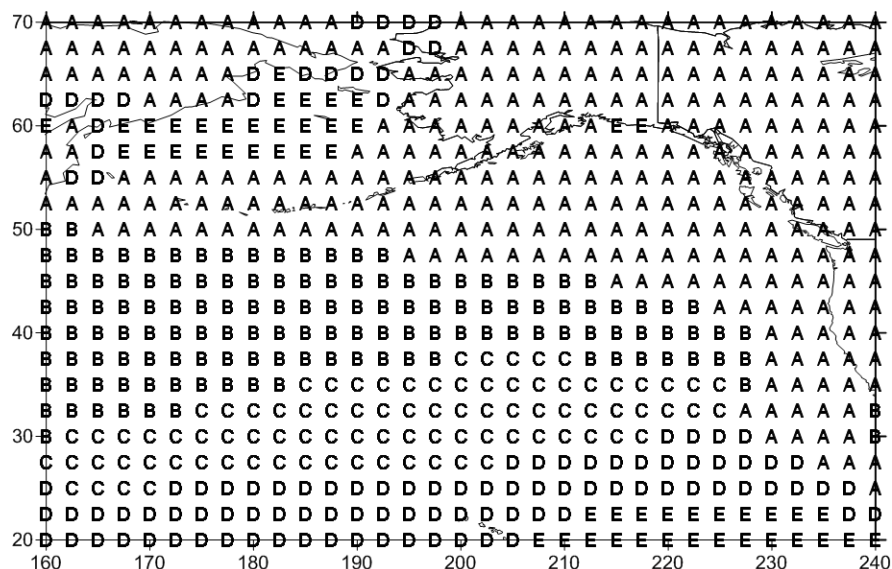


Рис. 12 – Карта распределения кластеров зональной составляющей скорости ветра в северной части Тихого океана (февраль), 1958 – 2003 гг.

Таблица 3 – Межгодовые дисперсии и средние значения репрезентативных векторов зональной составляющей скорости ветра в полученных кластерах северной части Тихого океана (ноябрь-февраль), 1957 – 2003 гг., (м/с)

№№ п/п	Обозначение кластеров	Межгодовые внутрикластерные дисперсии				Средние значения			
		ноябрь	декабрь	январь	февраль	ноябрь	декабрь	январь	февраль
1	A	0.75	0.4	0.2	0.7	1.33	0.4	-0.4	0.1
2	B	2.16	0.5	0.8	2.8	4.65	-2.7	-3.9	4.3
3	C	0.47	3.1	4.0	8.6	0.20	4.4	2.7	3.0
4	D	0.41	5.2	4.6	2.8	-2.88	2.6	5.1	-2.1
5	E	0.55	1.4	-	0.9	-5.96	-5.2	-	-4.4

Эта система, находящаяся в области влияния Северо-Тихоокеанского течения, не обладает однородностью в распределении ветра: северная её часть с гораздо большими средними значениями репрезентативных векторов подчеркивает обострение интенсивности Аляскинского циклонического, а южная - ослабление субтропического антициклонического кругооборота в холодный период года. В северной, южной и восточной частях, постоянно преобладающими являются западные ветры, с максимальными значениями на севере Берингова моря и восточнее Гавайских островов (рис. 9 – Д, Е, рис. 10 – В, Е, рис. 11 – В, рис. 12 – Е).

4. ВЫВОДЫ

Все приведенные особенности структуры распределения кластеров рассмотренных параметров атмосферы и океана в северной части Тихого океана имеют хорошее физическое обоснование, подтвержденное рассчитанными значениями статистических характеристик. Объективность полученных результатов в совокупности с преимуществами используемого алгоритма (отсутствие предварительных условий, автоматическое определение оптимального количества кластеров, согласованность критериев определения независимости) подтверждают возможность применения УИМКД при проведении исследований с использованием гидрометеорологических данных.

Полученные однородные регионы в среднемесячных полях разностей температур поверхности - воздух, потоков скрытого тепла, зональной составляющей скорости ветра, хорошо согласуются с климатическими картами месячных и среднемесячных гидрометеорологических характеристик, построенными на основе данных непосредственных экспедиционных гидрометеорологических измерений, таких как карты распределения суммарной солнечной радиации, радиационного баланса, затрат тепла на испарение, температуры воздуха у поверхности океана, температура воды на поверхности и т.д. [11]. Эта согласованность носит общий характер, подтверждающий основные черты и их сохранение в распределениях указанных гидрометеорологических характеристик в продолжении на период до 2003 года соответствующих месяцев холодного периода. Результаты проведенного исследования позволят облегчить работу по выявлению районов интенсивного взаимодействия параметров атмосферы и океана в северной части

Тихого океана, а также их роль в формировании особенностей климатических режимов Восточноевропейского сектора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Stocker T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P.M. Midgley (Eds). *IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1535.
2. Лаппо С.С. Крупномасштабное тепловое взаимодействие в системе океан-атмосфера и энергоактивные области Мирового океана /С.С. Лаппо, С.К. Гулев, А.Е. Рождественский. - Л.: Гидрометеоздат, 1990. - 335 с.
3. Кулаичев А.П. Методы и средства комплексного анализа данных /А.П. Кулаичев. - М.: ИНФРА-М, 2006. - 276 с.
4. Лагутин М.Б. Наглядная математическая статистика /М.Б. Лагутин. - М.: П-центр, 2003. - 347 с.
5. Школьный Є.П. Обробка та аналіз гідрометеорологічної інформації: Підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] /Є.П. Школьний, І.Д. Лоева, Л.Д. Гончарова.- К.: Міносвіти України, 1999.- 578 с.
6. Jain A., Murty M., Flynn P. Data clustering: A review. *ACM Computing Surveys*, 1999, vol. 31, no. 3, pp. 264–323.
7. Lance G.N., Willams W.T. A general theory of classification sorting strategies. 1. Hierarchical systems. *Comp. J.*, 1967, no. 9, pp. 373–380.
8. Мандель И.Д. Кластерный анализ /И.Д. Мандель. - М.: Финансы и Статистика, 1988. - 339 с.
9. Серга Э.Н. Универсальный итерационный метод кластеризации данных /Э.Н. Серга //Український гідрометеорологічний журнал. -2013. -№12. - С. 112-123.
10. Служба данных ECMWF ERA-40 [Электронный ресурс].- Режим доступа к журналу.: <http://www.ecmwf.int/products/data>.
11. Атлас океанов. Тихий океан /Под ред. С.Г. Горшкова. - Л: Изд. ГУНИО, 1974.

REFERENCES

1. Stocker T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P.M. Midgley (Eds). *IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1535.
2. Lappo S.S., Gulev S.K., Rozhdestvenskiy A.E. *Krupnomasshtabnoe teplovoe vzaimodeystvie v sisteme okean-atmosfera i energoaktivnye oblasti Mirovogo okeana* [Large-scale heat interaction in the ocean-atmosphere system and energy active areas of the World Ocean]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1990. 335 p.
3. Kulachev A.P. *Metody i sredstva kompleksnogo analiza dannyh* [Methods and means for complex data analysis]. Moscow: INFRA-M, 2006. 276 p.
4. Lagutin M. B. *Naglyadnaya matematicheskaya statistika* [Transparent mathematical statistics]. Moscow: P-centr, 2003. 347 p.

5. Shkolnyi E.P., Loeva I.D., Goncharova L.D. *Obrobka ta analiz hidrometeorologichnoi informatsii* [Processing and analysis of the hydrometeorological data]. Kiiiv, 1999. 578 p.
6. Jain A., Murty M., Flynn P. Data clustering: A review. *ACM Computing Surveys*, 1999, vol. 31, no. 3, pp. 264–323.
7. Lance G.N., Willams W.T. A general theory of classification sorting strategies. 1. Hierarchical systems. *Comp. J.*, 1967, no. 9, pp. 373–380.
8. Mandel' I.D. *Klasternyi analiz* [Cluster analysis]. Moscow: Finansy i Statistika, 1988. 339 p.
9. Serga E.N. Universal'nyi iteratsionnyi metod klasterizatsii danykh [The universal iterative method of clusterization data]. *Ukr. gidrometeorol. ž. – Ukrainian hydrometeorological journal*, 2013, no. 13. pp. 112-123.
10. *Sluzhba danykh ECMWF ERA-40*. [Data Service ESMWF ERA-40]. Available at: <http://www.ecmwf.int/products/data>.
11. Gorshkov S.G. (Ed.) *Atlas okeanov. Tikhyy okean* [Atlas of the Oceans. Pacific Ocean]. Leningrad: GANIO Publ., 1974.

PECULIARITIES OF HOMOGENEOUS AREAS DISTRIBUTION WITHIN THE FIELDS OF HYDROMETEOROLOGICAL CHARACTERISTICS IN THE NORTHERN PACIFIC DURING THE COLD SEASON

E.N. Serga, cand. geogr. sciences, associate professor

Odessa State Environmental University, 15, Lvivska St., 65016 Odessa, Ukraine, Serga_ed@ukr.net

In order to investigate horizontal distribution of hydro-meteorological characteristics, statistical analysis techniques, including multidimensional statistical analysis techniques (for example, factor, cluster analysis etc.) are usually applied. These techniques allow obtaining not only fields of particular characteristic by means of plotting appropriate isolines, but determining entire homogeneous areas with typical representative point which helps to compress information considerably and to reveal boundaries of distribution of certain characteristic within the entire spatial aggregation.

Schemes of zoning of fields of difference for monthly average temperatures “underlying surface-air” at 2 m height, of surface flows of latent heat, of zonal aspects of wind speed in the Northern Pacific obtained by means of the Universal Iterative Method of Data Clusterization are offered. The obtained clusterization schemes underwent both physical and statistical analyses having good scientific justification. It is shown that distribution of zonal aspect of wind speed has latitudinal direction, and distribution of flows of latent heat and temperature differences has mainly a focal nature. Analysis of variability of boundaries of homogeneous areas, average values of representative vectors, dispersions, mean-square deviations during future time intervals will allow identifying the specific features of climate variability through the example of the fields of hydrometeorological characteristics under study.

Keywords: representative vector, temperature difference, heat flow, cluster, criterion, intra-cluster dispersion.

ОСОБЛИВОСТІ РОЗПОДІЛУ ОДНОРІДНИХ ЗОН В ПОЛЯХ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПІВНІЧНОТИХООКЕАНСЬКОГО РЕГІОНУ В ХОЛОДНИЙ ПЕРІОД РОКУ

Е.М. Серга, к. геогр. н., доцент

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

Пропонуються схеми районування полів різниці середньомісячних температур підстильна поверхня - повітря на висоті 2 м, поверхневих потоків прихованого тепла, зональної складової швидкості вітру в північній частині Тихого океану, виконаного за допомогою Універсального ітераційного методу кластеризації даних. Наведено фізичний і статистичний аналіз отриманих схем кластеризації, що має гарне наукове обґрунтування. Показано, що аналогічно розподілу у Північній Атлантиці, розподіл зональної складової швидкості вітру має широтний напрямок, а потоків прихованого тепла і різниці температур нагадує осередковий характер з збереженням загальної структури протягом холодного періоду.

Ключові слова: репрезентативний вектор, різниця температур, потік тепла, кластер, критерій, внутрішньокластерна дисперсія.

Дата першого подання: 25.03.2016

Дата надходження остаточної версії: 06.06.2016

Дата публікації статті: 04.07.2016

УДК 551.553.6, PACS number(s): 92.60.Ry

СОВРЕМЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕТРА В МАРОККО

М.О. Слиже, асп.

А.Б. Семергей-Чумаченко, доц.

Эль Хадри Юссеф, маг.

*Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, youzik@mail.ru*

В статье описаны особенности современного режима ветра в Марокко. Проанализированы результаты наблюдений за скоростью и направлением ветра на 26 станциях страны за период 2005-2014 гг. Определен характер распределения среднемесячных значений скорости ветра по территории, а также ее сезонные изменения. В исследуемом периоде выявлен рост скорости ветра на всех станциях в теплое полугодие, при этом в северных и центральных районах Марокко отмечается преобладание слабого ветра. Формирование ветрового режима происходит в большинстве регионов страны под влиянием горного рельефа, а на береговых станциях – в условиях развитой бризовой циркуляции.

Ключевые слова: скорость ветра, направление ветра, повторяемость.

1. ВВЕДЕНИЕ

Информация о ветре широко используется во многих отраслях народного хозяйства. С ветром также связаны некоторые опасные и стихийные гидрометеорологические явления. В данной статье представлена информация о современном пространственно-временном распределении характеристик ветра на территории Марокко. Это даст возможность более качественно решать задачи прогноза опасных явлений и предотвратит возможные убытки, вызванные ими. В условиях современного изменения климата многие ранее принятые модели погодных условий для данной местности требуют пересмотра. Исследование ветровых характеристик позволит определить изменения в циркуляционных процессах, происходящих в данном регионе.

2. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Из результатов исследований особенностей циркуляции атмосферы и ветровых характеристик на территории Марокко известно, что режим ветра здесь формируется местными ветрами, наблюдающимися на побережье и в центральных горных районах [1, 3, 4, 6-9]. Как пишет Э.А. Бурман [3]: «Повторяемость горно-долинных ветров в долинах Атласских гор зимой, весной и осенью составляет 20-40 %. В летние месяцы количество дней с периодической циркуляцией увеличивается; повторяемость горно-долинных ветров на южных склонах гор и в долинах составляет 30-60 %». На территории Марокко наблюдаются фёны. А. Филлипсон [8] называет «сирокко»: «горный ветер фёнового

происхождения, сухой и теплый. Этот ветер может быть классическим фёном, возникающим при переваливании через горы, а также фёном из свободной атмосферы». П. Биро и Ж. Дреш [2] отмечают: «При северо-западных и западных ветрах, северные склоны получают большое количество осадков, а на южных склонах, которые оказываются подветренными, дуют сухие фёноподобные ветры, называемые «джебили». При южных потоках воздушные массы пустынного происхождения переваливают через горы и фёновые ветры здесь наблюдаются почти до самого побережья».

Фён в Марокко называется «шерги», при его образовании, например, в Мекнесе и Касба-Таула, температура воздуха скачкообразно возрастает до 48° С.

Ветровой режим южной части страны, где преобладает равнинный рельеф, находится под влиянием планетарной циркуляции атмосферы, а именно северо-восточного пассата [5-7].

Много работ посвящено изменению климата Марокко. Наиболее информативными являются работы, в которых, наряду с современными данными, приводятся результаты климатического моделирования с помощью региональных климатических моделей [14-16].

3. ФИЗИКО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ МАРОККО

Марокко расположено на северо-западе Африканского континента и занимает площадь 446 550 км² (рис. 1). На севере его омывают воды Средиземного моря и на западе – Атланти-

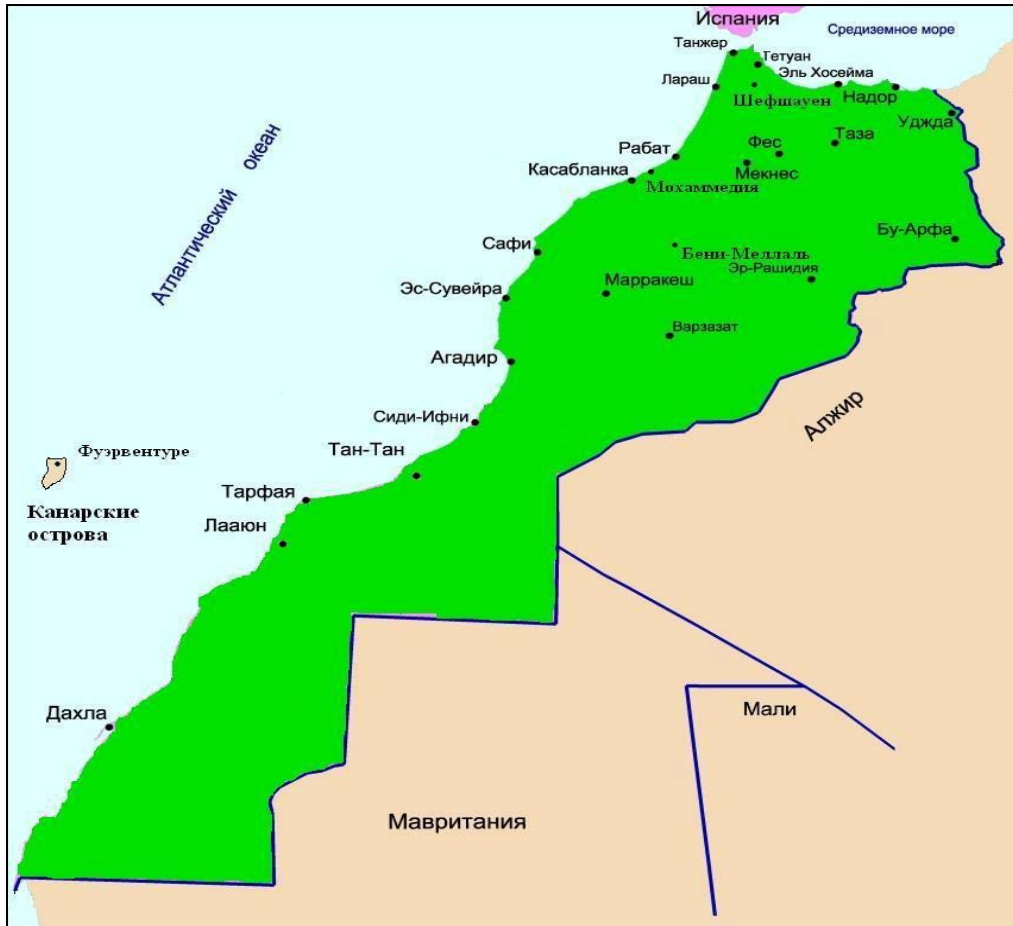


Рис. 1 – Карта-схема расположения метеостанций Марокко

ческого океана, длина береговой линии составляет 1835 км. Марокко отделяется от Европы Гибралтарским проливом. Восточные границы проходят внутри континента.

Территорию страны можно разделить на четыре физико-географических региона: Эр-Риф (горный район), расположен параллельно средиземноморскому побережью, его высота не превышает 1500 м; Атласские горы пролегают с юго-запада на северо-восток и разделены на три основных хребта: Антиатлас (2360 м), Высокий Атлас, вершины которого превышают 3700 м, и Средний Атлас, северная часть которого представляет собой плато, расположенное на высоте около 1800 м; регион прибрежных равнин, лежащих на атлантическом побережье; долины, расположенные к югу от Атласских гор, переходящие в пустыню.

Самая высокая точка страны – гора Тубкаль (4165 м) находится в хребте Высокий Атлас, а самая низкая – Себха-Тах (55 м ниже уровня моря). Главные реки страны: Мулуя, впадает в Средиземное море, и Себу – в Атлантический океан, береговая линия которого покрыта, в основном, песчаными пляжами, разделенными

выходом скалистых пород. Берег в районе Рифа обрывистый, с узкой полосой пляжей.

Климат Марокко изменяется с севера на юг. Северные и приатлантические районы находятся в зоне средиземноморского климата с осадками, выпадающими с октября по апрель, и с жарким сухим летом с мая по сентябрь. В этот период Марокко находится в зоне действия Азорского антициклона. Зимой массы прохладного атлантического воздуха могут проникать глубоко на восток и в северных районах страны выпадают проливные дожди. С ноября по март, на высотах более 1500 м, нередко наблюдается выпадение снега.

Среднегодовое количество осадков возрастает с юго-востока на северо-запад. В сезон дождей на севере Марокко выпадает осадков, в среднем, от 50 до 100 мм в месяц. В Сахаре среднегодовая сумма осадков не превышает 200 мм. Но иногда осадки могут вообще не выпасть в течение года. Районы с наибольшим увлажнением – Риф, Средний Атлас и вершины Высокого Атласа (в некоторые годы количество осадков превышает 1000 мм). Среднегодовые суммы осадков на приатлантических равнинах

колеблются от 533 мм в Рабате до 254 мм в Марракеше.

Показатели температуры воздуха тоже сильно варьируют с удалением от средиземноморского и атлантического побережий. Самый жаркий климат наблюдается в Марракеше, где с мая по сентябрь дневная температура находится в пределах 38–40° С. Летом в горах на уровне 1500 м максимальные температуры не превышают 32° С. Зимой абсолютный максимум температур в Касабланке составляет 36° С, а абсолютный минимум – 3° С. С вторжением теплого морского воздуха зимой связаны частые туманы на побережье [11].

По Б.П. Алисову [1] для средиземноморского климата под летним сезоном года подразумевается период с июня по август, под зимним – с декабря по февраль.

4. РЕЖИМ ВЕТРА В МАРОККО

4.1 Исходные данные и методы анализа

По данным наблюдений на 26 метеостанциях Марокко (рис. 1) за период 2005-2014 гг. [12, 13] с помощью статистического метода были рассчитаны среднемесячные значения скорости ветра для января, апреля, июля и октября.

4.2 Среднемесячная скорость ветра

Максимальные значения среднемесячной скорости ветра в течение года наблюдаются на ст. Дахла и составляют: 6,4 м·с⁻¹ в январе, 7,7 м·с⁻¹ в апреле, 9,8 м·с⁻¹ в июле и 6,8 м·с⁻¹ в октябре. Минимальные значения зафиксированы

в январе – 1,3 м·с⁻¹ на ст. Бени-Меллаль, в апреле – 1,7 м·с⁻¹ на станциях Таза и Бени-Меллаль, в июле и октябре – 1,6 м·с⁻¹ и 0,9 м·с⁻¹ на ст. Таза.

На всех станциях страны наблюдается рост скорости ветра с мая по август. Это хорошо согласуется с данными повторяемости штилей, максимум которых приходится на октябрь и январь. В этот период на территории Марокко преобладает малоградиентное поле повышенного давления. Наибольшее количество штилей наблюдается на станциях Таза (62,2 % в октябре), Мохаммедия (34,3 % в январе), Ифран (45,1 % в октябре), Уарзаат (31,5 % в январе) и Бу-Арфа (48,8 % в январе).

Распределение среднемесячной скорости ветра по территории Марокко для января, апреля, июля и октября, представлено на рис. 2. В центральных и северных районах страны, где расположены горные массивы, преобладают слабые ветры. В южной части и на атлантическом побережье, где рельеф имеет равнинный характер, наблюдается рост значений скоростей ветра. Также из рис. 2 видно, что в результате сезонных колебаний среднемесячной скорости ветра площадь территории, занимаемой слабым ветром, в апреле и июле уменьшается.

Анализ значений среднемесячной скорости ветра позволяет выделить две группы станций, которые различаются по типу годового хода скорости ветра. К первой группе (рис. 3) относятся станции, на которых значения среднемесячной скорости ветра выше в период с мая по сентябрь, по сравнению с периодом с ноября по февраль. Такое распределение среднемесячной

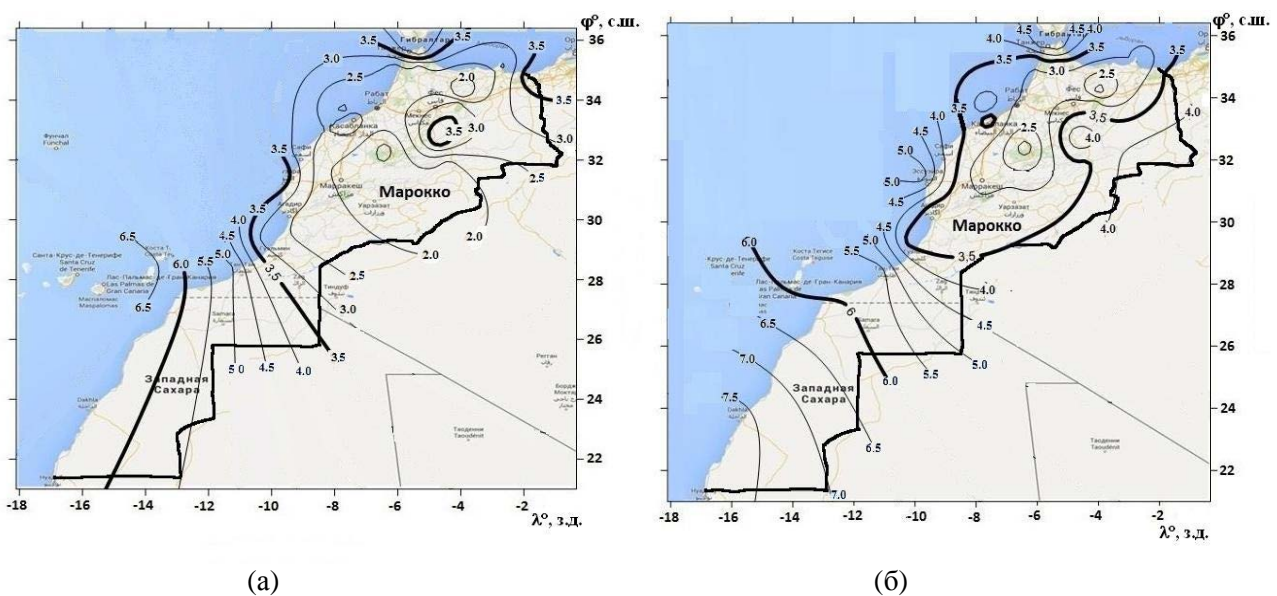
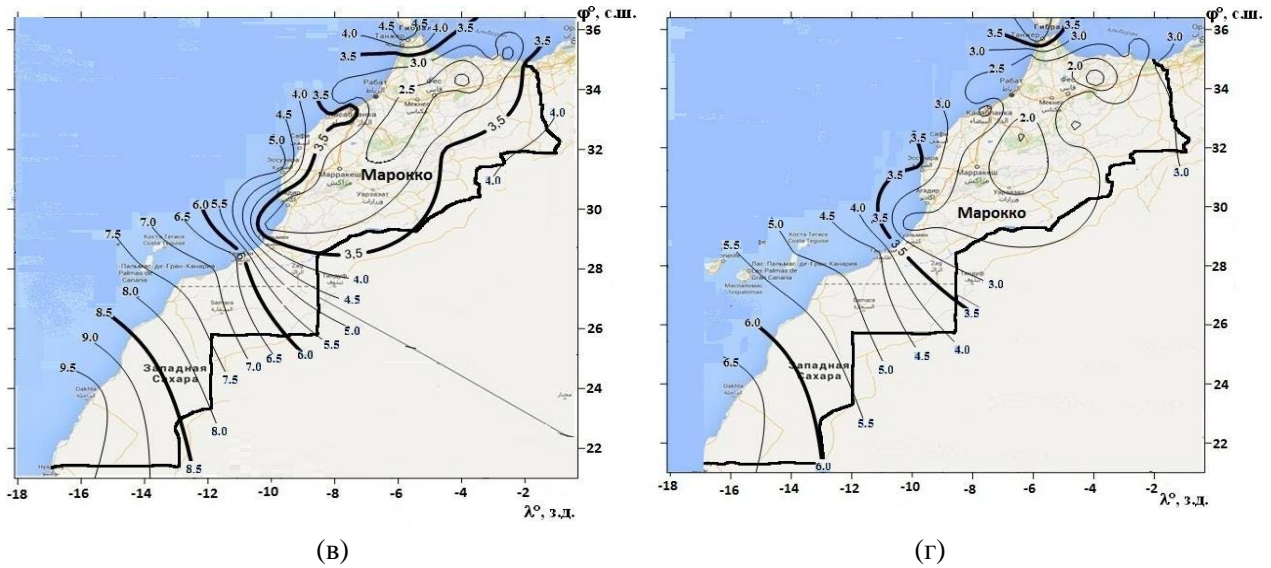


Рис. 2 – Среднемесячная скорость ветра в январе (а), апреле (б) за период 2005-2014 гг., м·с⁻¹



Продолжение рис. 2 – Среднемесячная скорость ветра в июле (в), октябре (г) за период 2005-2014 гг., м·с⁻¹

скорости ветра можно объяснить сезонным изменением поля давления. Летом Марокко располагается в переходной зоне между Азорским антициклоном, который охватывает практически всю северную половину Атлантического океана и достигает максимума своей интенсивности, и областью низкого давления над северной частью

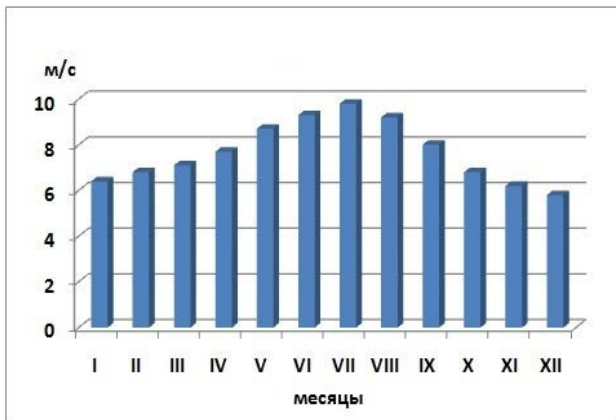


Рис. 3 – Среднемесячная скорость ветра на ст. Дахла за период 2005-2014 гг., м·с⁻¹

Африканского континента, которая представляет собой обширную ложбину азиатской депрессии [5]. Это влечет за собой рост барического градиента, а вместе с ним и скорости ветра. Зимой территория Северной Африки находится в малоградиентном поле повышенного давления, вследствие чего происходит снижение скорости ветра и рост количества штилей [6]. Станции, относящиеся к этой группе, расположены на побережье Атлантического океана, в центральных горных районах и на юге Марокко.

Ко второй группе относятся станции, распо-

ложенные преимущественно в северной части Марокко, с максимумом среднемесячной скорости ветра в марте и минимумом в октябре (рис. 4).

Таким образом, особенностью ветрового режима Марокко является наличие более высоких значений скорости ветра в приморских и более низких – в горных районах, а также формирова-

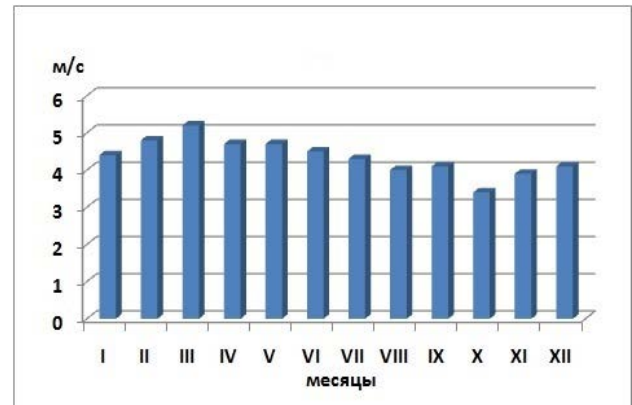


Рис. 4 – Среднемесячная скорость ветра на ст. Тетуан за период 2005-2014 гг., м·с⁻¹

ние двух типов годового хода среднемесячной скорости ветра в зависимости от физико-географических условий.

4.3 Анализ направления ветра

На станциях, расположенных на средиземноморском побережье (Тетуан, Эль-Хосейма, Надор), преобладают направления ветра квазиперпендикулярные к береговой линии и отмечается

смена преобладающего направления от января к июлю. В июле преобладают ветры, дующие с моря на берег, в январе – с суши на море.

На станции Тетуан (рис. 5) на распределение направлений ветра влияет рельеф местности.

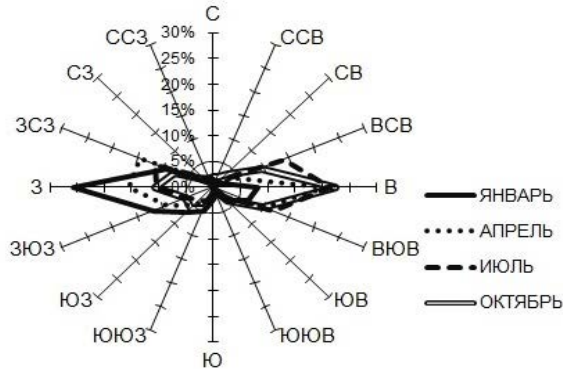


Рис. 5 – Повторяемость (%) направлений ветра на ст. Тетуан за период 2005-2014 гг.

Станция расположена в долине, ориентированной с запада на восток, соответственно наблюдаются ветры западного и восточного направлений (повторяемость восточного направления ветра с апреля по октябрь составляет 20,6-22,4 %, западного в январе – 25,8 %); ветры северного и южного направлений практически отсутствуют.

На ст. Эль-Хосейма в январе преобладают ветры южного направления (16,7 %), в апреле – северо-северо-восточного (12,3 %), в июле и октябре – северного (15,0-15,8 %).

На ст. Надор в апреле, июле, октябре преобладают ветры восточно-северо-восточного направления (15,9 %, 21,8 %, 15,8 % соответственно), в январе – западного (12,5 %).

На станциях, расположенных непосредственно в горах Риф (Шефшауен, Уджда), распределение преобладающего направления ветра совпадает с ориентацией горных хребтов и ложбин, расположенных вокруг станций. На этих станциях наблюдается смена преобладающего направления ветра от января к июлю, направления квазиперпендикулярные к осям горных ложбин практически отсутствуют. На ст. Шефшауен (рис. 6) преобладают ветры северного, северо-восточного, южного, юго-юго-западного направлений, повторяемость которых изменяется от сезона к сезону: в январе и апреле преобладает ветер южного направления (14,9 %), в июле – северного (21,6 %), в октябре – северо-северо-восточного и юго-юго-западного (9,0 % и 9,7 % соответственно). На ст. Уджда наблюдаются ветры только северного и юго-западного направ-

лений. В январе преобладает юго-западный ветер (18,6 %), в апреле, июле, октябре – северный (23,9 %, 42,5 %, 21,5 % соответственно).

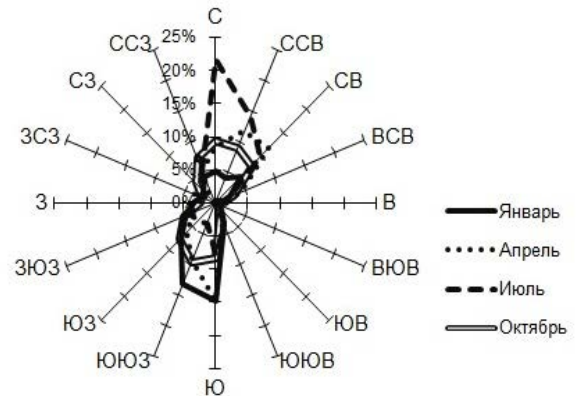


Рис. 6 – Повторяемость (%) направлений ветра на ст. Шефшауен за период 2005-2014 гг.

Станции Мекнес (рис. 7) и Фес имеют близкие значения повторяемости направлений ветра. Так в июле преобладают ветры северо-западного направления – 20,2 % (ст. Мекнес), 17,5 % (ст. Фес). В январе на ст. Мекнес (рис. 7) наблюдаются ветры юго-западного (11,1 %), южного (10,6 %), юго-восточного (8,9 %) направлений; на ст. Фес – южного (10,4-11,0 %), западного (10,7 %) и юго-западного (9,0 %) направлений. В апреле и октябре на ст. Мекнес преобладают ветры северо-западного (12,3-14,3 %), юго-восточного (6,2-8,6 %), а на ст. Фес – южного (8,5-10,1 %), северо-западного (9,3-9,7 %) и северо-восточного (6,5-6,7 %) направлений.

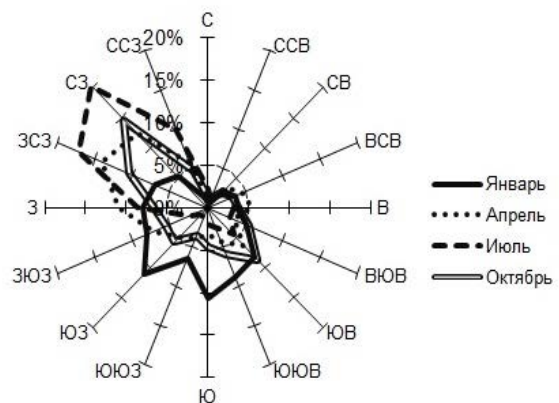


Рис. 7 – Повторяемость (%) направлений ветра на ст. Мекнес за период 2005-2014 гг.

На станциях, расположенных в Атласских горах, распределение повторяемости направлений ветра имеет сложный характер. Это можно объяснить рельефом местности. В качестве примера

на рис. 8 представлена повторяемость направлений ветра на ст. Марракеш. Как видно из рис. 8, повторяемость направлений ветра мало меняется в течение года.

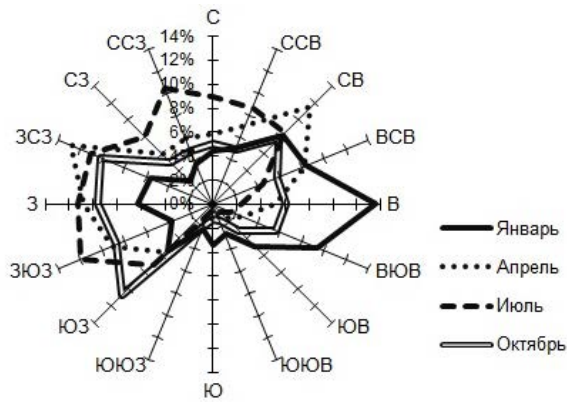


Рис. 8 – Повторяемость (%) направлений ветра на ст. Марракеш за период 2005-2014 гг.

На станциях Рабат, Танжер, Лараче, расположенных в северной части побережья Атлантического океана, распределение повторяемости направлений ветра происходит под влиянием рельефа и ориентации береговой линии.

На ст. Рабат (рис. 9) в июле преобладающими являются северо-северо-западное и западно-северо-западное, а в январе – юго-восточное и южное направления ветра. В апреле и октябре повторяемость данных направлений сохраняется (юго-восточное – 8,2-9,4 %, северо-северо-западное – 7,6-6,6 %). В январе происходит рост повторяемости юго-восточного направления (13,0 %) и уменьшение северо-северо-западного (3,8 %). В июле наблюдается обратная картина –

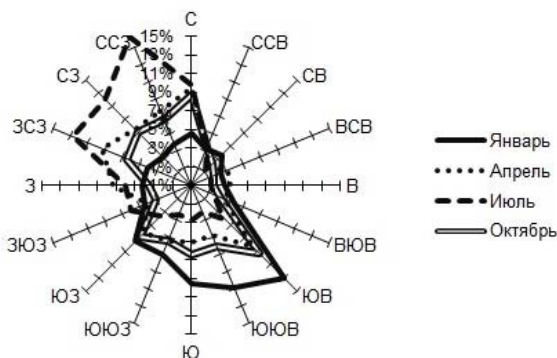


Рис. 9 – Повторяемость (%) направлений ветра на ст. Рабат за период 2005-2014 гг.

рост северо-северо-западного направления (16,2 %) и уменьшение юго-восточного (4,0 %).

На ст. Танжер преобладающими являются восточное и западно-северо-западное направления ветра с незначительным изменением повторяемо-

сти в течение года. Повторяемость восточного направления ветра составляет в январе 18,1 %, в апреле – 19,7 %, в июле – 14,0 %, в октябре – 24,0 %. Повторяемость западно-северо-западного направления ниже, чем восточного (7,1 %, 10,6 %, 13,5 %, 6,9 % соответственно). На ст. Лараче происходит увеличение повторяемости западно-северо-западного направления и уменьшение юго-восточного в апреле, июле и октябре. Так, повторяемость западно-северо-западного направления в январе составляет 11,1 %, в апреле – 17,0 %, в июле – 25,8 %, в октябре – 15,2 %; юго-восточного направления в январе составляет 12,8 %, в апреле – 5,6 %, в июле – 3,9 %, в октябре – 7,0 %.

На станциях, расположенных в центральной и южной частях Атлантического побережья Марокко, в июле наблюдается преобладание ветра северного и северо-восточного направлений и составляет: на ст. Мохаммедия (рис. 10) – 17,1 %, Нуассер – 28,6 %, Сафи – 22,5 %, Эс-Сувейра – 44,8 %, Сиди-Ифни – 20,9 %, Тан-Тан – 37,8 %, Дахла – 51,3 %, Фуэрвентуре – 25,3 % (ст. Фуэрвентуре расположена на территории Канарских островов). Исключение составляет станция Агадир, на которой ветер северного направления практически отсутствует, а максимальная повторяемость в апреле, июле, октябре приходится на западное направление ветра и составляет 21,0 %, 21,3 %, 15,4 % соответственно.

В январе на этой станции преобладает восточно-северо-восточное направление ветра (17,4 %). Это можно объяснить рельефом в районе станции, расположенной под южным

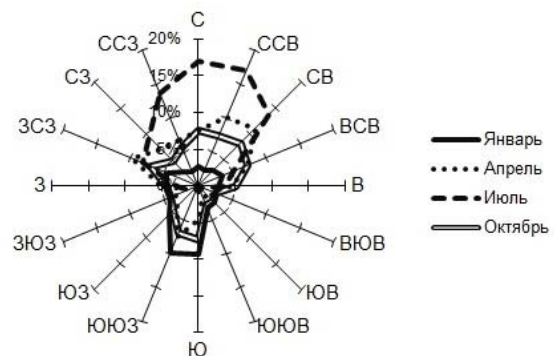


Рис. 10 – Повторяемость (%) направлений ветра на ст. Мохаммедия за период 2005-2014 гг.

склоном горного хребта, протянувшегося с запада на восток с максимальной высотой в данном районе 993 м. В январе на станциях Мохаммедия (рис. 10) и Нуассер преобладает ветер южного, юго-юго-западного направлений (9,9 % и 10,0 % соответственно), на ст. Сафи – западного (6,9 %). В апреле и октябре на данных станциях, как и в июле, господствуют ветры северного и северо-

восточного направлений, повторяемость которых колеблется в пределах 10-15 %. На станциях Эс-Сувейра, Сиди-Ифни, Тан-Тан, Дахла, Фуэрветнуре круглый год наблюдаются ветры северного, северо-восточного направлений, повторяемость которых достигает своего максимума в июле (30-50 %) и минимума в январе (15-25 %).

5. ВЫВОДЫ

Характер годового хода среднемесячной скорости ветра на станциях Марокко позволяет разделить их на две группы. К первой группе относятся станции, на которых значения среднемесячной скорости ветра выше в период с мая по сентябрь, по сравнению с периодом с ноября по февраль. Ко второй относятся станции, на которых среднемесячная скорость ветра выше весной, чем осенью.

Формирование направлений ветра на станциях происходит, в основном, под влиянием рельефа местности. На многих станциях наблюдается поворот преобладающего направления ветра в январе на 180° от значения в июле. На станциях, расположенных на открытых равнинах южной части Атлантического побережья, в течение года наблюдается ветер, направление которого соответствует направлению пассатных ветров северного полушария.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность профессору кафедры метеорологии и климатологии ОГЭКУ, д.геогр.н. Семенову И.Г. за помощь в написании статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алисов Б.П. Климатология / Б.П. Алисов, Б.В. Полтараус. М.: Изд-во МГУ, 1974. – 300 с.
2. Биро П. Средиземноморье. Т. I-II. / П. Биро, Ж. Дреш. -М.: ИЛ, 1962. – 464 с.
3. Бурман Э.А. Местные ветры / Э.А. Бурман. - Л.: Гидрометеоздат, 1969. –343 с.
4. Атлас гидрометеорологических данных. Африка / Гл. штаб ВВС, ГГО им. А.И. Воейкова. Т. 2. - СПб.: Б., 1993. – 350 с.
5. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология / В.И. Воробьев. - Л.: Гидрометеоздат, 1991. – 616 с.
6. Дроздов О.А. Климатология / О.А. Дроздов, В.А. Васильев, Н.В. Кобышева, А.Н. Раевский, Л.К. Сmealова, Е.П. Школьный. - Л.: Гидрометеоздат, 1989. – 568 с.
7. Махжуб Мохамед Фадель. Перспективы использования возобновляемых источников энергии и выбор конструк-

- ции генератора для работы в условиях Западной Сахары: автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.09.03 / Махжуб Мохамед Фадель. - СПб., 2000. – 24 с.
8. Филлипсон А. Средиземноморье / А. Филлипсон. - М., 1911. – 430 с.
 9. Климатические характеристики земного шара: Азия (без СССР), Африка, Австралия, Океания, Юж. Америка / Под ред. д.геогр.н. А.Н. Лебедева. – Л.: Гидрометеоздат, 1977. – 319 с.
 10. Ель Хадри Юссеф. Характеристика сучасного режиму вітру над Марокко / Ель Хадри Юссеф // атеріали XIV Наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ. – Одеса, 2015. – С. 168-169.
 11. Гаврилов Н.И. Марокко / Н.И. Гаврилов. - М.: Географгиз, 1998. – 187 с.
 12. Архив погоды в Марокко [Электронный ресурс] : URL: <http://trp5.ua/>
 13. Архив погоды в Марокко [Электронный ресурс] : URL: <http://www7.ncdc.noaa.gov/CDO/cdo>
 14. Born K., Fink A.H., Knippertz P. *Meteorological processes influencing the weather and climate of Morocco. Impacts of Global Change on the Hydrological Cycle in West and North-west Africa*. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2010, pp. 150-163.
 15. EASAC. *Extreme Weather Events in Europe: preparing for climate change adaptation: Report*. 2013, p. 137. Available at: <http://www.easac.eu>
 16. Huebener H., Kerschgens M. Downscaling of current and future rainfall climatologies for southern Morocco. Part I: Downscaling method and current climatology. *Int. Jour. Climatol*, 2007, #27, pp. 1763–1774.

REFERENCES

1. Alisov B.P., Poltaraus B.V. *Klimatologiya* [Climatology]. Moscow: MSU, 1974. 300 p.
2. Biro P., Dresh ZH. *Sredizemnomor'e. T. I-II* [Mediterranean. Vol. I-II]. Moscow: IL, 1962. 464 p.
3. Burman E.A. *Mestnyie vetry* [Local winds]. St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 1969. 343 p.
4. *Atlas gidrometeorologicheskikh dannykh. Afrika. Gl. shtab VVS, GGO im. A.I. Voeikova. T. II* [Atlas of hydro-meteorological data. Africa. Ch. Air Headquarters, A.I. Voeikov MGO. Vol. 2]. St. Petersburg.: B., 1993. 350 p.
5. Vorob'ev V.I. *Sinopticheskaya meteorologiya* [Synoptic meteorology]. St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 1991. 616 p.
6. Drozdov O.A., Vasil'ev V.A., Kobysheva N.V., Raevskiy A.N., Smekalova L.K., Shkol'nyy E.P. *Klimatologiya* [Climatology]. St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 1989. 568 p.
7. Mahzhub Mohamed Fadel. *Perspektivy ispol'zovaniya vozobnovlyaemykh istochnikov energii i vybor konstruktsii generatora dlya raboty v usloviyakh Zapadnoy Sakhary: avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoy stepeni kand. tekhn. nauk: 05.09.03* [Prospects for the use of renewable energy sources and the choice of the design of the generator to operate in Western Sahara: thesis abstract on scientific degree Cand. Tech. Sc.: 05.09.03]. St. Petersburg, 2000. 24 p.

8. Fillipson A. *Sredizemnomor'e* [Mediterranean]. Moscow, 1911. 430 p.
9. Lebedev A.N. (Ed.) *Klimaticheskie kharakteristiki zemnogo shara: Aziya (bez SSSR), Afrika, Avstraliya, Okeaniya, YUzh. Amerika* [The climatic characteristics of the world: Asia (excluding the USSR), Africa, Australia, Oceania, South America]. St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 1977. 319 p.
10. El Khadri Yusef. Kharakterystyka suchasnoho rezhymu vitru nad Marokko [Characteristics of the current regime of wind in Morocco]. *Materialy XIV Naukovoї konferentsiyi molodykh vchenykh ODEKU* [Materials of XIV scientific conference of young scientists OSENU]. Odessa, 2015, pp. 168-169.
11. Gavrilov N.I. *Marokko* [Morocco]. Moscow: Geografiz, 1998. 187 p.
12. *Arkhiv_pogody_v_Marokko*. Available at: <http://rp5.ua/>
13. *Arhiv_pogody_v_Marokko*. Available at: <http://www7.ncdc.noaa.gov/CDO/cdo>
14. Born K., Fink A.H., Knippertz P. *Meteorological processes influencing the weather and climate of Morocco. Impacts of Global Change on the Hydrological Cycle in West and Northwest Africa*. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2010, pp. 150-163.
15. EASAC. *Extreme Weather Events in Europe: preparing for climate change adaptation: Report*. 2013, p. 137. Available at: <http://www.easac.eu>
16. Huebener H., Kerschgens M. Downscaling of current and future rainfall climatologies for southern Morocco. Part I: Downscaling method and current climatology. *Int. Jour. Climatol*, 2007, #27, pp. 1763–1774.

CURRENT DISTRIBUTION OF WIND IN MOROCCO

Slizhe M.O., PhD st.,
Semergei-Chumachenko A.B., as. prof.,
El Hadri Youssef, undergrad.

*Odessa State Environmental University,
15, Lvivska St., 65016 Odessa, Ukraine, youzik@mail.ru*

Information about wind is widely used in many sectors of the economy. Wind also causes many dangerous and extreme weather events. Modern climate changes require a certain revision of weather patterns previously accepted for the area. This article provides information on the current space and time distribution of wind characteristics within the territory of Morocco. During the period of 2005-2014 some monthly average wind speed values and data on repeatability of wind directions by gradations were obtained on the basis of physical and statistical analysis of results of observations of wind speed and directions performed at 26 stations .

The authors defined the character of distribution of monthly averages of wind speed within the territory and its seasonal changes. Most of the territory is covered by mountains of Morocco which encourages development of local winds. At central and northern regions of Morocco predominance of weak winds due to complex orography of terrain is observed. In the central part of Morocco there is a region with the lowest values of wind speed. Formation of the wind regime at the coastal stations takes place in a developed breeze circulation. Wind speed and direction are significantly different at the nearby stations, such as Larache and Chefchaouen, Meknes and Fez.

Increase of wind during the warmer half of a year was revealed at all stations. Nature of annual variation of average wind speed at the stations allows us to split the stations into two groups. The first group includes the stations where the average wind speed increases in summer and decreases in winter. The second group includes the stations where the average wind speed increases in spring and decreases in autumn. In the southern part and along the coast, where the terrain is flat, an increase of wind speed is observed. On open plains of the southern part of Atlantic coast during all seasons wind has a direction corresponding to direction of trade winds of the Northern hemisphere. It should be noted that the main factor forming air circulation within the territory of Morocco is represented by trade winds the intensity of which nearly doubles from summer to winter.

Formation of wind directions at the stations takes place mainly under the influence of terrain of the area. At many stations predominant wind direction in January changes by 180° in comparison to the respective July values. Therefore, characteristics of the wind regime of Morocco in 2005-2014

consist in increase of wind speed in the coastal zone and decrease thereof in mountain areas together with presence of two types of annual variation of wind speed depending on physical and geographical conditions.

Keywords: wind speed and direction, wind regime of Morocco, seasonal changes of wind characteristics, space and time distribution of wind in Morocco.

СУЧАСНИЙ РОЗПОДІЛ ВІТРУ В МАРОККО

**Сліже М.О., асп.,
Семергей-Чумаченко А.Б., доц.,
Ель Хадрі Юссеф, маг.**

*Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, youzik@mail.ru*

У статті описані особливості сучасного режиму вітру в Марокко. Проаналізовано результати спостережень за швидкістю і напрямком вітру на 26 станціях країни за період з 2005 по 2014 рр. Визначено характер розподілу середньомісячних значень швидкості вітру по території, а також її сезонні зміни. У досліджуваному періоді виявлено зростання швидкості вітру на всіх станціях в тепле півріччя, при цьому в північних і центральних районах Марокко відзначається переважання слабого вітру. Формування вітрового режиму відбувається в більшості регіонів країни під впливом гірського рельєфу, а на берегових станціях - в умовах розвиненої бризової циркуляції.

Ключові слова: режим вітру в Марокко, швидкість вітру, напрямок вітру.

Дата першого подання: 30.12.2015

Дата надходження остаточної версії : 08.06.2016

Дата публікації статті : 04.07.2016

УДК 551.534.7

ХАРАКТЕРИСТИКА РАДІАЦІЙНО-ТЕПЛОВИХ РЕСУРСІВ В УКРАЇНІ НА ПЕРІОД ДО 2050 Р. В УМОВАХ ЗМІНИ КЛІМАТУ

Польовий А.М., д.геогр.н.,
Божко Л.Ю., к.геогр.н.

Одеський державний екологічний університет
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, apolevoy@tenet.ru

Розглядаються показники радіаційно-теплогового режиму по природно-кліматичних зонах України за період 1986 – 2005 рр. в порівнянні з очікуваними їх змінами, розрахованими за двома сценаріями RCP4,5 та RCP8,5 на період 2015 – 2050 рр. Відзначається, що до 2050 р. буде спостерігатись підвищення надходження сонячної радіації за обома сценаріями порівняно з середніми багаторічними значеннями. А це в свою чергу спричинить підвищення температурного режиму в усіх агрокліматичних зонах України.

Ключові слова: сонячна радіація, фотосинтетично активна радіація, фотосинтетичний потенціал, температура, сума температур.

1. ВСТУП

Кліматичний режим кожного регіону формується як синтез особливостей температури, вологості, опадів, вітру, які базуються на закономірностях розподілу радіаційного, теплового та водного балансів і впливу атмосферної циркуляції. Різноманітність і величезна кількість кліматотвірних факторів зумовлює стан клімату з дуже ускладненим спектром коливань, в яких детермінований характер мають гармоніки річного та добового ходу. Наприкінці минулого і початку поточного століття науковцями відзначаються значні зміни кліматичних умов на всій Земній кулі через потепління [1-4].

За своїм географічним положенням, структурою народного господарства, станом довкілля Україна є однією з країн, для яких соціально-економічні наслідки зміни клімату можуть бути незворотними. Під впливом зміни клімату змінюються агрокліматичні умови вирощування сільськогосподарських культур, а це потребує прийняття своєчасних та адекватних рішень для адаптації сільського господарства до майбутніх змін.

2. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Дослідженнями особливостей різних процесів в атмосфері, за яких відбувається зміна волого-температурного режиму підстильної поверхні, займається широке коло дослідників, серед яких слід відзначити роботи Ю.А. Израеля, В.Ф. Логінова, А.М. Тарко, В.М. Волощука, С.М. Степаненка, А.М. Польового та ін. Було встановлено, що особливо велику роль в зміні клімату під час потепління

відіграє зміна великомасштабної атмосферної циркуляції через те, що вона охоплює всі складові погодних умов. Світовими вченими визнано той факт, що зміна клімату наприкінці минулого та в поточному столітті активізувалась [1-4,9]. Це спричинило часові зрушення розвитку природних процесів, істотне підвищення температури повітря, збільшення частоти екстремальних природних явищ тощо.

Кліматичні зміни на майбутнє розраховуються з використанням кліматичних моделей. Глобальні кліматичні моделі є основними інструментами, які використовуються для проектування тривалості та інтенсивності змін клімату в майбутньому. Ці моделі розраховують майбутні кліматичні режими на основі низки сценаріїв зміни антропогенних факторів. Для нових кліматичних розрахунків використовується набір сценаріїв, а саме Репрезентативні траєкторії концентрацій (Representative Concentration Pathways – RCP). Репрезентативні траєкторії концентрацій – сценарії, які включають часові ряди викидів і концентрацій всього набору парникових газів, аерозолів і хімічно активних газів [1,2].

Сценарії RCP визначаються приблизною сумарною величиною радіаційного впливу до 2100 року порівняно з 1750 р.: 2,6 Вт·м⁻² для RCP2.6; 4,5 Вт·м⁻² для RCP4.5; 6,0 Вт·м⁻² для RCP6.0 і 8,5 Вт·м⁻² для RCP8.5. Ці чотири RCP містять один сценарій зменшення викидів, який передбачає низький рівень впливу (RCP2.6); два сценарії стабілізації (RCP4.5 і RCP6.0) і сценарій з дуже високими рівнями викидів парникових газів (RCP8.5) [1, 2].

Серед основних факторів життєдіяльності

найважливішою є сонячна радіація як первинне джерело енергії всіх біологічних та фізичних процесів, які відбуваються в рослинних організмах. При цьому важливим є як інтенсивність і тривалість опромінювання рослин сонячним світлом, так і спектральний склад радіації, який визначає фотоморфогенетичний, фотосинтетичний та тепловий ефект впливу на рослини [5-8].

Режим сонячної радіації та радіаційні властивості посівів є найважливішим фактором сільськогосподарського виробництва. Рослинний покрив перетворює сонячну радіацію на інші види – хімічну енергію, теплову, а також обмінюється власним довгохвильовим випромінюванням з атмосферою та ґрунтом і є важливим фактором формування термічного режиму посівів та інших елементів фітотемператури.

Фотосинтетична діяльність рослин залежить від багатьох факторів. За даними Тоомінга Х.Г роль сонячної радіації в житті рослин багатостороння і визначається вона не тільки закономірностями зміни елементів фотосинтетичної діяльності рослин в залежності один від одного, але і під впливом змін агротехнічних заходів, густоти рослин, норм і термінів зрошення та норм і термінів живлення [5-8].

Фотосинтетична діяльність рослин у посівах характеризується величинами: площею листя, фотосинтетичним потенціалом, чистою продуктивністю фотосинтезу, коефіцієнтом господарської ефективності та коефіцієнтом енергетичної ефективності формування урожаю.

За біологічною дією на рослини діапазон короткохвильової радіації поділяється на ультрафіолетову, *фотосинтетично* активну (ФАР) та ближню інфрачервону (БІЧР). Для фізіологічних процесів, які визначають життєдіяльність рослин, найбільше значення має короткохвильова радіація з довжиною хвиль меншою за 4,0 мкм.

Вплив радіації на рослини визначається у трьох напрямках: 1) *тепловий ефект* сонячної радіації. Із поглиненої рослинами сонячної енергії близько 70 % перетворюється на тепло і використовується для транспірації, для підтримки температури рослин та ін; 2) *фотосинтетичний ефект* сонячної радіації. Із поглиненої в інтервалі спектра 0,38-0,71 мкм радіації (область ФАР) до 28 % використовується в процесі фотосинтезу для створення органічних речовин; 3) *фотоморфогенетичний* (регулюючий) *ефект* сонячної радіації в процесі росту і розвитку рослин.

Активна частина радіації, яка впливає на ці процеси, починається з ультрафіолетової частини, охоплює діапазон ФАР і закінчується на межі близько 0,76 мкм, тобто в початковому діапазоні близької інфрачервоної радіації (БІЧР).

Ці ефекти впливу сонячної радіації поряд з іншими факторами докільля значною мірою визначають закономірності розвитку рослинного покриву. Ось чому дані щодо радіаційного режиму як на верхній межі посіву, так і в середині його, є основою для чинних методів агрометеорологічних розрахунків і прогнозів.

У процесі фотосинтезу використовується частина короткохвильової радіації в інтервалі $\lambda = 0,38...0,71$ мкм, яка називається *фотосинтетично активною радіацією* (ФАР). Процес трансформації поглиненої рослиною енергії світла в хімічну енергію органічних (і неорганічних) сполук називається *фотосинтезом*.

Це складний цикл біохімічних і біофізичних процесів, в ході яких рослини, поглинаючи сонячну енергію у формі ФАР, створюють за допомогою зеленого пігменту – хлорофілу із вуглекислого газу (CO_2) та води (H_2O) високоенергетичні вуглеводи (крохмаль, цукор, глюкозу, клітковину та ін.), вивільнюючи при цьому кисень (O_2). Первинні продукти фотосинтезу в результаті асиміляції перетворюються на органічні речовини (асиміляти), які використовуються рослиною впродовж росту і розвитку для створення вегетативної та генеративної маси.

ФАР - найважливіший фактор продуктивності рослин. Інтенсивність ФАР вимірюється інструментально або розраховується за даними про надходження прямої, розсіяної чи сумарної радіації [5, 6].

Важливим показником, який визначає поглинання і пропускання ФАР, є *листовий індекс* – відношення сумарної площі листової поверхні посіву до площі поля. Поглинання ФАР збільшується зі збільшенням площі листя. За даними А.А. Ничипоровича найбільше поглинання ФАР спостерігається при значенні листового індексу 4 та площі листя 40000 м²/га. Характеристикою продуктивності фотосинтезу є *чиста продуктивність фотосинтезу (ЧПФ)*, тобто кількість органічної речовини, що формується на 1 м² за добу. Її величина залежить від густоти посівів. В загущених посівах вона зменшується, зазвичай вона становить для більшості культур 4 – 6 г/м² органічної речовини за добу [3,5].

Загалом вплив сумарної радіації на урожай

визначається за особливостями динаміки характеристик урожайності та ознак сумарної радіації [5,6].

3. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Коли розглядаються зміни клімату, то як критерії таких змін найчастіше використовуються тренди глобальних температур і опадів [1-4].

Одним із методів відображення можливих змін у кліматичному режимі будь-яких метеорологічних величин є порівняння цих величин із середніми багаторічними даними.

Аналіз впливу змін клімату на режим показників сонячної радіації та температурного режиму проведено шляхом порівняння середніх багаторічних величин (за період 1986 – 2005 рр.) і величин, розрахованих за кліматичними сценаріями RCP4,5 та RCP8,5 на період з 2015 до 2050 рр.

Для характеристики середніх багаторічних значень радіаційних і теплових ресурсів за період 1986 -2005 рр. (базовий період) по агрокліматичних зонах України та їх зміни за 2015 – 2050 рр. були виконали розрахунки середніх багаторічних величин першої групи факторів навколишнього середовища: тривалості світлої пори доби, сумарної сонячної радіації за добу, інтенсивності фотосинтетично активної радіації (ФАР), суми ФАР, радіаційного балансу рослинного покриву, температурного режиму.

4. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

Аналіз розрахунків показує, що динаміка надходження сонячної радіації як за даними середніх багаторічних значень, так і за розрахунками за двома сценаріями RCP4,5 та RCP8,5 досить ідентична для всіх природно – кліматичних зон, і відрізняється кількісними показниками за період з температурою повітря вищою за 5 °С. Як видно із табл. 1, надходження сумарної радіації по території України збільшується з півночі на південь з 315,6 Вт/(м²·д) до 341.6 Вт/(м²·д). Розглянемо, як же змінюються показники радіаційного режиму по природно - кліматичних зонах України.

За середніми багаторічними даними в Українському Поліссі впродовж періоду з температурою повітря вищою за 5 °С надходження сумарної радіації в базовий період в середньому за декаду становило 315,6 Вт/(м²·д). Очікувані значення сумарної радіації за сценаріями RCP4,5 та RCP8,5 будуть вищими, ніж в базовий період відповідно на 28,1 та 48.7 Вт/(м²·д) і становити-

муть 343,7 та 363,4 Вт/(м²·д) (табл. 1). На початку періоду з температурами повітря вищими за 5 °С надходження сонячної радіації в базовий період співпадає зі значеннями, розрахованими за сценаріями RCP4,5 та RCP8,5. Наприкінці періоду (за дві-три декади до другої декади вересня) надходження сонячної радіації за сценаріями буде відрізнятися як від середнього багаторічного, так і між сценаріями.

В Лісостеповій зоні України середнє значення сонячної радіації в базовий період становило 328.4 Вт/(м²·д). Розрахунки на майбутнє свідчать, що за обома сценаріями відбудеться збільшення надходження сонячної радіації до 362 Вт/(м²·д), що вище ніж середня багаторічна величина на 33 Вт/(м²·д).

Аналіз динаміки *інтенсивності фотосинтетично активної радіації* (ФАР) показав, що в Поліссі і Лісостеповій зоні інтенсивність ФАР за середніми багаторічними даними була майже однаковою, становила 0,163 кал/(см²·хв). Розраховані її значення за сценаріями RCP4,5 та RCP8,5 становили відповідно: в Поліссі 0,222 та 0.283 кал/(см²·хв), в Лісостепу – 0.228 та 0,296 кал/(см²·хв). Слід зазначити, що за сценарієм RCP8,5 очікуватиметься більш значне підвищення надходження сонячної радіації, ніж за сценарієм RCP4,5.

Середні багаторічні значення сум ФАР за період з температурою повітря вищою за 5 °С в Поліссі і Лісостеповій зоні майже однакові і становлять 17,43 кал/см² за період.

Розрахунки, виконані за сценаріями свідчать, що очікуватимуться теж майже однакові величини ФАР в цих зонах, але вони будуть значно вищими ніж середні багаторічні і становитимуть відповідно 25,40 та 25,44 кал/см² за період. Величини радіаційного балансу рослинного покриву за базовий період в Поліссі становили 87.15 кал/(см²·д). Розрахунки на період до 2050 року дозволяють зробити висновок, що очікуватиметься збільшення величин радіаційного балансу за сценарієм RCP4,5 на 43,3 кал/(см²·д), за сценарієм RCP8,5 - на 58,8 кал/(см²·д) і вони становитимуть відповідно 130,4 та 145,9 кал/(см²·д).

В Лісостеповій зоні середні багаторічні значення радіаційного балансу рослинного покриву значно вищі ніж у Поліссі і становили 126,015 кал/(см²·д).

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика показників сонячної радіації за період з температурою повітря вищою за 5 °С по природно – кліматичних зонах

Показники сонячної радіації	Природно – кліматичні зони			
	Полісся	Лісостеп	Північний Степ	Південний Степ
Середня за період сумарна сонячна радіація за декаду, Вт/(м ² ·д), 1986 – 2005 рр.	315.6	328.4	334.25	341.6
Сценарій RCP4,5 до 2050 р.	343.7	362.7	397.4	462.2
Різниця	28.1	34.3	63.2	150.6
Сценарій RCP8,5 до 2050 р.	363.4	361.3	404.7	469.9
Різниця	47.8	33.9	70.4	158.3
Інтенсивність ФАР, кал/(см ² ·хв), 1986 – 2005 рр.	0.163	0,163	0.171	0.208
Сценарій RCP 4,5 до 2050 р.	0.222	0.228	0.243	0.272.
Різниця	0.06	0.07	0.07	0.06
Сценарій RCP 8,5 до 2050 р.	0.283	0.296	0.305	0.356
Різниця	0.12	0.13	0.13	0.15
Сума ФАР наростаючим підсумком 1986-2005 рр., кал/см ² за період	17.43	17.46	17,69	17,86
Сценарій RCP4,5 до 2050 р.	25.08	25.12	27.51	38.23
Різниця	7.35	8.06	7.02	11.03
Сценарій RCP8,5 до 2050 р.	25.40	25.44	27.50	38.34
Різниця	7.97	7.98	9.81	21.14
Радіаційний баланс рослинного покриву, кал/(см ² ·д), 1986-2005 рр.	87.15	126.0	116.08	119.7
Сценарій RCP4,5 до 2050 р.	130.4	149.2	183.4	208.6
Різниця	43.3	23.2	67.3	88.9
Сценарій RCP 8,5 до 2050 р.	145.9	138.8	172.8	199.2
Різниця	58.8	12.8	56.7	79.5

За сценарними розрахунками очікується підвищення величин радіаційного балансу рослинного покриву до 149,215 кал/(см²·д) за сценарієм RCP4,5 та до 138,80 кал/(см²·д) за сценарієм RCP8,5.

В Північному Степу надходження сумарної сонячної радіації в середньому за базовий період становило 334,25 Вт/(м²·д). За сценаріями до 2050 року очікується збільшення надходження сонячної радіації. Причому за сценарієм RCP8,5 зростання буде більш відчутним і перевищуватиме середню величину базового періоду на 70,4 Вт/(м²·д).

Розраховані за сценаріями показники сонячної радіації за період з температурами повітря вищими за 5 °С у Північному Степу були майже однаковими впродовж всього періоду вегетації і коливались від 310 Вт/(м²·д) на початку періоду до 435 Вт/(м²·д) в 11-ту декаду вегетації, коли досягали максимальних значень. Слід відзначити, що в період з початку червня до першої декади серпня надходження сумарної радіації за сценаріями співпадатиме із середніми значеннями за базовий період.

В Північному Степу інтенсивність ФАР впродовж періоду з температурами повітря вищими

за 5 °С відзначається більш різкими коливаннями в базовий період, особливо в травні, червні та липні місяцях. Розраховані величини інтенсивності ФАР за сценаріями RCP4,5 та RCP8,5 відзначатимуться меншими коливаннями та будуть мати майже однакові значення 0,32 кал/(см²·хв).

Сумарне надходження ФАР в Північному Степу в середньому сягає 17,69 кал/см² за період. За обома сценаріями змін клімату до 2050 року очікуватиметься збільшення ФАР до 27,0 кал/см² за період.

В зоні Південного Степу відзначаються деякі відмінності в динаміці надходження сумарної сонячної радіації за середніми багаторічними значеннями від інших районів. До 11-ої декади вегетації надходження сумарної радіації було значно нижчим, ніж розраховане за сценаріями.

Після 11-ої декади до кінця періоду розраховані за сценаріями величини сумарної радіації будуть співпадати з середніми за базовий період. В цілому сумарна радіація за розрахунками за сценаріями буде очікуватись відповідно 462 та 469 Вт/(м²·д).

В Південному Степу динаміка інтенсивності ФАР впродовж періоду з температурами повітря

вищими за 5 °С показує, що в цій зоні в базовий період значення її поступово зростали від 0,08 кал/(см²·хв) на початку періоду до 0,27 кал/(см²·хв) в десяту декаду, тобто до початку червня. Далі впродовж 7 декад коливання не спостерігались, а з сімнадцятої декади до кінця періоду почалось поступове зменшення інтенсивності ФАР.

Сумарне надходження ФАР в Південному Степу в базовий період сягало 17,86 кал/см² за період. В період до 2050 року за обома сценаріями очікуються суми ФАР 38,2 кал/см² за період.

Характеристики динаміки радіаційного балансу рослинного покриву впродовж періоду з температурою повітря вищою за 5 °С в базовий період в Поліссі і Лісостеповій зоні ідентичні, відзначаються динамікою зменшення його значень з 146 кал/(см²·д) в четвертій до 55 кал/(см²·д) в сьомій декаді. З сьомої декади починається поступове підвищення радіаційного балансу впродовж чотирьох декад, а з одинадцятої декади спостерігається різке зростання до 250 кал/(см²·д) в тринадцяту декаду, тобто в першу декаду липня. З одинадцятої до дванадцятої декади значення радіаційного балансу рослинного покриву перевищують його значення за сценарними даними.

В період до 2050 року буде спостерігатись збільшення радіаційного балансу за сценарієм RCP4,5 до 208 кал/(см²·д) та до 199 кал/(см²·д) за сценарієм RCP8.5.

Підвищення складових радіаційного режиму впродовж всього періоду з температурами повітря вищими за 5 °С до 2050 року спричинить підвищення витрат тепла на випаровування та надходження тепла в ґрунт, що сприятиме зміні температурного режиму повітря.

Методів оцінки термічних умов існує багато: Лівінгстона, Ацці, Г.Т. Селянинова, Ф.Ф. Давітая, М.І. Будико, П.І. Колоскова, С.О. Сапожникової, Д.І. Шашко та ін.[6-8]. В своїх дослідженнях зупинимось на методі біологічних сум температур, запропонованому С.О. Сапожниковою та Д.І. Шашко.

Аналіз змін температурного режиму по території України виконувався за ті ж періоди, що і показники радіаційного режиму.

За основні кліматичні та агрокліматичні характеристики температурного режиму були використані:

- дати стійкого переходу температури повітря через 0, 5, 10, 15 °С навесні та восени;
- тривалість періоду з температурами повітря вищими за 0, 5, 10, 15 °С;

– суми позитивних температур повітря за період з температурами вищими за 0, 5, 10, 15 °С;

– середні температури повітря січня, липня та їхня амплітуда.

Для сільськогосподарського виробництва важливу роль відіграє період з температурами повітря вищими за 5 °С, оскільки більшість зернових культур мають біологічний мінімум розвитку саме 5 °С. Розглянемо, як зміняться терміни настання дат переходу температури повітря через 5 °С навесні і восени, розраховані за сценаріями RCP4,5 та RCP8,5 в порівнянні із середніми багаторічними термінами.

Як видно із табл. 2, навесні середні багаторічні терміни переходу температури повітря через 5 °С в базовий період коливаються в межах від 21 березня в Південному Степу до 6 квітня в Поліссі. Восени - від 29 жовтня у Поліссі та Лісостеповій зоні до 11 листопада у Південному Степу.

Середня багаторічна тривалість періоду з температурами повітря вищими за 5 °С становила відповідно 202, 212, 213, 236 днів. Розрахунки за обома сценаріями показали, що навесні перехід температури повітря через 5 °С наставатиме пізніше в Поліссі на 4 – 7 днів, у Лісостепу – на 12 днів. В Степовій зоні ці терміни співпадатимуть з датами базового періоду. Слід відзначити, що у Південному Степу за сценарієм RCP4,5 терміни переходу наставатимуть пізніше на 13 днів. Восени терміни переходу температури повітря через 5 °С будуть співпадати з середніми багаторічними в усіх регіонах за винятком Полісся, де вони будуть наставати на 4 – 5 днів раніше.

Тривалість періоду з температурами вищими за 5 °С зменшиться в Поліссі до 195 днів, Лісостепу - до 204 днів, в Північному Степу - до 210 днів. В Південному Степу за сценарієм RCP4,5 тривалість періоду зменшиться до 215 днів, за сценарієм RCP 8,5 - залишиться на рівні середнього багаторічного і становитиме 234 дні.

У зв'язку зі зміною тривалості періоду з температурами повітря вищими за 5 °С зміняться і суми температур в разі реалізації обох сценаріїв.

Як видно з табл. 3, в разі реалізації будь-якого сценарію в районі Полісся і Північного Степу суми температур вищими за 5 °С залишаться майже на рівні середніх багаторічних і становитимуть відповідно 2800 та 3010 °С. В районі Лісостепової зони вони будуть нижчими від середніх багаторічних на 230 – 280 °С і становитимуть 2400 – 2500 °С. В Південному Степу середні багаторічні суми становили 3690 °С. За

сценарієм RCP4,5 вони очікуються на рівні середніх багаторічних, за сценарієм RCP8,5 - вищими на 100 °С.

Період з температурами повітря вищими за 10 °С важливий для сільськогосподарського виробництва при вирощуванні більшості теплолюбних культур.

Аналіз таблиці 2 показав, що в середньому багаторічному дати переходу температури повітря через 10 °С навесні наставали в Поліссі на початку третьої декади квітня, в Лісостепу і Північному Степу – 17 - 19 квітня, в Південному Степу – в середині другої декади квітня. Восени ці дати відзначались в Поліссі 1 жовтня, Лісостепу - 3 жовтня, Північному Степу - 7 жовтня, в Південному Степу – 19 жовтня. Тривалість періоду з температурами повітря вищими за 10 °С зростала від 162 днів у Поліссі до 186 днів у Південному Степу. Розрахунки дат настання переходу температури повітря через 10 °С за сценаріями RCP4,5 та RCP8,5 навесні показують, що вони будуть наставати пізніше в

Поліссі - на 8 днів , у Північному Степу – на 4 дні, у Лісостепу за сценарієм RCP4,5 - на 10 днів, за сценарієм RCP8,5 будуть однаковими із середніми багаторічними, у Південному Степу за першим сценарієм вони наставатимуть раніше на 4 дні, за другим сценарієм пізніше на 6 днів. Восени дати переходу температури повітря через 10 °С у Поліссі, Лісостепу та Південному Степу будуть співпадати із середніми багаторічними за обома сценаріями і лише в Північному Степу ці дати будуть незначно відхилятися від середньої багаторічної: за першим сценарієм на 3 дні пізніше, за другим сценарієм – на два дні раніше. Тривалість періоду з температурами повітря вищими за 10 °С в Поліссі буде коротшою, ніж тривалість в базовий період на 10 днів, у Лісостепу - на 7 – 18 днів.

За обома сценаріями у Степовій зоні тривалість періоду буде однаковою або нижчою, ніж в базовий період.

Таблиця 2 - Дати стійкого переходу середньої добової температури повітря через 5, 10 ,15 °С та тривалість періодів з цими температурами

Період	Дати переходу температури повітря через межі						Кількість днів з температурою повітря рівною або вищою за		
	Навесні			Восени					
	5 °С	10 °С	15 °С	15 °С	10 °С	5 °С	5°С	10 °С	15 °С
Полісся									
1986 – 2005 рр.	6.IV	22.IV	21.V	6.IX	1.X	29.X	202	162	107
RCP4,5	10.IY	1.Y	1.YI	30.UIII	30.IX	25.X	197	153	92
RCP8,5	13.IY	1.Y	1.YI	10.IX	30.IX	25.X	194	153	102
Лісостеп									
1986 – 2005 рр.	30.III	19.IV	17.V	9.IX	3.X	27.X	212	168	115
RCP4,5	12.IY	29.IY	31.Y	8.IX	1.X	27.X	204	150	104
RCP8,5	12.IY	21.IY	1.YI	10.IX	1.X	1.XI	204	161	102
Північний Степ									
1986 – 2005 рр.	1.IV	17.IV	15.V	15.IX	7.X	30.X	213	173	123
RCP4,5	3.IY	21.IY	15.Y	19.IX	10.X	29.X	210	172	136
RCP8,5	1.IY	21.IY	12.Y	15.IX	5.X	27.X	210	172	135
Південний Степ									
1986 – 2005 рр.	21.III	15.IY	12.Y	25.IX	19.X	11.XI	236	186	136
RCP4,5	3.IY	11.IY	12.Y	20.IX	20.X	10.XI	215	181	131
RCP8,5	22.III	21.IY	11.Y	28.IX	20.X	10.XI	234	182	134

Суми температур вищих за 10 °С за обома сценаріями в Поліссі та Лісостепу будуть трохи нижчими від сум температур за базовий період і становитимуть 2450-2550 °С та будуть нижчими ніж середні багаторічні майже на 200- 250 °С (табл. 3).

В Північному Степу очікувані суми будуть майже однакові з середніми багаторічними і становитимуть 3040 – 3090 °С. І тільки в Південному Степу очікувані суми температур вищих за 10 °С будуть вищими за обома сценаріями і становитимуть відповідно 3460 – 3410 °С (табл. 3).

Дати переходу температури повітря через 15 °С навесні в базовий період характеризуються

ранішим настанням в напрямку з півночі на південь і спостерігались в Північному Степу - 15 травня, у Поліссі - 21 травня, Лісостепу – 17 травня і Південному Степу - 12 травня.

Восени навпаки, вони наставали пізніше і були відповідно 6 вересня, 9 вересня, 15 вересня та 25 вересня. Тривалість періоду з температурами повітря вищими за 15 °С коливалась від 107 днів в Поліссі до 136 днів в Південному Степу.

Суми температур вищих за 15 °С теж зроста-ли з півночі на південь і становили в Поліссі – 1902 °С, Лісостепу – 2113 °С, Північному Степу – 2372 °С, Південному Степу - 2707 °С.

Таблиця 3 - Характеристики температурного режиму за різними сценаріями

Період	Сума активних температур вищих за					Температура повітря, °С		
	0 °С	5 °С	10 °С	15 °С	-0 °С	січень	липень	амплітуда
Полісся								
1986–2005	3077	2861	2582	1902	-	-3,0	19,4	22,4
RCP4,5	2908	2795	2409	1616		-2.7	19.1	21.8
Різниця	169	66	173	284		-0.3	0.3	0.6
RCP8,5	3007	2873	2563	1772		-4,1	19,1	23,2
Різниця	70	-12	19	130		-1,1	03	-0,8
Лісостеп								
1986–2005	3227	3136	2817	2113		-3,4	20,4	23,7
RCP4,5	2962	2847	2415	1800		-3.2	19.5	22.7
Різниця	265	289	402	313		0,2	0,9	1,0
Rsp 85	3044	2901	2584	1789		-4.2	19.4	23.6
Різниця	183	235	233	324		-0,8	1,0	0,1
Північний Степ								
1986–2005	3409	3356	3010	2372	-	-4,0	22,1	26,1
Rsp 45	3410	3325	3041	2570		-3.0	22.3	25.3
Різниця	-1	31	-31	-198		1	-0,2	0,8
Rsp 85	3510	3380	3090	2571		-4,4	22,5	26,9
Різниця	-101	-24	-80	-199		-0,4	-0,4	-0,8
Південний Степ								
1986–2005	3819	3690	3322	2707	-	-1,9	23,7	25,6
Rsp 45	3900	3683	3464	2732		0.1	23.9	23.8
Різниця	-81	7	-142	-25		1,8	-0,2	1,8
RCP8,5	3999	3798	3413	2894		-0,9	24,2	25,1
Різниця	-180	-108	-91	-187		1	-0,5	0,5

В разі реалізації сценарію RCP4,5 на період до 2050 року очікуються зменшення сум температур за вказаний період у Поліссі до 1616 °С, Лісостепу – до 1800 °С. В Північному Степу за цим сценарієм очікується зростання сум температур до 2570 °С, в Південному Степу суми температур залишаться на рівні середніх багатолітніх.

В разі реалізації сценарію RCP8,5 у Поліссі і Лісостепу суми температур очікуються теж менші, ніж в базовий період, але різниця трохи менші, ніж за першим сценарієм і очікувані суми становитимуть 1772 та 1789 °С відповідно. В Північному Степу очікується така ж сума, як і за першим сценарієм, тобто 2570 °С. В Південному Степу за другим сценарієм сума зросте значно більше, ніж за першим сценарієм і становитиме 2890 °С.

Ще однією із кліматичних характеристик термічного режиму є середні температури найхолоднішого і найтеплішого місяця (січень, липень). Як видно із табл. 3 в базовий період найнижча температура в січні спостерігалась у Північному Степу і становила -4 °С, найвища – у Південному Степу і становила -1,9 °С. В липні найвища температура спостерігалась теж у Південному Степу і становила 23,7-4 °С, найнижча – у Поліссі – 19,4-4 °С.

У відповідності з найвищими та найнижчими температурами повітря змінювалась і величина амплітуди. Так, у Поліссі вона становила 22,4 °С, у Лісостепу – 23,7 °С, у Північному Степу – 26,1 °С, у Південному Степу – 25,6 °С. Розрахунки за обома сценаріями показали, що в період до 2050 р. слід очікувати незначне підвищення середньої температури січня та липня у Поліссі та Лісостепу і в зв'язку з цим невелике зменшення амплітуди температур (табл. 3). У січні в Степовій зоні температура зросте більше як на 1 °С, в липні буде на рівні базового значення або незначно вища. У зв'язку з підвищенням температури в січні амплітуда температур зменшиться на 1 – 1,8 °С.

Внаслідок надходження підвищених сум сонячної радіації в деяких регіонах (Південний Степ) зростуть і суми температур за різні проміжки часу. Але зростання буде незначним і не перевищуватиме 200 °С.

5. ВИСНОВКИ

Таким чином, за даними кліматичної моделі згідно зі сценаріями змін клімату Репрезентативної траєкторії концентрацій

RCP4,5 та RCP8,5 встановлено, що в усіх природно – кліматичних зонах України очікується підвищення показників радіаційного режиму, яке в свою чергу спричинить поступове збільшення температури повітря. Потепління сприятиме підвищенню температури повітря в зимові місяці, що зменшить її амплітуду. Крім того, зростання ресурсів тепла зумовить краще теплозабезпечення сільськогосподарських культур.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України / За ред. С.М. Степаненка та А.М. Польового. - Одеса: «Екологія», 2011. – 694 с.
2. Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України / За ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. – Одеса: Вид. “ТЕС”, 2015. – 520 с.
3. Антропогенные изменения климата // Под ред. М.И. Будыко, Ю.А. Израэля. –Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 405 с.
4. Волощук В.М. Основні закономірності сучасного потепління клімату на території України і його екологічні наслідки / В.М. Волощук // Україна та глобальні процеси: географічний вимір. – Київ – Луцьк. - Т. 3. –С. 202 – 208.
5. Глобальные и региональные изменения климата и их природные и социально-экономические последствия / Под ред. В.М. Котлякова. - М.: «Геос», 2000. – 262 с.
6. Тооминг Х.Г. Солнечная радиация и формирование урожая / Х.Г. Тооминг. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 200 с.
7. Будаговский А.И. Основы количественной теории фотосинтетической деятельности посевов / А.И. Будаговский, Ю.К. Росс. // В кн. Фотосинтезирующие системы высокой продуктивности. –М.: Наука, 1966. –С. 51 – 58.
8. Полевой А.Н. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов / А.Н. Полевой. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. -318 с.
9. Гребенюк Н. Нове про зміну глобального та регіонального клімату в Україні на початку XXI ст. / Н. Гребенюк, Т. Корж, А. Яценко // Водне господарство України. – 2002. - № 5-6. - С. 56-62.

REFERENCES

1. Stepanenko S.M., Polovyi A.M. (Eds). *Otsinka vplyvu klimatychnykh zmin na haluzi ekonomiky Ukrainy* [Evaluation of the impact of climate change on industries of Ukraine]. Odessa: Ekologiya, 2011. 694 p.
2. Stepanenko S.M., Polyovyi A.M. (Eds). *Klimatychni zminy ta yikh vplyv na sfery ekonomiky Ukrainy* [Climate change and its impact on sectors of the economy of Ukraine]. Odessa: “TES”, 2015. 520 p.
3. Budyko M.I., Izrael Yu.A. (Eds). *Antropogennye izmeneniya klimata* [Anthropogenic climate change]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1987. 405 p.
4. Voloshchuk V.M. *Osnovni zakonomirnosti suchasnoho poteplinya klimatu na terytoriyi Ukrainy i yoho ekolohichni naslidky* [Basic patterns of contemporary climate warming on the territory of Ukraine and its environmental

- impacts]. *Ukrayina ta hlobal'ni protsesy: heorafichnyy vymir - Ukraine and global processes: the geographical dimension*. Kyiv – Lutsk, vol. 3, pp. 202 – 208.
5. Kotlyakov V.M. (Eds). *Global'nye i regional'nye izmeneniya klimata i ikh prirodnye i sotsial'no-ekonomicheskie posledstviya* [Global and regional climate change and its environmental and socio-economic impacts]. Moscow: «Geos», 2000. 262 p.
 6. Tooming Kh.G. *Solnechnaya radiatsiya i formirovaniye urozhaya* [Solar radiation and the formation of the crop]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1977. 200 p.
 7. Budagovskiy A.I., Ross Yu.K. *Osnovy kolichestvennoy teorii fotosinteticheskoy deyatel'nosti posevov. V kn. Fotosinteziruyushchie sistemy vysokoy produktivnosti* [Fundamentals of quantitative theory of photosynthetic activity of crops. In: Photosynthetic high productivity system]. Moscow: Nauka, 1966, pp. 51 – 58.
 8. Polevoy A.N. *Prikladnoye modelirovaniye i prognozirovaniye produktivnosti posevov* [Application modeling and forecasting of crop productivity]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1988. 318 p.
 9. Hrebenuk N., Korzh T., Yatsenko A. *Nove pro zminu hlobalnoho ta rehionalnoho klimatu v Ukraini na pochatku XXI st.* [New to replace the global and regional climate in Ukraine at the beginning of XXI c.]. *Vodne hospodarstvo Ukrainy - Water management of Ukraine*, 2002, no. 5-6, pp. 56-62.

ХАРАКТЕРИСТИКА РАДІАЦІОННО – ТЕПЛОВИХ РЕСУРСОВ В УКРАЇНІ НА ПЕРІОД ДО 2050 РОКУ В УМОВАХ ЗМІНИ КЛІМАТУ

Полевой А.Н., д.геогр.н., Божко Л.Е., к.геогр.н.

*Одесский государственный экологический университет
Ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, apolevoy@tenet.ru*

Рассматриваются показатели радиационно- теплового режима по природно – климатическим зонам Украины за период 1986 – 2005 гг. в сравнении с ожидаемыми их изменениями, рассчитанными по двум сценариям изменения климата RCP4,5 и RCP8,5 на период до 2050 года. Отмечается, что в период до 2050 года будет наблюдаться повышение показателей радиационно – теплового режима во всех природно – климатических зонах Украины по расчетам по обоим сценариям. Повышение значений показателей радиационного режима будет наблюдаться в основном во второй половине лета и начале осени. В результате поступления повышенных сумм солнечной радиации в некоторых регионах Украины возрастут и суммы температур за период с температурами воздуха выше 5 °С. Однако ожидаемое увеличение сумм температур не будет превышать 200 °С. Повышение сумм температур будет способствовать лучшей теплообеспеченности сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова: солнечная радиация, фотосинтетически активная радиация, фотосинтетический потенциал, температура, сумма температур.

CHARACTERISTIC OF RADIATION AND THERMAL RESOURCES IN UKRAINE FOR THE PERIOD UP TO 2050 UNDER CONDITIONS OF CLIMATE CHANGE

Pol'ovyy A.M., Dr Sci. (Geogr.), Bozko L.Y., Cand. Sci. (Geogr.)

*Odessa State Environmental University
15, Lvivska St., 65016 Odessa, Ukraine, apolevoy@tenet.ru*

The article considers parameters of heat and radiation regime within natural and climatic zones of Ukraine for the period of 1986 – 2005 in comparison with their expected changes calculated with regard to two scenarios of climate change: RCP4,5 and RCP8,5 for the period up to 2050. It is noted that during the period up to 2050 there will be an increase of parameters of radiation and thermal regime observed within all natural and climatic zones of Ukraine based on the calculations related to both scenarios. Increase of values of parameters of radiation regime will be observed mainly in the second half of summer and in early autumn. Due to increased amounts of solar radiation in some regions of Ukraine amount of temperatures during the period in question will increase as well with air temperatures exceeding 5 °C. However expected increase of amount of temperatures will not exceed 200° C. Increase of amount of temperatures will promote better heat supply for agricultural crops.

Keywords: solar radiation, photosynthetic active radiation, photosynthetic potential, temperature, amount of temperatures.

Дата першого подання: 10.05.2016

Дата надходження остаточної версії: 18.05.2016

Дата публікації статті: 04.07.2016

УДК 504.3:66192

ВПЛИВ ЛІСОВОГО ГОСПОДАРСТВА ПІВДНЯ УКРАЇНИ НА РЕГУЛЮВАННЯ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ В АТМОСФЕРНОМУ ПОВІТРІ

О.О. Дронова, канд. географ. н., доц.

Ю.О. Кузнєцова, асп.

*Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, oleg-second@yandex.ua*

У статті описується Цюрупинське лісо-мисливське господарство, як найпотужніша природна екосистема впливу на регулювання техногенних процесів, а саме зменшення навантаження вуглекислого газу на природне середовище. Визначено роль лісу для сухостепової підзони України. Продемонстровані дані процесу фотосинтезу, який відбувається в хвої шпилькових порід, домінуючих за площами заліснення. Надається аналіз дослідження динаміки поглинання вуглекислого газу за вересень - листопад 2015 року. Описано найсприятливіші періоди протікання процесу поглинання CO_2 та відмічено спад. Доведено, що інтенсивність поглинання вуглекислого газу хвоєю сосни кримської майже в два рази більша за поглинання вуглекислого газу хвоєю сосни звичайної.

Ключові слова: клімат, фотосинтез, вуглекислий газ, сосна кримська, сосна звичайна.

1. ВСТУП

Антропогенне навантаження на природне середовище сьогодні - невід'ємна частина техногенного процесу, який все дедалі набирає максимальних обертів. Безпрецедентна кількість газів неприродного походження викидається в атмосферне повітря.

Прогресуюча динаміка даного процесу приводить до парникового ефекту. Подальша інтенсивність процесу спричиняє глобальне потепління. Найбільш відчутно глобальне потепління відображається на водах Світового океану. За даними Першої робочої групи П'ятого оцінюючого звіту експертів з питань зміни клімату, з 1971 по 2010 рік, температура підвищувалась на $0,11^\circ\text{C}$ кожні 10 років. В звіті 2014 року говориться про зміни клімату і збільшення об'єму парникових газів. Джерелом збільшення вуглекислого газу представлена діяльність людини. 78% утворюється при спалюванні палива. Концентрація парникових газів в атмосферному повітрі нині більша, ніж за минулі 800000 років.

Якщо об'єм викидів парникових газів збережеться на нинішньому рівні або збільшиться, це призведе не тільки до потепління, але й до довготривалих змін клімату Землі. Найбільші збитки від змін клімату відобразяться на суспільствах розвинутих та розвиваючихся країн. З 30 листопада по 11 грудня 2015 року в Парижі відбулась конференція ООН з питань зміни клімату. 150 країн світу зібралися для вирішення питання щодо його збереження [1].

Серед природних регуляторів, здатних знизи-

ти антропогенні наслідки та збалансувати біогенні процеси, найпотужнішим є ліс. Він здатен акумулювати вуглекислий газ (CO_2) і виділяти кисень (O_2). Крім того, в процесі своєї життєдіяльності ліс виконує ряд функцій таких, як захисна, гумусоутворююча, вологоутримуюча, очищаюча, гідрологічна, кліматоутворююча, він впливає на рівень ґрунтових і інфільтраційних вод [2].

Для степової зони роль лісових насаджень надзвичайно важлива. Вони сприяють пом'якшенню посухи, запобігають вітровій ерозії, підтримують баланс вологи та вуглекислого газу.

В сухостеповій підзоні України найбільшим лісовим масивом, який виконує визначну роль у збереженні природного балансу території та утриманні повзучих Олешківських пісків є Цюрупинське лісо-мисливське господарство.

2. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Питання впливу природних екосистем на регулювання процесів, спричинених техногенними факторами, вплинуло на масштабну кількість досліджень. Впливу різних типів рослинності на формування клімату планети присвячено значну кількість наукових праць [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11]. Багато вчених працювали над вивченням флори, як над потужним механізмом впливу на клімат. Архівні дані свідчать про те, що і раніше вчені наголошували на необхідності дослідження процесів життєдіяльності рослинності на клімат.

Ріст сянців хвойних порід за різної освітленості

та концентрації CO₂ досліджував Павлюк В.В., Загірова С. Вони працювали над вуглекисневим балансом хвойних рослин в умовах середньої підзони тайги, використовуючи CO₂ – газометрії. Була дана оцінка співвідношенню фотосинтезу у 80 – 100 – річних дерев соснових [3].

Використовуючи дані професора Лакиди П.І., Василюшин Р.Д., Лакида П.І. досліджували динаміку надземної фітомаси та депонований вуглець дерев сосни кримської на території Криму. Було розроблено алгоритм, математичні моделі та інформативно – інформаційне забезпечення для оцінки кількісних параметрів компонентів надземної фітомаси та депонованого в ній вуглецю для дерев сосни кримської [4].

Дайнега Є.А., Совватеева О.А. в роботі [5] вивчили біоіндикацію хвойних порід та дали оцінку екологічному стану навколишнього середовища території м. Дубни Московської області/

Вивченню впливу забруднення повітря на морфологічні показники сосни звичайної присвячена робота Ковиліної О.П., Зарубіної І.А., Ковиліна А.Н. [6].

У 2003 році американські вчені займалися дослідженням впливу лісових екосистем на процеси зміни клімату. Вони розглянули екологічні фактори впливу, минулі зміни клімату та спроектували майбутні реакції лісу на зміну клімату. Робота формувалась на моделі, основаної на екстраполяційних даних про листя і фізіологію рослинності. Вчені для прогнозування можливих змін у розподіленні лісів, використовуючи кореляцію між кліматичними змінами та класифікацією рослинності, розглядали біогеографічну модель [7].

Ворон В.П., Бологов О.Ю., Романенко О.І. досліджували вплив аеротехногенного забруднення на просторову структуру соснового деревостану. Досліджувалася трансформація чистих середньовікових сорняків борової тераси р. Сіверський Донець в умовах забруднення навколишнього середовища викидами ВАТ «Балцем». В основу праці дослідники поклали порівняльний метод екології. Аналіз деревостану здійснювали за методикою, розробленою в лабораторії екології УкрНДІЛГА. При дослідженнях товщини і складу біогоризонтів використовували методику Мякуша В.К. Зміни структури деревостанів вивчали шляхом аналізу фізіологічних показників стовбура і крони дерев (форма, розмір) на екологічному профілі, на рівні постійних пробних площ та аналізу дерев різних класів Крафта і категорій санітарного стану [8].

Рядом дослідників Міннесотського університету, таких як Райх П., Монтгомер Р., Хоббі С.,

Олексін Я. та Річ Р. розглядалось питання впливу змін клімату на деревину. Вони детально вивчили вплив кліматичних змін на пристосованість, ріст і виживання саженців десяти найпоширеніших дерев у теплих і холодних зонах в північній Міннесоті [9].

Вивченням зміни морфометричних і фізіологічних біохімічних показників сосни звичайної в умовах аеротехногенного забруднення займався Кізеєв А.М.. Для дослідження вмісту хімічних елементів у тканинах сосни звичайної був використаний метод атомно – абсорбційної спектrophотометрії. Для визначення радіотоксичних нуклідів природного і техногенного походження застосовано метод гамма – спектральний і радіохімічний. Було застосовано методику Козлова М.В. для дослідження флуктуючої асиметрії хвої сосни [10].

Ялинська Є.Є. дослідила кількісну характеристику балансу вуглекислого газу і його складові в сосняку чорничному свіжої підзони середньої тайги [11].

Уліганець С.І., працювала над конструктивно – географічним аналізом ландшафтно – рекреаційних систем (на прикладі Закарпатської області) [12]

Юровчик В.Г. досліджував конструктивно – географічну оптимізацію лісів і лісового господарства Волинської області [13].

Нажаль, майже практично не зустрічаються роботи, присвячені дослідженню динаміки фітомаси хвої, екологічного стану та поглинання вуглекислого газу деревостаном півдня України.

«Цюрупинське ЛМГ» в Херсонській області здійснює визначну функцію для степової зони України. Першочергова мета його висадження, до речі найбільшого штучного лісу в Європі, полягала у затриманні повзучих Олешківських пісків, які розповзаючись з великою швидкістю, знищували родючі землі півдня країни. На сьогоднішній день обране господарство для дослідження відіграє протиерозійну функцію, захищає ґрунти від видування, зневоднення, але найголовніший інтерес викликаний кліматологічною властивістю лісу.

Враховуючі техногенні темпи розвитку та отримані наслідки, дослідження динаміки вуглекислого газу у лісових насадженнях Цюрупинського лісо-мисливського господарства в умовах зміни клімату є актуальним. В ході дослідження нами був проаналізований деревостан, досліджений процес поглинання вуглекислого газу, відстежень зміни в показниках, обґрунтуванні їх відмінність.

3. ОПИС ОБ'ЄКТА І МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

На півдні України, в Херсонській області, поблизу м. Цюрупинськ, яке відоме з XI століття як стародавнє місто Олеш`є, висаджений штучний ліс, який складає основу «Цюрупинського лісо – мисливського господарства». Територія лісівництва на 60% заліснена, 8% знаходиться під пісками і 0,4% займають болота. Майже всі дерева мають штучне походження, лише мала частка належить природному (рис. 1).



Рис. 1 – Походження шпилькових деревостанів [12]

Оскільки місцевість є степовою, то засадження має багатофункціональне значення. Але першочергова мета заліснення території полягала в зупиненні повзучих пісків, які все дедалі більше вилучали родючі землі із сільського господарства. Піски сформувались досить недавно, в льодовиковий період. Еолові відкладення закріплювалися степовою рослинністю. Але розвинуте вівчарство XIII – IX ст., призвело до винищення рослинного покриву і повзучі піски під дією вітру почали розповсюджуватись.

Територія Цюрупинського лісо – мисливського господарства засаджена в переважній більшості сосновим деревостаном і займає площу 7095га. Більшість становлять сосна кримська (*Pinus nigra*ssp) і сосна звичайна (*Pinus sylvestris*L) (рис. 2).

Найбільші площі становлять V і IV класи віку (молодняки, досягаючі та стиглі дерева).

Сосна кримська (*Pinus nigra*ssp) займає територію більшу від сосни звичайної (*Pinus sylvestris*L), що обумовлене її морфологічними характеристиками. Дана порода є найдоцільнішою для заліснення піщаної місцевості, оскільки є посухостійкою, вітростійкою, стійкою до шкідників та хвороб, має високу енергію проростання [14].

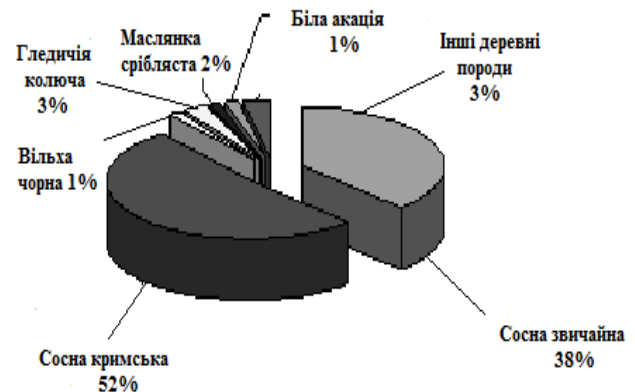


Рис. 2 – Розподіл порід [12]

Аналізуючи дані Цюрупинського лісо – мисливського господарства, саме в переважаючих класах віку сосна кримська (*Pinus nigra*ssp) та сосна звичайна (*Pinus sylvestris*L) досягають найбільшого розвитку надземної частини (рис. 3).

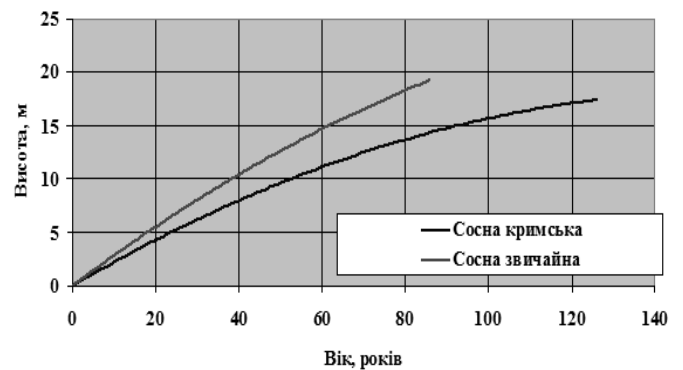


Рис. 3 – Зміна середньої висоти деревостанів [12]

Сосну кримську і сосну звичайну, а саме їх хвою, як асиміляційний орган, обрано об'єктами дослідження на здатність поглинати вуглекислий газ (CO_2), тим самим впливаючи на регулювання вуглекислого балансу. Перевага надана деревам, які займають найбільші площі за класами віку (сосна звичайна – стигла, сосна кримська – досягаюча).

Обрані шпилькові ростуть в Голопристанському районі, поблизу селища Підлісне, 1,2 км від дороги.

В ході дослідження використовувався газометричний метод, в основу якого покладено процес поглинання вуглекислого газу.

Газометричні методи вважаються найточнішими і найдоцільнішими для наземних рослин, це пояснюється великим вмістом кисню (O_2) в атмосферному повітрі.

В основу обраного метода покладено використання буферного розчину Варбурга, який ство-

рює CO₂ безпосередньо над рідиною. Процес дослідження на інтенсивність фотосинтезу відбувається за рахунок приладу Бабушкіна в двох повторюваностях, експозиція триває 1 годину.

Відбір проб розпочато з вересня 2015 року. Вони відбиралися кожну декаду і продовжуються нині. Зразки хвої беруться на висоті 3 м, о⁹⁰⁰ щоразу. Транспортуються у темному целофані до лабораторії протягом 40 хвилин.

Даний газометричний метод полягає у визначенні оптичної густини розчину і відповідно знаходження концентрації. Вимірювання оптичної густини здійснюється за рахунок фотоколориметра при світлофільтрі 520 нм і за участі соляної кислоти (НСІ).

Для точного розрахунку поглинання вуглекислого газу хвоєю розраховано площу хвоїнки обраних видів дерев для дослідження. Обраний метод вважається найточнішим серед існуючих.

З кожного дерева, на висоті 3 м взято по 10 хвоїнок. На аналітичних терезах зважено суху масу 10 хвоїнок сосни звичайної і сосни кримської окремо. Хвоїнки були опущені у вазелінове масло і стікали протягом 2 хвилин. Після чого була зважена маса знову. Знайдена різниця між масою сухою і мокрою. Отриману різницю розділено на коефіцієнт розрахований за участі використання вазелінового масла – 0,0034.

Отриманий показник демонструє загальну площу 10 хвоїнок. Подальші математичні дії дали змогу розрахувати масу однієї хвоїнки.

4. ОПИС І АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

В ході дослідження сосни звичайної (*Pinus sylvestris*L) V класу віку (стигла) і сосни кримської (*Pinus nigrassp*) IV класу віку (достигаюча) на інтенсивність фотосинтезу, отримано щоденні дані та опрацьовано середній результат за кожен місяць осені 2015 р. Проаналізовано досліджуваний процес за квартал. Для подальшого дослідження та для аналізу отриманих даних, проведено розрахунок площі асиміляційного апарату дерева.

Аналізуючи результати дослідження поглинутого вуглекислого газу хвоєю сосною звичайною (*Pinus sylvestris*L) та сосною кримською (*Pinus nigrassp*) обраних класів віку за вересень місяць, спостерігаємо, що процес фотосинтезу шпилькових відрізняється (рис. 4).

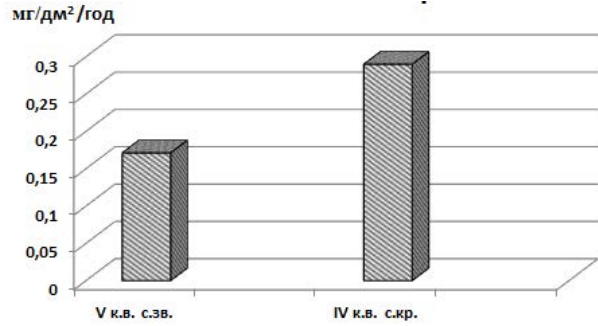


Рис. 4 – Середній показник інтенсивності фотосинтезу соснових за вересень 2015 р.

Сосна кримська майже в два рази випереджає показники. Така тенденція очікувана, оскільки вона має вищі морфометричні показники, ніж сосна звичайна. Розрахунки площі однієї хвоїнки кожної з досліджуваних сосен, продемонстрували, що площа сосни кримської майже в два рази перевищує площу хвоїнки сосни звичайної. Так площа хвоїнки сосни звичайної становить 205,88мм², а сосни кримської - 441,18 мм².

Графічне зображення показника поглинання вуглекислого газу (CO₂) за жовтень 2015 р., демонструє результати аналогічні попередньому місяцю щодо переваги одного виду дерева над іншим. Але інтенсивність фотосинтезу хвої в обох досліджуваних деревах, підвищилась значно, зважаючи на те, що температура атмосферного повітря значно знизилась. Отримані результати підтверджуються, що інтенсивність поглинання вуглекислого газу в шпилькових найвища восени (рис. 5).

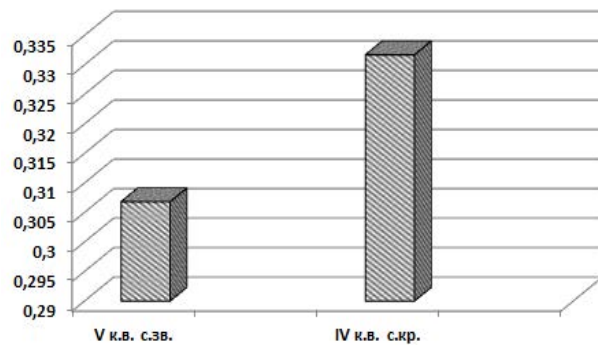


Рис. 5 - Середній показник інтенсивності фотосинтезу соснових за жовтень 2015 р.

Процес інтенсивності фотосинтезу за листопад дає можливість відстежити подальше підвищення досліджуваного процесу (рис. 6).

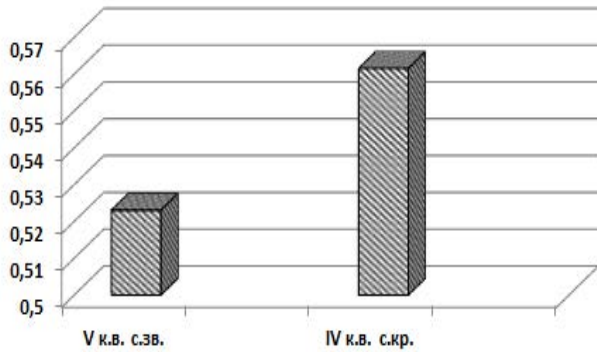


Рис. 6 – Середній показник інтенсивності фотосинтезу соснових за листопад 2015 р.

Погодні умови за аналізований період були сприятливими для проходження процесу фотосинтезу. Температура коливалась від 20°C в вересні і до 5°C в листопаді.

Динаміка процесу поглинання CO₂ хвоєю обраних дерев представлена на рисунку 7.

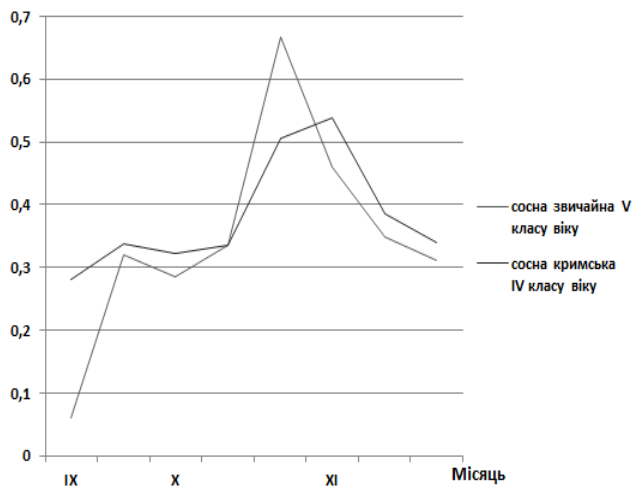


Рис. 7 – Динаміка поглинання CO₂ хвоєю за осінь 2015 р.

Вона показує, що стрімкий ріст поглинання вуглекислого газу хвоєю сосни почав відбуватися з другої декади вересня і різко спадати з другої декади листопада. Отже цьогорічні осінні температури повітря для досліджуваного процесу були оптимальними і сприяли високим показником поглинання CO₂ за період дослідження.

Аналізуючи процес поглинання CO₂ за досліджуваний період можна бачити, що інтенсивність фотосинтезу сосни звичайної та сосни кримської одночасно в обох видах мала майже однакову динаміку підйому і спаду.

5. ВИСНОВКИ

Отримані результати проведених досліджень за осінь 2015 року надають змогу відстежити і проаналізувати інтенсивність фотосинтезу хвої сосни звичайної (*Pinus sylvestris*L) V класу віку та сосни кримської (*Pinus nigrass*) IV класу віку Цюрупинського лісо – мисливського господарства.

Середина осені, а саме друга і третя декада жовтня, виявились найсприятливішими для протікання досліджуваного процесу, оскільки отримані показники є найвищими саме за цей період.

Найнижчі показники дослідження процесу фотосинтезу спостерігалися в першій декаді вересня.

Інтенсивність поглинання вуглекислого газу хвоєю сосни кримської майже в два рази більша за інтенсивність поглинання вуглекислого газу сосною звичайною.

Площа однієї хвоїнки обох видів дерев, які обрані для дослідження, обумовлює різницю показників поглинання вуглекислого газу, оскільки площа хвоїнки сосни кримської в два рази більша за площу хвоїнки сосни звичайної.

Значний спад досліджуваного процесу спостерігається з другої декади листопада, що спричинено погодними умовами.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Глобальное изменение климата и энергии [Электронный ресурс]: Отчет МКИК//: Режим доступа: <http://www.planetseed.com/ru/relatedarticle/otchiet-mkik>
2. Морозюк О.В. Глобальні зміни клімату та регіональний вплив лісів на баланс вуглецю/ О.В. Морозюк // Науковий вісник Львів. нац. Лісотехн. ун-ту. - К.: 2009. – Вип. 19.15. - С. 88-92.
3. Павлюк В.В. Ріст сянців хвойних порід за різної освітленості та концентрації CO₂ / В.В. Павлюк // Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість. - 2006. - Вип. 30.– С. 214-220.
4. Лакида П.І. Надземна фітомаса та депонований вуглець дерев сосни кримської у Криму [Електронний ресурс] /П.І. Лакида, Р.Д. Васишин // Режим доступу: [file:///C:/Users/Юлия/Downloads/nvnaul_lis_2014_198\(1\)_6.pdf](file:///C:/Users/Юлия/Downloads/nvnaul_lis_2014_198(1)_6.pdf)
5. Дейнега Е.А. Экспресс - контроль антропогенной трансформации городских экосистем методами биоиндикации хвойных пород [Электронный ресурс]/ Е.А. Дейнега, О.А. Саватеева // Режим доступа: <http://www.rae.ru/fs/pdf/2012/5-2/29946.pdf>
6. Ковылина О.П. Оценка жизненного состояния сосны обыкновенной в зоне техногенного загрязнения [Электронный ресурс] /О.П. Ковылина, И.А. Зарубина, А.Н. Ковылина // Режим доступа: http://forest-culture.narod.ru/HBZ/Stat_08_3-4/kovilina_zarub.pdf
7. Herman Shugart, Roger Sedjo, Brent Sohngen. Forests & Global climate change. Proc. University of Virginia, The Ohio State University, 2013, pp. °88-92.

8. Ворон В.П. Вплив агротехногенного забруднення на просторову структуру соснових деревостанів /В.П. Ворон, О.Ю. Бологов, О.І. Романенко // Лісівництво і агромеліорація. – Х.:УкрНДДЛГА, 2012. – №121. – С. 151-156.
9. Prentice K.C., Fung I.Y. *Bioclimatic simulations test the sensitivity of terrestrial carbon storage to perturbed climate sand Forests & Global climate change Potentia l Impactson U.S. Forest Resources Prepared for the Pew Centeron Global Climate Change by Herman Shugart*. University of Virginia Roger Sedjo resources for the Brentsohngen the Ohio State University, 1990, pp.48-51. Available at: <http://forestecology.cfans.umn.edu>
10. Кизеев А.Н. Изменения морфологических и физиолого-биохимических показателей хвои сосны обыкновенной в условиях агротехногенного загрязнения [Электронный ресурс] /А.Н. Кизеев // Молодой ученый. — 2011. — №3. Т.1. - С. 120-128. Режим доступа: <http://www.moluch.ru/archive/26/2769/>
11. Ялынская Е.Е. Экофизиология дыхания сосны и CO₂ – газообмен в сосновом ценозе [Электронный ресурс] /Е.Е. Ялынская. - Режим доступа: <http://earthpapers.net/preview/13783/d/?#?page=1>.
12. Уліганець С.І. Конструктивно-географічний аналіз ландшафтно-рекреаційних систем (на прикладі Закарпатської області) : автореф. дис... канд. геогр. наук: 11.00.11 / С.І. Уліганець; Київський національний ун-т ім. Тараса Шевченка. — К., 2007. — 201 с.
13. Юровчик В.Г. Конструктивно-географічні засади оптимізації лісів і лісового господарства Волинської області : автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 11.00.11 / В.Г. Юровчик; Львівський національний ун-т ім. Івана Франка. — Львів, 2007. — 220 с.
14. Проект організації і розвитку ДП «Цюрупинське лісомисливське господарство» Херсонського обласного управління лісового і мисливського господарства. – Ірпінь: Укрдержліспроєкт, 2011. – 192 с.
5. Deineha°E.A., Savateeva°O.A. *Ekspress - kontrol' antropogennoy transformatsyi gorodskikh ekosistem metodami bioindikatsyi khvoynykh porod* [Express - control of anthropogenic transformation of urban ecosystems by softwood bioindication methods]: Available at: <http://www.rae.ru/fs/pdf/2012/5-2/29946.pdf> (accessed 10 November 2015).
6. Kovylyna°O.P., Zarubina°Y.A., Kovylyna°A.N. *Otsenka zhyznennogo sostoyaniya sosny obyknovnoy v zone tekhnogennoho zagryazneniya* [Evaluation of the life condition of Scots pine in the area of man-made pollution]: Available at: http://forest-culture.narod.ru/HBZ/Stat_08_3-4/kovilina_zarub.pdf (accessed 10 November 2015).
7. Herman Shugart, Roger Sedjo, Brent Sohngen. *Forests & Global climate change. Proc. University of Virginia, The Ohio State University*, 2013, pp. °88-92.
8. Voron°V.P., Bolohov°O.Y., Romanenko°O.I. *Vplyv ahrotekhnogennoho zabrudnennya na prostorovu strukturu sosnoykh derevostaniv* [Agrotechnogenic effect of pollution on the spatial structure of pine stands]. *Trudy «Lisivnitstvo i ahromelioratsiya»* [Proc. “The Forestry and agromelioration”]. Kharkhiv : Ukrainian Scientific - Research Institute of Forestry and Agromelioration, 2006, no. 121, pp. 151-156.
9. Prentice K.C., Fung I.Y. *Bioclimatic simulations test the sensitivity of terrestrial carbon storage to perturbed climate sand Forests & Global climate change Potentia l Impactson U.S. Forest Resources Prepared for the Pew Centeron Global Climate Change by Herman Shugart*. University of Virginia Roger Sedjo resources for the Brentsohngen the Ohio State University, 1990, pp. 48-51. Available at: <http://forestecology.cfans.umn.edu>
10. Kyzeev°A.N. *Izmeneniya morfologicheskikh i fiziologo-biokhimicheskikh pokazateley khvoi sosny obyknovnoy v usloviyakh aerotekhnogennoho zagryazneniya* [Morphological Changes and physiological and biochemical indices of pine needles indicators in terms of environmental contamination]: Available at: <http://www.moluch.ru/archive> (accessed 10 December 2015).
11. Yalynskaya°E.E. *Ekofiziologiya dykhaniya sosny i SO2 – gazoobmen v sosnovom tsenoze* [Breath ecophysiology of pine and CO₂ - the gas exchange in the pine cenosis]: Available at: <http://earthpapers.net/preview/13783/d/?#?page=1> (accessed 10 December 2015).
12. Ulihanets°S.I. *Konstruktivno-heografichnyi analiz landshafno-rekreatsiynykh system (na prykladi Zakarpats'koi oblasti)*. *Dis. kand. heogr. nauk* [Structurally geographical analysis of landscape and recreation systems (on the example of Transcarpathian region). Dis. Cand. Geogr. Sci.]. Kiev, 2007. 201°p.
13. Yurovchik°V.H. *Konstruktivno-heografichni zasady optimizatsii lisiv i lisovoho gospodarstva Volynskoi oblasti*. *Dis. kand. eogr. nauk* [Structurally geographical bases of optimization of forests and forestry of Volyn region. Dis. Cand. Geogr. Sci.]. Lviv, 2007. 220°p.
14. *Proekt organizatsii i rozvytku DP «Tsyurupins'ke lisomislyvs'ke gospodarstvo» Kherson'skoho oblasnoho upravlinnya lisovoho i myslyvs'koho gospodarstva* [Project organization and development of the SE "Tsyurupinsk Forest Hunting Range" Kherson Regional Forestry and Hunting]. Irpin: UkrGFPr, 2011, 192°p.

REFERENCES

1. *Global'noe izmenenie klimata i energii* [Global Climate Change and Energy]: Available at: <http://www.planetseed.com/ru/relatedarticle/otchiet-mkik> (accessed 20 December 2015).
2. Moroziuk O.V. *Hlobal'ni zminy klimatu ta rehional'nyi vplyv lisiv na balans vuhletsyu* [Global climate change and regional forests influence on the carbon balance]. *Trudy «Naukovyi visnyk L'viv. nats. Lisotekhn. un-tu»* [Proc. of Scientific Bulletin of the National forest - technical university], 2009, no. 19.15, pp. 88-92.
3. Pavliuk°V.V. *Rist siyantsiv khvoynykh porid za riznoi osvitenosti ta kontsentratsii SO2* [Growth of seedlings of softwoods at different light and CO₂]. *Trudy «Lisove gospodarstvo, lisova, paperova i derevoobrobna promyslovist'»* [Proc. of the Forestry, timber, paper and wood industry], 2006, no. 30, pp. 214-220.
4. Lakyda°P.I., Vasylyshyn°R.D. *Nadzemna fitomasa ta deponovani vuhlets derev sosny kryms'koi u Krymu* [Overground phytomass and deposited carbon of Crimean pine trees in Crimea]: Available at: nubip.edu.ua (accessed 10 November 2015).

EFFECT OF FORESTRY OF THE SOUTHERN UKRAINE ON THE REGULATION OF CARBON DIOXIDE IN THE ATMOSPHERE

O.O. Dronova, Cand. Sci. (Geogr.)

J.O. Kuznetsova, PhD student

*Odessa State Environmental University, 15,
Lvivska St., 65016 Odessa, Ukraine, oleg-second@yandex.ua*

The article describes Tsyurupinsk Forest Hunting Range as the most powerful natural ecosystem having an effect on regulation of technology-related processes, namely on reduction of carbon dioxide stress on the environment. Needles of Scots pine and Crimean pine serve as the object of research. Needles were selected from pine trees occupying the largest areas of growth with regard to age class. The studies were conducted using the gasometrical method. The chosen method is based on measuring the rate of absorption of carbon dioxide by needles. Measurement of areas of examined portions of pine trees took place as well. The role of forests for dry steppe subzone of Ukraine was also determined. Data of photosynthesis process occurring in needles of coniferous woods prevailing with respect to areas of growth are demonstrated. The analysis for study of dynamics of carbon dioxide absorption in September – November of 2015 is presented. The most favourable periods of the process of absorption of CO₂ are described with a certain decline noted. It has been proved that intensity of absorption of carbon dioxide by needles of Crimean pine is almost twice more than absorption of carbon dioxide by needles of Scots pine.

Keywords: climate, photosynthesis, carbon dioxide, Crimean pine, Scots pine.

ВЛИЯНИЕ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА ЮГА УКРАИНЫ НА РЕГУЛИРОВАНИЕ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В АТМОСФЕРЕ

Е.А. Дронова, канд. географ. н., доц.

Ю.А. Кузнецова, асп.

*Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, oleg-second@yandex.ua*

В статье описывается Цюрупинское лесохозяйственное хозяйство, как мощная природная экосистема влияния на регулирование техногенных процессов, а именно уменьшение нагрузки углекислого газа на окружающую среду. Объектом исследования является хвоя сосны обыкновенной и хвоя сосны крымской. Хвоя отбиралась с сосновых деревьев, которые занимают самые большие площади произрастания по классу возраста. Исследования проведены при помощи газометрического метода. Избранный метод основывается на измерении поглощения углекислого газа хвоей. Измерены площади исследуемого органа сосны. Определена роль леса для сухостепной подзоны Украины. Продемонстрированы данные процесса фотосинтеза, который происходит в хвое хвойных пород, доминирующих по площадям произрастания. Предоставляется анализ исследования динамики поглощения углекислого газа за сентябрь - ноябрь 2015 года. Описаны благоприятные периоды протекания процесса поглощения CO₂ и отмечен спад. Доказано, что интенсивность поглощения углекислого газа хвоей сосны крымской почти в два раза больше за поглощение углекислого газа хвоей сосны обыкновенной.

Ключевые слова: климат, фотосинтез, углекислый газ, сосна крымская, сосна обыкновенная.

*Дата першого подання.: 24.10.2015
Дата надходження остаточної версії : 21.03.2016
Дата публікації статті : 04.07.2016*

УДК 633.85: 551.58

ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗМІН КЛІМАТУ НА АГРОКЛІМАТИЧНІ УМОВИ ВИРОЩУВАННЯ СОНЯШНИКУ В УКРАЇНІ

О.Л. Жигайло¹, к. геогр. н., доц.

Т.С. Жигайло², к. с.-г. н., н. с.

¹ Одеський державний екологічний університет,

вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, elenajigaylo@gmail.com

² ННЦ «Інститут виноградарства і виноробства ім. В.Є. Таїрова»,

вул. 40-річчя Перемоги, 27, 65496, смт. Таїрове, Одеса, Україна, fanenger@gmail.com

У статті розглянуто агрокліматичні умови росту, розвитку і формування врожаю соняшнику під впливом змін клімату за сценарієм *A1B*. На основі моделі впливу факторів зовнішнього середовища на формування продуктивності соняшнику проведена оцінка впливу змін клімату на урожай насіння соняшнику в Лісостеповій і Степовій зонах України.

Ключові слова: соняшник, період вегетації, температура, опади, вологозабезпеченість, урожай, зміна клімату, сценарій.

1. ВСТУП

Проблема зміни клімату в цілому і глобального потепління зокрема стала однією з найсерйозніших і актуальних напрямків науково-технічної діяльності на сучасному етапі [6].

При зміні клімату відбувається зміна природних ресурсів. Врахуванню кліматично зумовлених природних ресурсів завжди надавалося велике значення в тих галузях економіки, які тісно пов'язані із станом погоди і клімату. Передусім, це агропромисловий комплекс, в якому витрати на виробництво сільськогосподарської продукції визначаються відповідним набором кліматично зумовлених природних ресурсів. Клімат чи не найсуттєвіший чинник, який визначає середній рівень урожайності, а також міжрічну мінливість і просторову структуру останньої [3,4,8].

Від ефективності пристосування сільського господарства до нових умов, що диктуються з боку глобального антропогенного потепління, насамперед залежить майбутня продовольча безпека України. Отже, питання визначення впливу очікуваних змін клімату на агрокліматичні умови вирощування, продуктивність та валовий збір урожаю постає особливо гостро. Цим обумовлюється актуальність цієї теми.

В Україні одною з найпопулярніших олійних культур є соняшник. Високий рівень рентабельності і попит на насіння спричинили значне розширення його посівних площ. Соняшник - основна олійна культура країни.

За народногосподарською цінністю і значенням він не поступається таким широко розповсюдженим культурам як пшениця, кукурудза, соя. У порівнянні з іншими олійними культурами соняшник дає найбільший вихід олії з одиниці площі. На соняшникову олію припадає 98%

загального виробництва олії в Україні.

2. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для оцінки змін агрокліматичних ресурсів при можливих змінах клімату були використані такі сценарії змін клімату в Україні: сценарій *A1B*, регіональна кліматична модель *MPI-M-REMO*, глобальна модель – *ESCHAM5-r3* [4-6].

Дослідження формування врожаю соняшнику проводилося на основі динамічної моделі продуктивності посівів сільськогосподарських культур [2,7].

За допомогою математичної моделі були виконані розрахунки врожайності насіння соняшнику в Україні за сценарієм *A1B*, який передбачає рівновагу між усіма джерелами енергії, так званий «помірний».

Для порівняльного аналізу сценарних метеорологічних величин з минулими даними з агрокліматичного довідника України [1] береться період з 1986 до 2005 рр., що є базовим. В сценарії *A1B* розглянуті два кліматичні періоди: з 2011 до 2030 рр. і з 2031 до 2050 рр.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

На території України в кліматичний період з 1986 по 2005 роки сівба соняшнику починалась наприкінці третьої декади квітня, поява сходів спостерігалась в Лісостепу та Північному Степу у другій декаді травня, у Південному Степу - в першій декаді травня. Дозрівав соняшник раніше за всіх у Південному Степу (в середині серпня), пізніше за всіх - у Західному Лісостепу (перша декада вересня), на решті території – в третій декаді серпня.

Тривалість періоду від сходів до досягання соняшнику на всій території вирощування соняшнику становила 100 - 105 днів (табл. 1), лише в Донецькому Північному Степу тривалість періоду складала 93 дні, а в Західному Лісостепу – 118 днів.

За умов реалізації сценарію змін клімату А1В очікується, що строки посіву соняшнику змістяться на 15...18 днів раніше базових термінів посіву по всій досліджуваній території. Відповідно змістяться і строки появи сходів.

У період з 2011 по 2030 рр. дата появи сходів в Центральному Лісостепу і на Правобережжі Північного Степу очікується на тиждень раніше за середню багаторічну базового періоду (табл. 1). У Західному і Східному Лісостепу сходи з'являтимуться на 4 дні раніше. Більш ранні терміни сходів очікуються на Лівобережжі Північного Степу (на 12 днів), в Донецькому Степу (на 14 днів) і в Південному Степу (на 11 днів). У другий сценарний період (з 2031 по 2050 рр.) очікуються ще більш ранні терміни появи сходів. У Західному і Східному Лісостепу сходи з'являтимуться на 8 днів раніше за базовий термін і на 4 дні раніше, аніж у перший сценарний період. На три дні раніше, в порівнянні з першим сценарним періодом, очікуються сходи в Центральному Лісостепу (04.05), а також на Правобережжі (01.05) і Лівобережжі (30.04) Північного Степу. Найбільш ранні терміни появи сходів (19.04) будуть в Південному Степу.

Аналіз розрахунків дат настання цвітіння за обидва сценарні періоди показав, що в Західному Лісостепу цвітіння майже буде співпадати із датою базового періоду, в Центральному та Східному Лісостепу на 5-7 днів раніше. В Степу, як в Північному, так і в Південному, в перший розрахунковий період цвітіння настане на 7-9 днів раніше, а в другий період – на 10-12 днів. У підзоні Донецького Степу в перший сценарний період дата цвітіння очікується на 4 дні, а в другий - на 14 днів раніше.

Дозрівання соняшнику в Центральному і Західному Лісостепу в другий сценарний період наступатиме значно раніше (на 12-13 днів), ніж в перший сценарний період (на 7-8 днів). У Східному Лісостепу дозрівання буде в обидва періоди практично збігатися (на 11-12 днів раніше). У Північному Степу в першому періоді (2011-2030 рр.) дозрівання очікується: на Правобережжі на 9 днів, на Лівобережжі на 16 днів і в Донецькому Степу на 11 днів раніше за базовий, у другому періоді (2031-2050 рр.) на три дні раніше, ніж в першому сценарному періоді. У Південному Степу дозрівання соняшнику в обох

розрахункових періодах наставатиме в третій декаді липня, що на 16 днів і 22 дня, відповідно, раніше базового терміну.

Тривалість вегетаційного періоду соняшнику в Центральному Лісостепу за обидва розрахункові періоди буде на рівні базового і становитиме 104 і 103 дні відповідно. У Західному Лісостепу в перший розрахунковий період він складе 115 днів, що на 3 дні менше за базовий, в другий період - 112 днів (на 6 днів менше). У Східному Лісостепу тривалість вегетації зменшиться в перший період на 6 днів, у другий - буде на рівні базового періоду. На Правобережжі Північного Степу, як в першому періоді, так і в другому тривалість вегетаційного періоду буде на рівні базової і складе 102 дні. На Лівобережжі період вегетації буде коротшим на 4 і 3 дні відповідно. У Донецькому Степу він, навпаки, збільшиться відповідно на 3 і 4 дні. У Південному Степу очікується скорочення вегетаційного періоду до 96-95 днів. Скорочення тривалості вегетаційного періоду в умовах зміни клімату буде відбуватися за рахунок підвищення температури в період цвітіння і дозрівання насіння соняшнику.

При реалізації сценарію А1В на території лісостепової та степової зони за рахунок більш ранніх строків сівби період сходів - цвітіння буде проходити здебільшого на фоні знижених температур (табл. 2). У перший сценарний період в Західному Лісостепу середня температура від сходів до цвітіння буде на рівні середньої багаторічної температури базового періоду, в Центральному Лісостепу середня температура буде нижче базової на 0,5 °С, а в Східному Лісостепу на 0,5° С вище базової. У Північному Степу середня температура коливатиметься від 17,6° С на Правобережжі до 18,3° С на Лівобережжі, що на 0,6 і 0,5° С нижче базової, в Донецькій Степу середня температура буде нижче на 0,9° С. У другий сценарний період в Західному і Центральному Лісостепу середня температура буде на рівні базової середньої багаторічної, у Східному Лісостепу на 0,7° С нижче базової. У Північному Степу на Правобережжі та в Донецькому Степу середня температура буде 17,5° С і 17,8° С, що на 0,7° С нижче за базову. Найбільші відхилення середньої температури в обох розрахункових періодах (на 1,1° С і 1,2° С) очікуються в Південному Степу і в другий період – на Лівобережжі Північного Степу (на 1,4° С).

Таблиця 1 - Фази розвитку соняшнику (*Helianthus annuus* L.) в Україні за середньобаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценарієм змін клімату А1В в періоди 2011-2030 рр. і 2031-2050 рр.

Період	ФАЗИ РОЗВИТКУ			Тривалість вегетаційного пе- ріоду, дні
	Сходи	Цвітіння	Достигання	
ЛІСОСТЕП				
Західний				
1986 – 2005	15.05	17.07	10.09	118
2011 – 2030	11.05	20.07	02.09	115
2031 – 2050	07.05	15.07	27.08	112
Центральний				
1986 – 2005	15.05	17.07	27.08	104
2011 – 2030	08.05	12.07	20.08	104
2031 – 2050	04.05	10.07	15.08	103
Східний				
1986 – 2005	15.05	18.07	24.08	101
2011 – 2030	11.05	10.07	13.08	95
2031 – 2050	07.05	11.07	12.08	101
ПІВНІЧНИЙ СТЕП				
Правобережжя				
1986 – 2005	11.05	15.07	23.08	104
2011 – 2030	04.05	06.07	14.08	102
2031 – 2050	01.05	03.07	11.08	102
Лівобережжя				
1986 – 2005	15.05	12.07	24.08	101
2011 – 2030	03.05	05.07	08.08	97
2031 – 2050	30.04	02.07	05.08	98
Донецький				
1986 – 2005	20.05	19.07	21.08	93
2011 – 2030	06.05	15.07	10.08	96
2031 – 2050	02.05	05.07	07.08	97
ПІВДЕННИЙ СТЕП				
1986 – 2005	06.05	02.07	14.08	100
2011 – 2030	25.04	25.06	30.07	96
2031 – 2050	19.04	20.06	23.07	95

Примітка: Вплив зміни клімату на темпи розвитку і формування врожаю соняшнику розглядаються з урахуванням агротехніки вирощування, а також сортів і гібридів в період з 1986 по 2005 рр.

Розрахунки за сценарієм показали, що в період від цвітіння до дозрівання середня температура повітря буде вище базової, як у Лісостепу, так і в Степу України. У перший період з 2011 по 2030 рр. середня температура в Західному і Центральному Лісостепу буде вище на 0,5° С і 0,6° С відповідно, в Західному на 1,4° С. У Степу з півночі на південь середня температура буде підвищуватись з 21,7° С на Правобережжі Північного Степу до 24,1° С в Південному Степу. У другий період з 2031 по 2050 рр. середня температура повітря буде зростати до 19,0 ... 20,0° С в Лісостеповій зоні, а в Степовій до 22,8 ... 25,3° С (табл. 2).

Динаміка кількості опадів на досліджуваній території очікується дуже нерівномірною. У першому розрахунковому періоді кількість опадів від сходів до цвітіння в Західному Лісостепу

зменшиться на 10 %, в Центральному збільшиться на 9 %, а в Східному залишиться на рівні середніх багаторічних базового періоду (табл. 2). На Право- і Лівобережжі Північного Степу сума опадів зменшиться на 7 % і 16 % відповідно, а в Донецькому Степу збільшиться на 9 %. У другий період кількість опадів як в Лісостепу, так і в Північному Степу очікується на рівні базових, окрім Східного Лісостепу, тут очікується їх збільшення на 16 %. У Південному Степу в обох розрахункових періодах кількість опадів зменшиться на 35 і 33 % відповідно.

Таблиця 2 - Агрокліматичні умови вирощування соняшнику в Україні за сценарієм змін клімату А1В

СЦЕНАРІЙ ПЕРІОД	ПЕРІОД ВЕГЕТАЦІЇ								
	I сходи – цвітіння			II цвітіння – досягання			III сходи – досягання		
	Середня температура, °С	Сума опадів, мм	Вологозабезпеченість, відн.од	Середня температура, °С	Сума опадів, мм	Вологозабезпеченість, відн.од	Середня температура, °С	Сума опадів, мм	Вологозабезпеченість, відн.од
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ЛІСОСТЕП									
Західний									
1986 – 2005	16,7	190	0,60	17,5	131	0,58	17,0	321	0,59
2011 – 2030	16,9	171	0,56	18,0	123	0,53	17,3	295	0,55
2031 – 2050	16,6	187	0,59	19,0	91	0,53	17,3	278	0,56
Центральний									
1986 – 2005	17,3	160	0,60	19,4	131	0,57	18,2	291	0,58
2011 – 2030	16,8	168	0,62	20,0	103	0,56	18,0	271	0,60
2031 – 2050	17,0	162	0,55	21,0	108	0,53	18,5	270	0,54
Східний									
1986 – 2005	17,5	158	0,54	18,9	76	0,48	18,0	234	0,52
2011 – 2030	18,0	154	0,55	20,3	85	0,50	18,9	239	0,53
2031 – 2050	16,8	184	0,56	20,9	102	0,54	18,3	286	0,55
ПІВНІЧНИЙ СТЕП									
Правобережжя									
1986 – 2005	18,2	136	0,48	20,7	94	0,43	19,3	230	0,46
2011 – 2030	17,6	126	0,48	21,7	91	0,45	19,5	217	0,47
2031 – 2050	17,5	136	0,49	22,8	71	0,42	19,9	207	0,46
Лівобережжя									
1986 – 2005	18,8	125	0,59	21,4	77	0,39	19,9	202	0,49
2011 – 2030	18,3	105	0,43	22,8	66	0,35	19,9	171	0,40
2031 – 2050	17,4	130	0,48	23,9	75	0,36	19,5	205	0,43
Донецький									
1986 – 2005	18,5	128	0,55	21,2	75	0,42	19,6	203	0,49
2011 – 2030	17,6	140	0,50	23,4	70	0,44	19,7	210	0,47
2031 – 2050	17,8	129	0,48	23,9	72	0,40	20,0	201	0,45
ПІВДЕННИЙ СТЕП									
1986 – 2005	18,4	108	0,56	23,1	88	0,39	20,4	196	0,48
2011 – 2030	17,3	70	0,36	24,1	39	0,27	19,8	109	0,31
2031 – 2050	17,2	72	0,35	25,3	37	0,27	19,9	109	0,32

Кількість опадів від цвітіння до дозрівання зменшиться в перший розрахунковий період в Західному і Центральному Лісостепу відповідно на 6 % та 21 %, а в Східному збільшиться на 12 % (табл. 2). У Північному Степу на Правобережжі сума опадів буде на рівні середньої багаторічної базового періоду, а на Лівобережжі та в Донецькому Степу зменшиться відповідно на 14 % і 7 %. У Південному Степу кількість опадів зменшиться на 56 %. У другий розрахунковий період сума опадів зменшуватиметься ще більше в Західному Лісостепу на 30 %, в Центральному Лісостепу на 18 %, крім Східного Лісостепу, де сума опадів збільшиться на 34 %. У Північному

Степу на Правобережжі та в Південному Степу кількість опадів зменшиться відповідно на 25 % і 58 %, на Лівобережжі та в Донецькому Степу буде на рівні базових сум опадів.

Зміни температурного режиму та режиму зволоження за сценарієм приведуть до зміни вологозабезпечення посівів соняшнику.

Вологозабезпеченість посівів соняшнику в період з 1986 по 2005 рр. від посіву до цвітіння змінюється в межах від 0,60 відн. од. в Лісостепу до 0,48 відн. од. в Степу (табл. 2). За умови реалізації сценарію зміни клімату в період з 2011 по 2030 рр. в Західному Лісостепу, на Лівобережжі

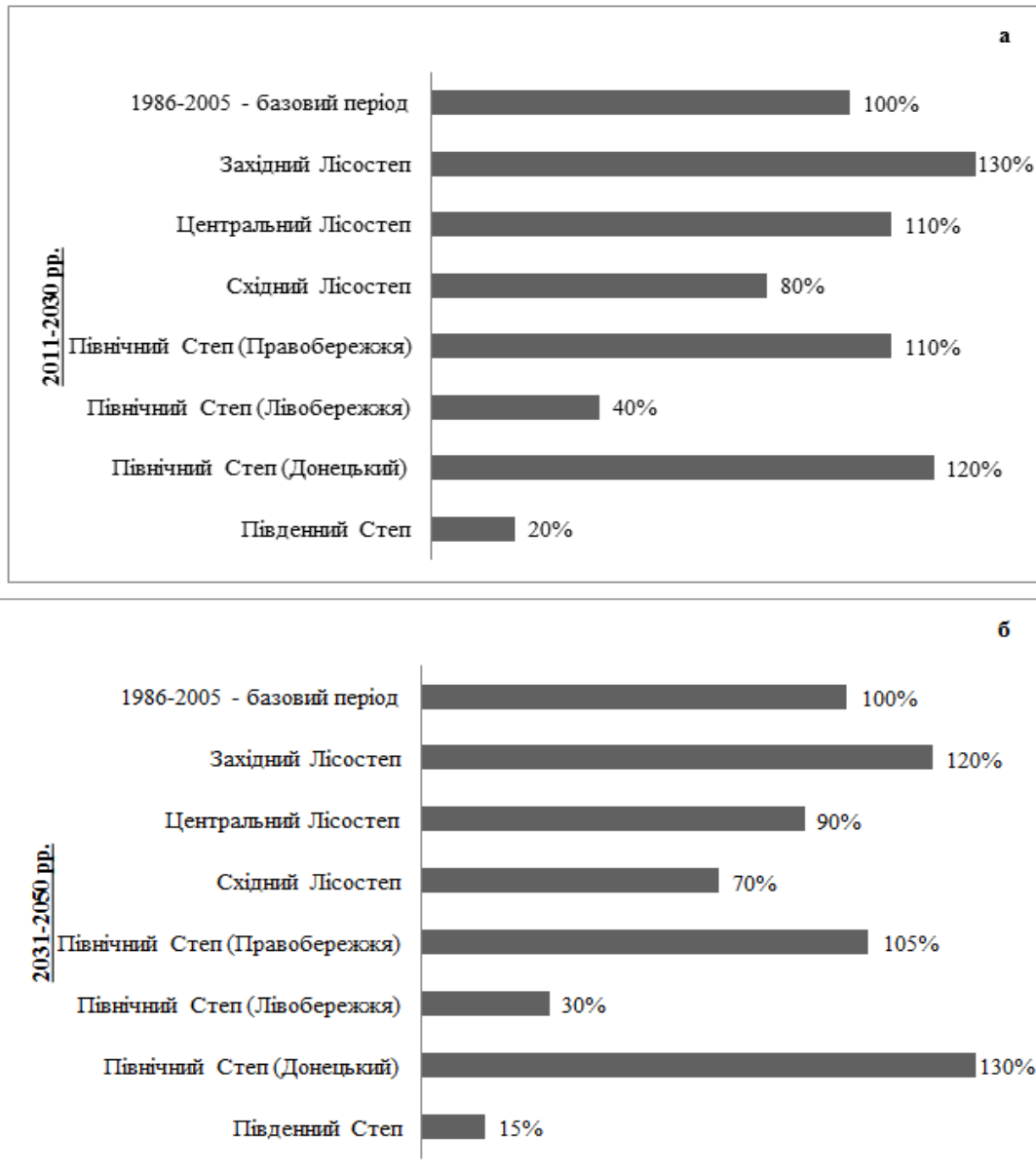


Рис. 1 - Зміна врожайності соняшнику в залежності від кліматичних змін в період: а) з 2011 по 2030 роки, б) з 2031 по 2050 роки в порівнянні з базовим періодом (1986-2005 роки). Лісостеп та Степ України.

та в Донецькому Північному Степу, а також в Південному Степу вологозабезпеченість посівів соняшнику зменшиться відповідно на 7 %, 27 %, 9 % і 36 %. У Центральному та Східному Лісостепу, на Правобережжі Північного Степу вона буде на рівні базового вологозабезпечення. У період з 2031 по 2050 рр. зберігається тенденція зниження вологозабезпечення в усіх природно-кліматичних підзонах, крім Східного Лісостепу та Правобережжя Північного Степу. У період від цвітіння до дозрівання вологозабезпеченість зменшиться і в перший і в другий сценарні періоди відповідно у Західному Лісостепу на 9 %, в Центральному на 2 % і 7 %, на Лівобережжі Північного Степу на 10 % і 8 %, в Південному Сте-

пу на 31 %. У Східному Лісостепу вологозабезпеченість буде збільшуватися відповідно на 4 % та 13 %. На Правобережжі та в Донецькому Північному Степу в перший розрахунковий період вологозабезпеченість буде збільшуватися на 5 %, а в другий вона буде зменшуватися на 2 % і 5 % відповідно. В цілому за вегетаційний період вологозабезпеченість в порівнянні з середньою багаторічною базового періоду зменшиться в Західному Лісостепу до 0,55 відн. од. в перший період і до 0,56 відн. од. в другий період, на Лівобережжі Північному Степу до 0,40 відн. од. і 0,43 відн. од. відповідно, в Донецькому Степу до 0,47 відн. од. і 0,45 відн. од., в Південному Степу до 0,31 відн. од. і 0,32 відн. од. У Східному Лісо-

степу вологозабезпеченість збільшиться до 0,53 відн. од. і 0,55 відн. од. На Правобережжі Північного Степу вона буде на рівні базового вологозабезпечення. В цілому вологозабезпеченість в Лісостепу і в Північному Степу України буде задовільною. У зоні Південного Степу вона очікується незадовільною.

Під дією зміни агрокліматичних умов вирощування соняшнику відбудеться зміна рівня його врожайності. Так, в період з 1986 по 2005 рр. врожайність насіння соняшнику в Західному Лісостепу була 12,2 ц/га, в Центральному - 16,5 ц/га і в Східному - 15,6 ц/га. У Північному Степу вона становила 13,1 ц/га в Донецькій підзоні, 14,3 ц/га - на Лівобережжі та 14,5 ц/га - на Правобережжі, а в зоні Південного Степу її значення не перевищувало 11,5 ц/га.

При реалізації сценарію А1В найбільш сприятливими будуть майбутні агрокліматичні умови в Західному Лісостепу і в Донецькій підзоні Північного Степу (рис. 1), де очікуваний рівень врожайності становитиме на 20-30 % більше сучасного рівня, як в першій, так і в другій сценарній періоді. Урожайність підвищиться на 5-10 % також на Правобережжі Північного Степу. Умови першого розрахункового періоду в Центральному Лісостепу сприятимуть збільшенню врожаю на 10 % у порівнянні з сучасним рівнем (рис. 1а), а в умовах другого періоду (рис. 1б) очікується його зниження (на 10 %). У Східному Лісостепу в очікуваних посушливих умовах урожайність знизиться на 20 % в перший період і на 30 % в другий. Внаслідок дуже посушливих умов на Лівобережжі Північного Степу та в Південного Степу рівень очікуваної врожайності буде відповідно на 60 – 70 % і на 80 – 85 % нижче сучасного.

4. ВИСНОВОК

На основі агрокліматичних умов в період вегетації соняшнику при реалізації сценарію змін клімату А1В встановлено, що строки сівби та наступні фази розвитку будуть наступати раніше, ніж нині, що призведе до скорочення усього вегетаційного періоду на більшій частині досліджуваної території.

Порівняльний аналіз температурного режиму та режиму опадів показав, що за умови реалізації розглянутого сценарію змін клімату є підстави вважати, що очікувані погодні умови будуть більш сприятливими для вирощування соняшнику в Західному і Центральному Лісостепу, а також на Правобережжі та в Донецькій підзоні Північного Степу України.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Агрокліматичний довідник по території України. / За ред. Т.І. Адаменко, М.І. Кульбиди, А.Л. Прокопенко. – Кам'янець-Подільськ, 2011. – 107 с.
2. Динамическое моделирование в агрометеорологии. / Под ред. Ю.А. Хваленского, О.Д. Сиротенко, А.Н. Полевого. – Л.: Гидрометеоиздат, 1982. – 145 с.
3. Изменения климата Беларуси и их последствия. / Под ред. В.Ф. Логинова. – Минск: Тонпик, 2003.
4. Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України. / За ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. – Одеса: Вид. «ТЕС», 2015– 520 с.
5. Краковська С.В. Верифікація даних світового кліматичного центру (CRU) та регіональної моделі клімату (REMO) щодо прогнозу приземної температури повітря за контрольний період 1961-1990 рр. / [Краковська С.В., Паламарчук Л.В., Шедемко І.П., Дюкель Г.О., Гнатюк Н.В.] // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2008. – № 257. – С. 42-60.
6. Логинов В.Ф. Причины и следствия климатических изменений / В.Ф. Логинов. – Минск: Наука і техніка, 1992. – 320 с.
7. Польовий А.М. Моделювання гідрометеорологічного режиму та продуктивності агрокосистем / А.М. Польовий. – К.: КНТ, 2007. – 344 с.
8. Сиротенко О.Д. Будущее сельского хозяйства России в связи с ожидаемыми изменениями климата / О.Д. Сиротенко // В сб.: Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – 2000. – Т. XVII. – С. 258-274.

REFERENCES

1. Adamenko T.I., Kul'bida M.I., Prokopenko A.L. (Eds). *Ahroklimatychnyy dovidnyk po terytorii' Ukrainy* [An agroclimatic reference book on the Ukraine territory]. Kam'yanets'-Podil'sk, 2011. 107 p.
2. Hvalenskiy U.A., Sirotenko O.D., Polevoy A.N. *Dinamicheskoe modelirovanie v agrometeorologii* [The dynamic modeling in agrometeorology]. Leningrad, 1982. 145 p.
3. Logvinov V.F. *Izmeneniya klimata Belarusi i ikh posledstviya* [Climate changes in Belarus and their consequences]. Minsk: Tonpik, 2003.
4. Stepanenko S.M., Pol'ovyy A.M. (Eds). *Klimatychni zminy ta ikh vplyv na sfery ekonomiky Ukrainy* [Climate changes and their influence on sphere of the Ukraine economy]. Odesa: "TES", 2015. 520 p.
5. Krakov'ska S.V., Palamarchuk L.V., Shedemenko I.P., Dukel G.O., Gnatuk N.V.] *Verifikatsiya danykh svitovoho klimatichnoho tsentru (CRU) ta rehionalnoi modeli klimatu (REMO) shchodo pryzemnoi temperatury povitrya za kontrol'nyy period 1961-1990 pp* [Data verification of global climate center (CRU) and regional climate model (REMO) on surface air temperature for the controlling period 1961-1990]. *Nauk. pratsi UkrNDGMI – Proc. UkrSRHMI*, 2008, no. 257, pp. 42-60.
6. Loginov V.F. *Prichiny i sledstviya klimaticheskikh izmeneniy* [The causes and consequences of climate changes]. Minsk: Navuka i tehnika, 1992. 320 p.
7. Pol'ovyy A.M. *Modeluvannya hidrometeorologichnoho rezhimu ta produktyvnosti ahroekosystem* [Modeling of hydrometeorological regime and agroecosystems productivity]. Kyiv: KNT, 2007. 344 p.
8. Syrotenko O.D. *Budushchee sel'skogo khozyaystva Rossii*

v svyazi s ozhidaemymi izmeneniyami klimata [The future of agriculture in Russia due to expected climate changes]. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya*

ekosistem [Environmental monitoring problems and ecosystem modeling], 2000, vol. XVII, pp. 258-274.

EVALUATION OF CLIMATE CHANGE INFLUENCE ON AGROCLIMATIC CONDITIONS OF SUNFLOWER GROWING IN UKRAINE

O.L. Zhygailo¹, Cand. Sci. (Geogr.), Assoc. Prof.
T.S. Zhygailo², Cand. Sci. (Agricul.), Research Fellow

¹ *Odessa State Environmental University,*

15, Lvivska St., 65016 Odessa, Ukraine, elenajigaylo@gmail.com,

² *NSC «Institute viticulture and winemaking named-after V.E. Tairov»
27, 40-richchya Peremohy str., 65496, Tairovo, Odessa, Ukraine, fanenger@gmail.com*

The problem of climate change and global warming both in whole and in particular has become one of the most serious and urgent directions of scientific and technical activity at the present stage. The future food security of Ukraine depends on the effectiveness of adaptation of agriculture to new conditions dictated by the global anthropogenic warming. In order to evaluate possible impact of climate change in Ukraine on agroclimatic indicators the scenario A1B - "moderate" was used providing a balance between all energy sources. Researches of sunflower harvest formation are carried out using a dynamic model of agricultural crops productivity. For a comparative analysis of scenario meteorological variables with previous data the period from 1986 to 2005 is taken from agroclimatic directory of Ukraine. It serves as a base when performing calculations. According to calculations of A1B climate change scenario, periods of sowing and subsequent phases of development will occur earlier than at present, which will lead to reduction of the whole vegetation period at most parts of the area under study. As a result of comparative analysis of temperature and precipitation regime it was found that, subject to implementation of the climate change scenario under study, expected weather conditions will be more favourable for cultivation of sunflower in the Western and Central forest-steppe, as well as at the Right-Bank Ukraine and in the Donetsk sub-zone of Northern steppe of Ukraine.

Key words: sunflower, growing seasons, temperature, precipitation, provision of water, crop, climate change, scenario.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА АГРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ВЫРАЩИВАНИЯ ПОДСОЛНЕЧНИКА В УКРАИНЕ

О.Л. Жигайло¹, к. геогр. н., доц.,
Т.С. Жигайло², к. с.-х. н., н. с.

¹ *Одесский государственный экологический университет,*

ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, elenajigaylo@gmail.com

² *ННЦ «Институт виноградарства и виноделия им. В.Е. Таирова»,
ул. 40-летия Победы, 27, 65496, пгт. Таирово, Одесса, Украина, fanenger@gmail.com*

В статье рассмотрены агроклиматические условия роста, развития и формирования урожая подсолнечника под влиянием изменений климата по сценарию A1B. На основе модели влияния факторов внешней среды на формирование продуктивности подсолнечника проведена оценка влияния изменений климата на урожай его семян в Лесостепной и Степной зонах Украины.

Ключевые слова: подсолнечник, период вегетации, температура, осадки, влагообеспеченность, урожай, изменение климата, сценарий.

Дата першого подання: 05.05.2016

Дата надходження остаточної версії: 18.05.2016

Дата публікації статті : 04.07.2016

УДК номер: 633.16:551.58

ОЦІНКА ЗМІНИ АГРОКЛІМАТИЧНИХ УМОВ ВИРОЩУВАННЯ ПРОСА В ПІВДЕННИХ ОБЛАСТЯХ УКРАЇНИ В ЗВ'ЯЗКУ ЗІ ЗМІНОЮ КЛІМАТУ

Н.В. Данілова, к.геогр.н.

*Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, natalia021282@mail.ru*

Розглядалися зміни агрокліматичних ресурсів та агрокліматичних умов формування продуктивності проса за різні проміжки часу. Аналіз тенденції зміни клімату виконано шляхом порівняння даних за кліматичними сценаріями А2 та А1В та середніх багаторічних характеристик кліматичних та агрокліматичних показників. Проведена порівняльна характеристика продуктивності проса в умовах зміни клімату за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату А2 і А1В (2011-2030 рр. та 2031-2050 рр.).

Ключові слова: просо, зміна клімату, температура повітря, опади, вологозабезпеченість.

1. ВСТУП

Сигнали глобального потепління нині спостерігаються в усьому світі. Серії даних гідрометцентрів показують істотне підвищення температури в багатьох регіонах, що супроводжується інтенсивністю частоти посушливих періодів. Деякі суттєві та прямі впливи змін клімату помітні вже в наші дні, але протягом наступних кількох десятиліть будуть відчутні у сільському господарстві. Підвищення температури та зниження кількості опадів, імовірно, призведуть до зменшення врожайності. Ці зміни можуть істотно вплинути на глобальну продовольчу безпеку. Україна відома своїми родючими ґрунтами та сільськогосподарською продукцією, тож має величезний сільськогосподарський потенціал, сприяючи, по суті, глобальній продовольчій безпеці. Однак спостережувані погодні зміни, підвищення середньої температури та нерівномірний розподіл опадів може призвести до різкої трансформації переважної частини кліматичних і сільськогосподарських зон України. Згідно з міжнародними процесами існує нагальна потреба в підвищенні адаптації до кліматичних змін у деяких галузях національної економіки України, зокрема й у сільському господарстві.

Для України сільське господарство є одним із секторів економіки, який може зазнавати суттєвих впливів зміни клімату та ризиків від екстремальних кліматичних явищ, що почастишали і стали більш інтенсивними внаслідок зміни клімату. При цьому слід зазначити, що аграрний сектор України — одна із провідних галузей економіки, яка є гарантом продовольчої безпеки і в нашій країні, і, за рахунок реалізації експортних можливостей, у світі. Це єдина галузь економіки, яка 2014 року у складних фінансово-економічних умовах продемонструвала позитив-

ну динаміку обсягів виробництва та забезпечила валютні надходження до бюджету.

У зв'язку з надзвичайною важливістю аграрного сектору для забезпечення стійкого розвитку економіки України, зокрема південних областей, підвищення уваги до кліматичного чинника у досягненні стабільності врожайності сільськогосподарських культур є необхідним і своєчасним [3].

Важливою ланкою проблеми зміни глобального клімату є оцінка зміни агрокліматичних умов вирощування сільськогосподарських культур та впливу цих змін на їхню продуктивність. Сільське господарство є найбільш вразливою галуззю економіки України до коливань та змін клімату. Враховуючи інерційний характер сільського господарства та залежність його ефективності від погодних умов, уже зараз необхідно прийняти адекватні рішення щодо складних проблем, обумовлених змінами клімату. В зв'язку з очікуваним підвищенням температури повітря Північної півкулі продовольча безпека України в значній мірі буде залежати від того, наскільки ефективно адаптується сільське господарство до майбутніх змін клімату. Це передбачає завчасну оцінку впливу очікуваних змін клімату на агрокліматичні умови вирощування сільськогосподарських культур [5, 7].

Розширення спектру використовуваних в сільськогосподарському виробництві проса економічно доцільно і в зв'язку з істотними змінами клімату, наслідки глобального потепління якого досить широко обговорюються в науковій літературі. Оперативне введення в сівозміну проса, здатного витримати періодично посухи, які повторюються, особливо в Південних областях, є одним із шляхів, що дозволяють подолати наслідки подібних екстремальних умов [4].

Умови південних районів сприятливі для культури проса. Просо – одна з найбільш посухостійких і жаростійких культур, здатна протистояти запалам і захопленням, що дуже важливо для посушливих районів і в посушливі роки, коли інші зернові культури сильно знижують урожай.

Широко використовується просо як "страхова" культура при пересіві загиблих озимих або ранніх ярих; а також воно менше за інших зернових культур страждає від шкідників і хвороб, стійке до вилягання [2].

2. ОПИС ЛІТЕРАТУРИ

Просо – культура посухостійка, короткого світлового дня, швидко вегетує. І тому його висівають на півдні часто, як повторну (пожнивну) культуру. Його посухостійкість і жаростійкість дозволяють формувати непоганий урожай в умовах, коли інші культури гинуть від посухи або дають вкрай низькі врожаї. Просо – страхова культура. Навіть у несприятливі роки врожайність проса була 10 ц/га і більше.

Просо – світлолюбна рослина; їй необхідно накопичити велику кількість органічної речовини за короткий період вегетації. За даними професорів А.А. Наливкіна та П.П. Вавілова, вона добре відгукується на поліпшення світлового режиму при направленні рядків посіву з півночі на південь і підвищує урожай на 6-10 %. Найвища інтенсивність фотосинтезу відзначається в період від початку наливу зерна до повної стиглості. Тому похмура погода в другу половину вегетації пригнічує просо та значно затягує період вегетації. Затінення рослин при загущенні або засміченні посівів також погано переноситься просом. Це типова рослина короткого дня. У міру наближення до північної межі його вирощування вона значно подовжує період вегетації, який при більш пізніх термінах сівби, а особливо при пожнивних посівах значно (на 15-20 днів) скорочується.

Просо відноситься до теплолюбних рослин та до рослин короткого дня. Хоча насіння починає повільно проростати при температурі 6-8 °С, найбільш сприятливою температурою для вегетації проса слід вважати 18-24 °С. Тому просо належить до числа культур щодо пізніх термінів сівби. У той же час із-за малих розмірів насіння вимагає дрібного закладення та не виносе просихання поверхневих шарів ґрунту, що може трапитися при запізненні з сівбою. Вегетаційний період різних сортів коливається від 60 до 120 днів.

Настання стійких температур ґрунту близько 12-15 °С відзначається на початку травня. Температура повітря та ґрунту порівняно швидко наростає, чим забезпечується дружна поява сходів і нормальний розвиток рослин.

Якщо в період проростання температура знижується до 8-9 °С, сходи з'являються тільки через 15-18 днів. Сходи витримують заморозки незначні до мінус 2 °С, а при мінус 3,5 °С в більшості гинуть або сильно пошкоджуються. Дуже шкідливою для сходів проса є тривала дія низьких позитивних температур (6-10 °С) і хмарна погода. У рослині при цьому різко знижується фотосинтез, що може призвести до її загибелі [6].

У наступні фази потреба проса в теплі також висока. Температурами, сприятливими для росту, є: сходи – кушніння 18 °С, кушніння – викидання 20 °С, викидання – цвітіння 23 °С і цвітіння – дозрівання 21 °С.

Сума ефективних температур для ранньостиглих сортів проса приблизно 1500 °С, середньостиглих – понад 1600 °С, а в прохолодні та вологі роки більше 2000 °С.

Сума активних температур за період вегетації у проса вища, ніж у хлібів першої групи (1800-2100 °С). Захоплене заморозками (пізніх термінів сівби), воно дає морозобійне зерно, яке погано зберігається.

Високі температури просо переносить краще, ніж інші хліба. Це пояснюється тим, що його продихові клітини зберігають регулюючу здатність навіть при температурі 38-40 °С протягом 48 годин, у той час як в озимій пшениці параліч клітин настає вже через 15-25 год, а у вівса – через 4-5 год (за даними В.П. Зеленського).

До вологи просо менш вимогливе, ніж інші хліба. Для проростання його насінню потрібно води всього 25 % їх маси. Транспіраційний коефіцієнт дорівнює 200-250. Коренева система має велику вбирну силу та здатна витягувати з ґрунту вологу навіть при її утриманні, близькій до півтора гігроскопічності. П.П. Вавілов відносив просо до найбільш посухостійких сільськогосподарських культур.

Посухостійкість його пояснюється здатністю тимчасово припиняти ріст (на термін посухи впадає як би в стан анабіозу), згортати листя і розстилати надземну частину по землі, що зменшує випаровування вологи.

Просо краще переносить посуху в період від появи сходів до виходу в трубку. Період від кінця кушніння до утворення зерна – критичний для проса за потребою у волозі: проходять відповідальні етапи органогенезу. Чим краще рослини

забезпечені вологою та поживними речовинами в цей час, тим вищий урожай.

Просо дуже добре використовує опади, що випадають у другій половині літа, коли для хлібів першої групи вони вже майже марні.

Рослини проса економно використовують вологу. Для проростання насіння достатньо всього 25-30 % води від його маси. Просо здатне формувати вузлові корені при мінімальній вологості ґрунту. Все ж зростання кореневої системи та надземної маси при тривалій посузі (1-1,5 місяці) затримується, на рослинах формуються суцвіття маленьких розмірів, які часто бувають марними. Тому для проса також необхідна достатня кількість вологи в ґрунті, особливо в період формування генеративних органів – приблизно за декаду до викидання волоті.

У проса рідко спостерігається запал зерна, його коренева система добре забезпечує суцвіття водою навіть тоді, коли в ґрунті кількість вологи наближається до метрового запасу. Слід також зазначити, що просо, відрізняючись високою посухостійкістю, інтенсивно підвищує свою продуктивність при зрошенні.

Коренева система проса відзначається недостатньою здатністю до засвоєння поживних речовин, тому воно краще росте на ґрунтах, добре забезпечених легкодоступними сполуками поживних речовин. Кращими ґрунтами для нього є чорноземи та каштанові, причому за сухої погоди високі врожаї проса отримують при вирощуванні на ґрунтах середнього та важкого механічного складу, за умов достатнього зволоження – на легких ґрунтах [6, 8].

Просо дає високі врожаї на землях, багатих органічними речовинами, що мають нейтральну або близьку до неї реакцію ґрунтового розчину (рН сольовий 6,5 або 7,5). Воно не виносить кислих, заболочених, важких суглинних земель. Найкраще під цю культуру відводити структурні, добре аеруємі ґрунти з високим вмістом легко розчинних поживних речовин, чисті від бур'янів, середні та легко суглинкові.

На початку розвитку просо особливо чутливе до нестачі азоту та до кушіння найбільше споживає його (7-8 % загальної потреби) та у зворотньому порядку – калію, кальцію, фосфору. Найбільш інтенсивно рослини використовують поживні речовини в період кушіння – цвітіння. У цей час посилено розростається вегетативна маса та формується волоть, тому достатня забезпеченість проса саме в цих фазах азотом, фосфором і калієм – одне з найважливіших умов формування його високої продуктивності.

Фосфорні та калійні добрива вносять восени

під оранку або зерновими сівалками на глибину 3-4 см до обробітку ґрунту плоскорізами, азотні повною розрахунковою нормою – під передпосівну культивуацію. У рядки з насінням під час сівби необхідно внести гранульовані фосфорні добрива в дозі 10-15 кг/га. Просо – одна з найбільш чутливих культур на цей спосіб внесення добрив. Від застосування рядкового добрива врожай проса стійко підвищується на 2,0-2,6 ц/га, кожен кілограм фосфору оплачується 16-19 кг додаткового зерна.

Внесення частини азотних добрив у вигляді підживлення найбільш доцільно на широкорядних посівах в дозі 15-20 кг/га при першому міжрядному обробітку ґрунту. Використання азоту для пізніх позакореневих підживлень у фазі наливу зерна має сенс лише для підвищення білковості зерна. Вносять їх в дозі 5-10 кг/га на посіви у фазі наливу зерна, поєднуючи з обробітком рослин пестицидами.

На відміну від інших злаків зернових культур споживання елементів живлення просом триває майже до самого дозрівання. При цьому на ранніх етапах розвитку (сходи та кушіння) рослини проса засвоюють азотистих сполук більше, ніж калійних і фосфорних, в період кушіння та цвітіння вони особливо багато споживають калію.

Просо найкраще забезпечується поживними речовинами. Удобрюють просо в основному мінеральними добривами, а гній вносять під попередники. Взагалі вносити гній під просо не варто, так як у складі гною, особливо свіжого, є багато насіння бур'янів. Мінеральні фосфорно-калійні добрива рекомендується вносити під основний обробіток ґрунту в таких дозах: у Поліссі по 60-70 кг/га, Лісостепу по 40-60 кг/га фосфору та калію; в Степу 40-50 кг/га фосфору і 30-40 кг/га калію.

Ефективність видів добрив під просо залежить від типу ґрунту. У південних районах, на звичайному чорноземі та каштанових ґрунтах, найбільше збільшення врожаю дають фосфорні добрива. У лісостепових районах, на сірих лісових ґрунтах і вилуженому чорноземі, найбільш ефективні азотні добрива, потім фосфорні.

Виведення та впровадження у виробництво нових більш продуктивних комплексно-цінних сортів проса є одним з високоефективних і економічно найбільш вигідних шляхів подальшої інтенсифікації сільського господарства, підвищення урожайності, боротьби з хворобами та шкідниками, а також поліпшення якості продукції.

Сільськогосподарському виробництву потрібні нові, більш урожайні, пластичні сорти, здатні

максимально використовувати кліматичні та ґрунтові умови зростання та протистояти крайнім відхиленням метеорологічних факторів. Необхідні сорти, що поєднують високу продуктивність, посухостійкість, холодостійкість, стійкість до вилягання, осипання зерна, ураження сажкою та меланозом, запалу та захопленню зерна, дружність викидання волоті та гарну озерненість, різну скоростиглість, високі технологічні показники якості зерна (крупність, висока вирівняність, високий вихід крупи), високі споживчі якості крупи (скловидність пшона, високий вміст каротиноїдів, яскраво-жовтий колір ядра, високі смакові якості каші), підвищений вміст білка в зерні, легко-засвоюваних його фракцій і незамінних амінокислот, придатність до механізованого збирання [3, 6, 8].

3. ОПИС ОБ'ЄКТІВ І МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Тенденції зміни агрокліматичних ресурсів та агрокліматичних умов формування продуктивності проса розглядалися за різні проміжки часу. Для аналізу використовувалися три сценарії змін клімату: м'який — *CFDL-30* %, помірний — *A1B* та жорсткий — *A2*.

Аналіз тенденції зміни клімату виконано шляхом порівняння даних за кліматичним сценарієм та середніх багаторічних характеристик кліматичних та агрокліматичних показників за три періоди: 1986 – 2005 рр. (базовий період), 2011 – 2030 рр. (I-й сценарний період), 2031 – 2050 рр. (II-й сценарний період).

Для сільськогосподарських культур на фоні зміни кліматичних умов за I-й та II-й періоди та

за вегетаційний період нами були проаналізовані агрокліматичні умови вирощування проса, показники режиму вологозабезпеченості проса та проведена порівняльна характеристика продуктивності проса в умовах зміни клімату за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату *A2* і *A1B* (2011-2030 рр. та 2031-2050 рр.).

4. ОПИС І АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

За умов реалізації сценарію *A2* зміни клімату терміни посіву проса змістяться на більш пізні строки: для I-го періоду на 8 днів, для II-го періоду – на 4 дні (табл. 1). Відповідно, змістяться і строки появи сходів та викидання волоті також на 8 – 4 днів. Повна стиглість настане на 12–5 днів пізніше, а тривалість вегетаційного періоду посів – повна стиглість для I-го періоду зменшиться на 4 дні, а для II-го збільшиться на 1 день.

За сценарієм *A1B* посів проса буде відбуватися в дещо пізніші терміни (табл. 1). Так, посів буде проходити у другій декаді травня, що порівняно з базовим пізніше на 12 днів у I-й період і на 10 днів у II-й період. Відповідно, змістяться і терміни появи сходів на 13-11 днів та викидання волоті на 12-9 днів. Повна стиглість також буде відповідно відбуватися пізніше на 12 і 7 днів, а саме 9 та 4 серпня.

За умовами сценарію *A2* період посів – викидання волоті буде проходити при підвищеній температурі на 0,1 °C у I-й період і зниженій на 0,6 °C у II-й період (табл. 2). Зменшиться сума опадів на 20 мм у I-й період і на 39 мм у II-й період.

Таблиця 1 – Фази розвитку проса за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату *A2* та *A1B* (2011-2030 рр. та 2031-2050 рр.) в Південному Степу

Період	Посів	Сходи	Викидання волоті	Повна стиглість	Тривалість вегетаційного періоду, дні
A2					
1986-2005	6.05	18.05	30.06	28.07	71
2011-2030	14.05	26.05	8.07	9.08	75
Різниця	+8	+8	+8	+12	-4
2031-2050	10.05	22.05	4.07	2.08	72
Різниця	+4	+4	+4	+5	+1
A1B					
1986-2005	6.05	18.05	30.06	28.07	71
2011-2030	18.05	31.05	12.07	9.08	70
Різниця	+12	+13	+12	+12	-1
2031-2050	16.05	29.05	9.07	4.08	67
Різниця	+10	+11	+9	+7	-4

Таблиця 2 - Агрокліматичні умови вирощування проса за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату А2 та А1В (2011-2030 рр. та 2031-2050 рр.) в Південному Степу

Період	Період сходи – викидання волоті			Період викидання волоті – повна стиглість			Весь вегетаційний період		
	середня температура, °С	сума температур, °С	сума опадів, мм	середня температура, °С	сума температур, °С	сума опадів, мм	середня температура, °С	сума температур, °С	сума опадів, мм
A2									
1986 – 2005	19,2	825	85	22,8	639	54	20,6	1464	139
2011 – 2030	19,1	821	65	21,5	691	35	20,2	1512	100
Різниця	+0,1	-4	-20	-1,3	+52	-19	-0,4	+48	-39
2031-2050	18,6	798	46	22,2	643	38	20,0	1441	84
Різниця	-0,6	-27	-39	-0,6	+4	-16	-0,6	-23	-55
A1B									
1986 – 2005	19,2	825	85	22,8	639	54	20,6	1464	139
2011 – 2030	19,4	813	36	23,0	645	35	20,1	1458	71
Різниця	+0,2	-12	-49	+0,2	+6	-19	-0,5	-6	-68
2031-2050	19,6	804	36	24,0	623	28	20,1	1403	64
Різниця	+0,4	-21	-49	+1,2	+16	-26	-0,5	-61	-75

За умовами сценарію А2 період посів – викидання волоті буде проходити при підвищеній температурі на 0,1 °С у I-й період і зниженій на 0,6 °С у II-й період (табл. 2). Зменшиться сума опадів на 20 мм у I-й період і на 39 мм у II-й період.

Дещо зниженим буде і температурний режим в період викидання волоті – повна стиглість на 1,3 і 0,6 °С, сума опадів в цей міжфазний період знизиться на 19-16 мм. В цілому, за весь період вегетації проса ріст і розвиток будуть проходити на фоні знижених температур.

За весь вегетаційний період спостерігається зниження температури на 0,4-0,6 °С та зменшення суми опадів на 39 і 55 мм.

За умовами сценарію А1В в період від посіву до викидання волоті ріст та розвиток проса буде відбуватись в I-й і в II-й періоди при підвищеному на 0,2 та 0,4 °С температурному режимі (табл. 2).

Кількість опадів в I-й та в II-й періоди зменшиться на 49 мм (до 36 мм в порівнянні з базовим періодом (85 мм)).

В період викидання волоті – повна стиглість в I-й період температура повітря буде дещо вищою від базового періоду (на 0,2 °С у I-й період та 1,2 °С у II-й період). Кількість опадів у цей міжфазний період для I-го періоду зменшиться на 19 мм в порівнянні з базовим періодом, а для II-го періоду буде характерним зменшення кількості опадів на 26 мм від кількості опадів базового періоду.

За вегетаційний період температурний режим буде зниженим у I-й та II-й періоди на 0,5 °С, а кількість опадів буде зменшена на 68 і 75 мм (табл. 2).

Водний режим посівів дещо погіршиться (табл. 3).

За сценарієм А2 за міжфазний період сходи – викидання волоті знизиться сумарне випаровування в порівнянні з базовим (91 мм) до 85 мм у I-й період і до 79 мм у II-й період. Сумарна випаровуваність знизиться на 4 мм у I-й період, а у II-й період підвищиться на 10 мм.

За міжфазний період викидання волоті – повна стиглість сумарне випаровування зменшиться в I-й та II-й періоди на 11-18 мм. Сумарна випаровуваність в I-й період збільшиться на 15 мм, а в II-й – залишиться незмінною, порівняно з базовим періодом.

Вологозабезпеченість посівів проса буде зниженою протягом всього періоду вегетації на 4 і 6 відн.од. В міжфазний період сходи – викидання волоті вологозабезпеченість погіршиться на 1 і 5 відн.од та за період викидання волоті – повна стиглість – на 6 і 8 відн.од.

За сценарієм А1В за міжфазний період сходи – викидання волоті сумарне випаровування знизиться до 66 (I-й період) та 69 мм (II-й період) в порівнянні з базовим періодом (91 мм). Сумарна випаровуваність у I-й період збільшиться до 274 мм, а в II-й знизиться до 265 мм в порівнянні з базовим періодом (272 мм).

Такі умови зволоження погіршать умови вологозабезпеченості посівів. В період сходи – викидання волоті вони зміняться від 0,33 відн.од до 0,24–0,26 відн.од. Трохи більшим зменшення буде в період викидання волоті – повна стиглість: від 0,29 відн.од до 0,19–0,20 відн.од. За весь вегетаційний період зменшиться на 9 і 8 відн.од. порівняно з базовим періодом (0,31 відн.од.) (табл. 3).

Під впливом зміни агрокліматичних умов вирощування проса, які розглянуто вище, відбудеться зміна показників фотосинтетичної продуктивності культури, до яких в першу чергу відноситься площа асимілюючої поверхні посівів.

Як видно з даних рис. 1 (сценарій А2), в І-й та ІІ-й періоди буде спостерігатися ріст площі листкової поверхні за базовий та за сценарні періоди в 4 – 5-ту декади вегетації.

Таблиця 3 – Порівняння показників режиму вологозабезпеченості проса за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату А2 та А1В (2011-2030 рр. та 2031-2050 рр.) в Південному Степу

Період	І період сходи – викидання волоті				ІІ період викидання волоті – повна стиглість				Вегетаційний період
	Сумарне випаровування, мм	Сумарна випаровуваність, мм	Дефіцит вологи у ґрунті, мм	Вологозабезпеченість, відн. од.	Сумарне випаровування, мм	Сумарна випаровуваність, мм	Дефіцит вологи у ґрунті, мм	Вологозабезпеченість, відн. од.	
А2									
1986-2005	91	272	181	0,33	66	228	162	0,29	0,31
2011-2030	85	268	183	0,32	55	243	188	0,23	0,27
Різниця	-6	-4	+2	-1	-11	+15	+26	-6	-4
2031-2050	79	282	203	0,28	48	228	180	0,21	0,25
Різниця	-12	+10	+22	-5	-18	0	+1	-8	-6
А1В									
1986-2005	91	272	181	0,33	66	228	162	0,29	0,31
2011-2030	66	274	208	0,24	44	232	198	0,19	0,22
Різниця	-25	+4	+47	-9	-22	+4	+26	-10	-9
2031-2050	69	265	196	0,26	43	216	173	0,20	0,23
Різниця	-22	-7	+15	-7	-23	-12	+11	-9	-8

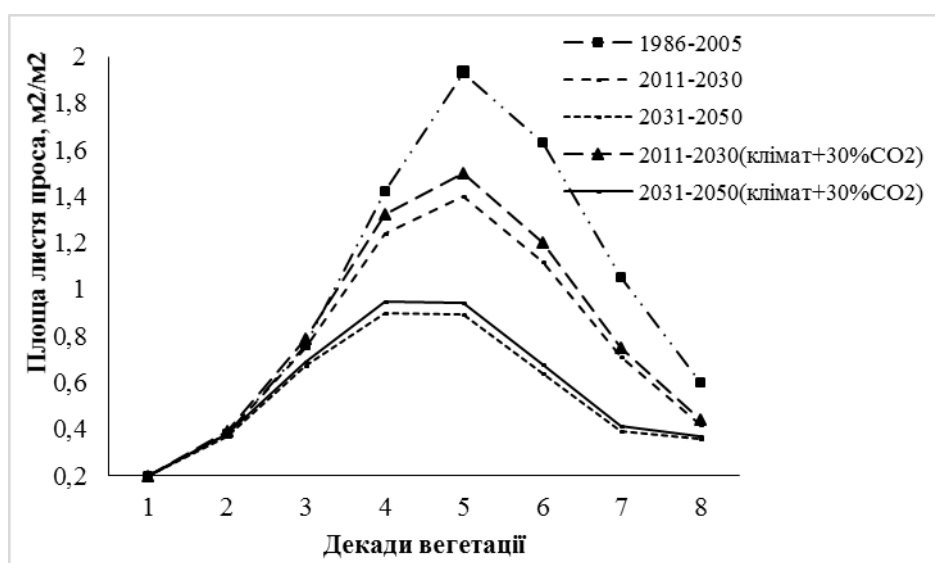


Рис. 1 – Динаміка площі листя проса в Південному Степу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату А2 (2011-2030 рр.) та (2031-2050 рр.).

Максимальне значення площі листкової поверхні за базовий період складає $1,93 \text{ м}^2/\text{м}^2$, а за I-й та II-й періоди – $1,4$ – $0,89 \text{ м}^2/\text{м}^2$. При зростанні вмісту CO_2 в атмосфері площа листкової поверхні в період її максимального розвитку зменшиться з $1,93$ до $1,5$ – $0,94 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

За сценарієм зміни клімату A1B (рис. 2) максимальне значення площі листкової поверхні за базовий період спостерігається в п'ятій декаді вегетації і становить $1,93 \text{ м}^2/\text{м}^2$. У I-й та II-й періоди максимальне значення спостерігається в четверту декаду вегетації і складає $0,5$ $\text{м}^2/\text{м}^2$, $0,79 \text{ м}^2/\text{м}^2$. При зростанні вмісту CO_2 в атмосфері площа листкової поверхні в період її максимального розвитку зменшиться з $1,93$ до $0,52$ – $0,8 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

Фотосинтетичний потенціал за умовами ре-

лізації сценарію A2 (рис. 3) за базовий період, за I-й і II-й періоди, та за умов збільшення CO_2 максимального значення здобуває в кінці вегетаційного періоду.

Так, за базовий період максимальне значення фотосинтетичного потенціалу складає $77,3 \text{ м}^2/\text{м}^2$, у I-й та II-й періоди знижується до $61,5$ - $47,6 \text{ м}^2/\text{м}^2$. За умов збільшення CO_2 максимальне значення знижується до $65,3$ - $43,4 \text{ м}^2/\text{м}^2$. За умов реалізації сценарію зміни клімату A1B (рис. 4) фотосинтетичний потенціал також здобуває максимального значення в кінці вегетаційного періоду і становить у I-й та II-й періоди $25,2$ - $35,4 \text{ м}^2/\text{м}^2$. За умов збільшення CO_2 максимальне значення знижується до $25,3$ - $22,2 \text{ м}^2/\text{м}^2$ порівняно з базовим періодом ($77,3 \text{ м}^2/\text{м}^2$).

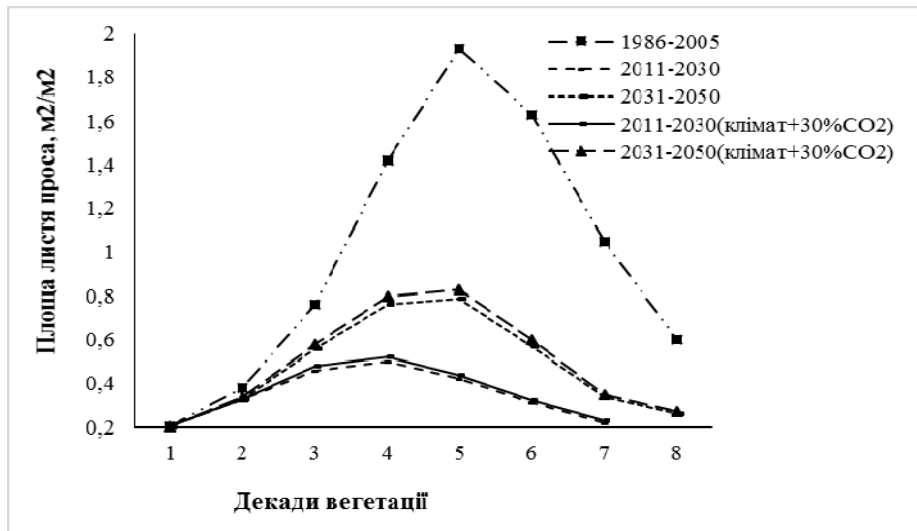


Рис. 2 – Площа листя проса в Південному Степу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату A1B (2011-2030 рр.) та (2031-2050 рр.).

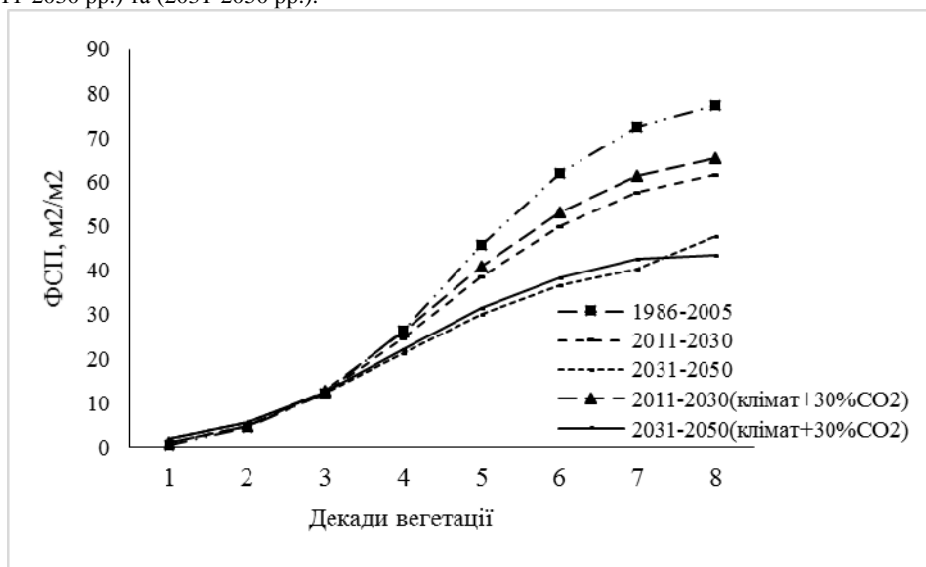


Рис. 3 – Фотосинтетичний потенціал в Південному Степу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату A2 (2011-2030 рр.) та (2031-2050 рр.).

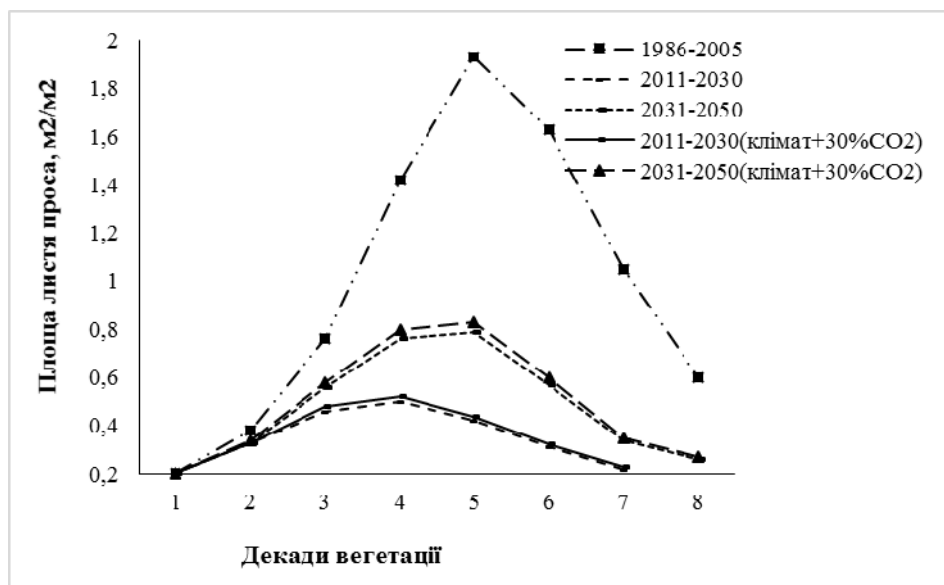


Рис. 4 – Фотосинтетичний потенціал в Південному Степу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату А1В (2011-2030 рр.) та (2031-2050 рр.).

5. ВИСНОВКИ

Таким чином, за умов реалізації сценарію зміни клімату А2 і А1В виконана оцінка впливу зміни клімату на продуктивність проса. Встановлені оптимальні агрометеорологічні та агрокліматичні умови, при яких спостерігається максимальна продуктивність сівби проса. Проведено порівняння показників фотосинтетичної продуктивності проса за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату (2011-2030 рр.), (2031-2050 рр.).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Агрокліматичний довідник по території України / За ред. Т.І. Адаменко, М.І. Кульбіді, А.Л. Прокопенко. — Кам'янець-Подільський, 2011. — 107 с.
- Зінченко О.І. Рослиництво : Підручник / О.І. Зінченко, В.Н. Салатенко, М.А. Білоножко — К.: Аграрна освіта, 2001. — 291 с.
- Івані Жужанна. Підвищення стійкості до зміни клімату сільськогосподарського сектору Півдня України / Жужанна Івані. — Сентендре, Угорщина, жовтень, 2015. - С. 5-7.
- Корзун О.С. Возделывание просовидных культур в Республике Беларусь: [монография] / О.С. Корзун, Анохина Т.А., Кадыров Р.М., Кравцов С.В. — Гродно: ГГАУ, 2011. — С. 6.
- Польовий А.М. Оцінка впливу змін клімату на зміни агрокліматичних ресурсів Луганського регіону, умови росту та продуктивність сільськогосподарських культур і природної рослинності. Рекомендації щодо адаптації до цих змін : звіт / А.М. Польовий — Одеса, 2012. — 7 с.
- Просвиркина А.Г. Агрометеорологические условия и продуктивность проса / А.Г. Просвиркина. — Л.: Гидрометеоиздат, 1987. — С. 15-23.
- Степаненко С.М. Зміни режиму опадів в Україні: Агроекологічний журнал №2 / С.М. Степаненко, А.М. Польовий, О.С. Дем'янюк, О.О. Дронова. — Київ, 2014. — 10 с.
- Стрижова Ф.М. Растениеводство: [учебное пособие] / Ф.М. Стрижова, Л.Е. Царева, Ю.Н. Титов. - Барнаул: Изд-во АГАУ, 2008. 79-87 с.

REFERENCES

- Adamenko T.I., Kul'bida M.I., Prokopenko A.L. (Eds). *Ahroklimatychnyy dovidnyk po terytorii' Ukrainy* [An agroclimatic reference book for territories of Ukraine]. Kamyanets-Podilsk, 2011. 107 p.
- Zinchenko O.I., Salatenko V.N., Bilonozhko M.A. *Roslynnytstvo* [Crop]. Kiev: Agricultural education, 2001. 291 p.
- Ivani Zhuzhanna. *Pidvyshchennya stiykosti do zminy klimatu sil'skohospodars'koho sektoru Pivdnya Ukrainy* [Increased resistance to climate change agricultural sector of the South Ukraine]. Sentendre, Hungary, October, 2015, pp. 5-7.
- Korzun O.S., Anokhina T.A., Kadyrov R.M., Kravtsov S.V. *Vozdelyvanie prosovidnykh kul'tur v Respublike Belarus'* [The cultivation of millet crops in the Republic of Belarus]. Grodno: GGAU, 2011, p. 6.
- Pol'ovyy A.M. *Otsinka vplyvu zmin klimatu na zminy ahroklimatychnykh resursiv Luhans'koho rehionu, umovy rostu ta produktyvnist' sil'skohospodars'kykh kul'tur i pryrodnoyi roslynnosti. Rekomendatsiyi shchodo adaptatsiyi do tsykh zmin* [Assessing the impact of climate change on changes in agroclimatic resources of Lugansk region, the conditions of growth and productivity of crops and natural vegetation. Recommendation to adapt to these changes]. Odessa, 2012. 7 p.
- Prosvirkina A.G. *Agrometeorologicheskie usloviya i produktyvnost' prasa* [Agrometeorological conditions and productivity of millet]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1987, pp 15-23.
- Stepanenko S.M., Pol'ovyy A.M., Demianiuk O.S., Dronova O.O. *Zminy rezhymu opadiv v Ukraini* [Changes in the precipitation regime in Ukraine]. Kiev, 2014. 10 p.
- Strizhova F.M., Tsareva L.E., Titov Yu.N. *Rastenievodstvo* [Crop]. Barnaul: ASAU Publ., 2008. 79-87 p.

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ВЫРАЩИВАНИЯ ПРОСА В ЮЖНЫХ ОБЛАСТЯХ УКРАИНЫ В СВЯЗИ С ИЗМЕНЕНИЕМ КЛИМАТА

Н.В. Данилова, канд. геогр.н

*Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, natalia021282@mail.ru*

Рассматриваются изменения агроклиматических ресурсов и агроклиматических условий формирования продуктивности проса за различные промежутки времени. Анализ тенденции изменения климата выполнено путем сравнения данных по климатическим сценариям А2 и А1В и средних многолетних характеристик климатических и агроклиматических показателей. Проведена сравнительная характеристика продуктивности проса в условиях изменения климата по средним многолетним данным (1986-2005 гг.) и по сценариям изменения климата А2 и А1В (2011-2030 гг. и 2031-2050 гг.).

Ключевые слова: просо, изменение климата, температура воздуха, осадки, влагообеспеченность.

ASSESSMENT OF CHANGES OF AGRO-CLIMATIC CONDITIONS FOR CULTIVATION OF MILLET IN THE SOUTHERN REGIONS OF UKRAINE RESULTED FROM CLIMATE CHANGE

N.V. Danilova, Cand. Sci. (Geogr.)

*Odessa State Environmental University
15, Lvivska St., 65016 Odessa, Ukraine, natalia021282@mail.ru*

The signals of global warming are now being observed throughout the world. Data of hydro-meteorological centres show a significant increase of temperature in many regions accompanied by intense frequency of dry periods. Some substantial and direct effects of climate change may be already noticed at present time. Over the next several decades they will be observed in agriculture. Increase of temperature and reduction of precipitation volumes will probably lead to decrease the level of yield. These changes can significantly affect the global food security. Ukraine is known for its fertile soil and agricultural products, so it has a huge agricultural potential, contributing, in fact, to the global food security. However, the observed weather changes, increase of average temperature and uneven distribution of rainfalls can result in sharp transformation of most of agricultural and climatic zones of Ukraine. According to international processes there is an urgent need for improvement of adaptation to climate change of some branches of national economy of Ukraine, including of agriculture.

Expanding the range of types of millet used in agricultural production is an economically feasible process that should be implemented in view of significant climate changes resulting in global warming which is widely discussed in scientific literature. Rapid introduction in crop shifts of the millet that is able to withstand recurring periodic droughts, especially in the southern regions, is one of the ways allowing to overcome the consequences of such extreme conditions.

Conditions of the southern regions are favourable for millet crop. Millet is one of the most drought-resistant and heat-resistant crops that can sustain heat injuries and seizures and this is very important for arid areas during dry years, when other crops significantly reduce the level of yield.

We studied changes of agro-climatic resources and agro-climatic conditions for formation of millet productivity for various periods of time. The analysis of climate change trend was performed through comparing of data as per climatic scenarios А2 and А1В and of average long-term characteristics of climatic and agro-climatic indicators. The comparative description of millet productivity under the conditions of climate change as per average long-term data (1986-2005) and as per scenarios А2 and А1В of climate change (2011-2030 and 2031-2050) was also performed.

Keywords: millet, climate change, air temperature, precipitation, moisture availability.

*Дата першого подання: 11.05.2016
Дата надходження остаточної версії: 26.05.2016
Дата публікації статті: 04.07.2016*

УДК 631.483

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ВСХОДОВ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

Полевой А.Н.¹⁾, д. геогр. н., профессор,
Синицына В.В.²⁾

¹⁾Одесский государственный экологический университет
ул. Львовская, д. 15, 65016, Одесса, Украина, apolevoy@te.net.ua,
²⁾victoria.sinitsyna@gmail.com

Рассматривается процесс прорастания семян и формирования всходов зерновых культур, обусловленные факторами окружающей среды. Описано влияние температуры и влажности почвы на скорость протекающих в семени процессов, а также на появление всходов при разной плотности почвы.

Ключевые слова. Семя, эндосперм, зародыш, проросток, колеоптиль, гидролиз, дыхание, белок, углеводы, плотность почвы, всходы.

1. ВВЕДЕНИЕ

Первым критическим периодом для растений является развитие от посева до всходов. От того, при каких условиях проходит этот период, зависит всё дальнейшее вегетативное и репродуктивное развитие и, в конечном итоге, формирование урожая. Математическое описание и моделирование процесса прорастания семян дает возможность получения данных о сроках появления всходов, оценки качества и полноты всходов и их прогнозирования. В существующих моделях типа «погода – урожай» период от посева до всходов представлен как блок (или субмодель). Поэтому от адекватности результатов работы этого блока зависит точность прогнозирования всего последующего вегетационного периода.

Целью исследования является рассмотрение существующих подходов к моделированию периода от посева до всходов зерновых культур, моделирование процессов, происходящих в семени при прорастании под воздействием факторов среды, формирования всходов, описание структуры разработанной модели периода посев – всходы, а также результатов проведенных численных экспериментов.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проблема моделирования и прогнозирования урожайности в той или иной степени рассматривается многими учеными всех стран с развитым сельским хозяйством. На сегодняшний день известно большое количество моделей развития и формирования

продуктивности различных сельскохозяйственных культур. В большинстве этих моделей ранние этапы развития растений практически не рассматриваются или же существуют как составные блоки моделей «погода – урожай», но выделяются и некоторые самостоятельные модели.

Модели учитывают широкий спектр факторов окружающей среды, влияющих на прорастание, хотя существуют и более простые модели, учитывающие влияние лишь нескольких факторов. Такие модели являются удобными в применении, но порой уступают в точности многофакторным моделям. Однако, нельзя однозначно сказать, какие из них лучше применять на практике, каждая из них имеет свои, присущие ей преимущества и недостатки.

В качестве входной информации модели обычно используют параметры почвы (ее влажность, температуру, водной потенциал, плотность и т.п.) и характеристики посевного материала (масса и размеры семени, содержание влаги в семени, его водный потенциал, проницаемость оболочек семян и т.д.). Результатом расчетов моделей являются сроки и полнота появления всходов.

А.Н. Полевому, М.А. Строгановой и А.И. Коровину [8, 10] в созданной модели удалось подробно описать физиолого-биохимические процессы в семени в период от посева до появления всходов. Модель состоит из блоков, описывающих каждый из этих процессов. Поскольку гидролиз, дыхание и последующий рост регулируются влажностью семян, поэтому в начальном блоке модели учтена также скорость накопления влаги

(dm/dt) , которая рассматривается как состоящая из фаз простой диффузии и осмоса; она представлена уравнением

$$\frac{dm}{dt} = \begin{cases} c(m_s - m) & \text{при } m_0 \leq m < m_{crit}^1 \\ k_w A(\psi^{out} - \psi^{in}) & \text{при } m_{crit}^1 \leq m < m_{crit}^2 \end{cases}, \quad (1)$$

где m – количество поглощенной воды в момент t ; c – коэффициент скорости набухания; m_s – максимальное количество воды, которое может быть поглощено путем диффузии; k_w – коэффициент проницаемости; A – коэффициент, характеризующий размеры семени; ψ^{out}, ψ^{in} – водные потенциалы почвы и семян; m_0 – содержание влаги в семени при посеве; m_{crit}^1, m_{crit}^2 – критические значения влажности, определяющие начало гидролиза и время прорастания семян.

Упрощенные модели ранних этапов развития зерновых рассматривают динамику процессов, происходящих в семенах, как перераспределение масс между запасными и растущими органами. В таком случае учитывается только физика процесса прорастания.

Модель В.Н. Павловой [6] описывает набухание зерновки следующим образом

$$\theta^{j+1} = \theta^j + \delta_w \xi(T) \eta(j) (\theta_s - \theta^j), \quad (2)$$

где θ – влажность зерна в j -е и $(j+1)$ -е сутки; δ_w – единичная функция, равная единице в диапазоне доступной влаги и нулю – вне этого диапазона; $\xi(T), \eta(j)$ – функции, учитывающие влияние окружающей среды; θ_s – влажность зерна, при которой семя наклеивается. Расчет ведется пока $\theta^{j+1} \leq \theta_s$.

Динамику массы зерновки, корня и побега согласно Павловой можно описать следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} m_s^{j+1} = m_s^j - (m_s^j R_0 \varphi_r + \Delta m_s^j), \\ m_h^{j+1} = m_h^j + \alpha_h(T, W) \Delta m_s^j, \\ m_r^{j+1} = m_r^j - m_h^{j+1}, \end{cases} \quad (3)$$

где m_p ($P \in S, h, r$) – масса органа в j -е и $(j+1)$ -е сутки; R_0 – коэффициент дыхания поддержания; φ_r – температурный коэффициент дыхания; $\alpha_h(T, W)$ – доля питательных веществ, направленных на рост; Δm_s^j –

изменение массы зерна за j -е сутки.

Модель прорастания и формирования всходов также предложил В.С. Антоненко [1]. В ней учтены водные потенциалы семян и почвы, гидролиз запасных веществ и дыхание зерновки и проростка. Скорость гидролиза ($dm_{сем}^{зудр}/dt$) в модели описана с учетом влияния температуры почвы на глубине заделки семян, которое учитывается с помощью функции $k_{сем}(T_n)$

$$\frac{dm_{сем}^{зудр}}{dt} = K_{сем}^{зудр} m_{сем} k_{сем}(T_n), \quad (4)$$

где $K_{сем}^{зудр}$ – коэффициент скорости гидролиза; $m_{сем}$ – масса семени.

Расходы на дыхание семян ($dR_{сем}/dt$) здесь представлены в виде уравнения

$$\frac{dR_{сем}}{dt} = c_m m_{сем} Q_R(T_n), \quad (5)$$

где c_m – коэффициент затрат дыхания поддержания; $Q_R(T_n)$ – функция влияния температуры почвы на интенсивность дыхания семян. Часть питательных веществ, оставшихся после затрат на дыхание, является резервом для роста корня и coleoptilya.

О.А. Немченко и Л.И. Мусатенко рассматривают рост и метаболизм растений на ранних этапах органогенеза [4], разделяя их на три основные составляющие: гидролиз запасных веществ и образование фондов, транспорт фондовых веществ в проростки, синтез из них новой структурной фитомассы. Из структурных веществ в модель были включены сложные углеводы и белки. В каждом компартменте выделено два фонда лабильных веществ – фонд углеводов, состоящий из моно- и олигосахаридов, и фонд азота, который состоит из аминокислот.

Поддержание жизнеспособности семян и проростков, включающие белковый обмен, и поддержка ионного градиента на мембранах требует затрат энергии, которые учитываются в модели посредством дыхания поддержки. Затраты энергии, необходимые для создания новой структурной массы, характеризуются здесь дыханием роста.

Согласно [7], динамику роста основных биометрических показателей модели можно описать следующей системой дифферен-

циальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dB_l}{dt} = SHARE \cdot \frac{dB_{st}}{dt}, \\ \frac{dB_r}{dt} = (1 - SHARE) \cdot \frac{dB_{st}}{dt}, \\ L_l = BL_l \cdot B_l, \\ L_r = BL_r \cdot B_r, \end{cases} \quad (6)$$

где B_l , B_r , B_{st} – сухая биомасса побега, корня и всего проростка, L_l , L_r – длина листа и корня, BL_l , BL_r – коэффициент конверсии сухой структурной биомассы в длину для побега и корня.

Алгоритм ростовой регуляции, выраженный с помощью переменной $SHARE$, приобретает значение от 0 до 1. Вся модель разделена на последовательные подмодели: поглощение воды семенами, углеводно-азотного метаболизма, углеводно-азотного взаимодействия в эндосперме, углеводно-азотного взаимодействия в проростке.

В работе [17] был проведен ряд экспериментов по проращиванию семян в закрытом грунте, на основе которых была определена общая бета-функция, описывающая зависимость скорости прорастания GR от температуры T

$$GR = \exp(\mu)(T)\alpha(42 - T)\beta. \quad (7)$$

На основе регрессионного анализа было определено значение параметров бета-функции: $\mu = -8,0166$, $\alpha = 1,80$ и $\beta = 0,72$. Для определения оптимальной температуры T_0 и оптимального значения DDR (уровень ежедневного развития) T_0 (DDR_0) бета-функции были использованы следующие уравнения:

$$T_0 = \frac{\alpha T_c + \beta T_b}{\alpha + \beta}, \quad (8)$$

$$DDR_0 = \exp(\mu)\alpha^\alpha\beta^\beta \left(\frac{T_c - T_b}{\alpha + \beta} \right)^{\alpha + \beta}. \quad (9)$$

Установлено, что при оптимальной температуре скорость прорастания при T_0 составляет около 0,9 относительных единиц в день.

В исследованиях [15] предлагается определять скорость прорастания семян при помощи уравнения

$$CGV = \frac{\sum N_j}{\sum N_j d_j}, \quad (10)$$

где N_j – количество проросших семян за d_j дней после первоначального полива (посадки) и j – номер наблюдения.

CGV изменяется в пределах от 0 до 1. Кроме того, определяется индекс температуры прорастания GTI .

Уровень прорастания при нормальных условиях GR_i^{REF} прямо пропорционален количеству дней после посадки DAP_i

$$GR_i^{REF} = 1 / DAP_i, \quad (11)$$

Время появления всходов (ER_i) рассчитывается по формуле

$$ER_i = ER^{REF} \cdot ETI \cdot EWI, \quad (12)$$

где ER^{REF} – время появления всходов при нормальных условиях; ETI и EWI – функции влияния температуры и осмотического потенциала на продление осевых органов соответственно.

В работе [16] принято отдельно рассматривать состояние покоя семян. Модель основана на предположении, что для начала развития необходимо накопление «термического времени». Для этого рассчитывается сумма эффективных температур согласно уравнению

$$TT_{ar} = (T_s - T_1)t_{ar}, \quad (13)$$

где TT_{ar} – термическое время развития; T_s – накопление температур; T_1 – критический уровень температуры, при котором развитие не происходит; t_{ar} – время, которое требуется для созревания.

Помимо этого, модель рассчитывает потери после начала развития семени из-за изменения водного потенциала среды, это позволяет получить 50 % проросших семян $\psi_{b(50)}$ что, в свою очередь, является линейной функцией TT_{ar} . Уменьшение $\psi_{b(50)}$ за весь период описывается уравнением

$$\psi_{b(50)decrement} = \frac{\psi_{b(50)initial} - \psi_{b(50)final}}{TT_{ar}}. \quad (14)$$

Кроме основных факторов почвы, определяющих прорастание семян, в модели учитывается качество почвенного воздуха.

На взятом за основу принципе накопления температур основаны также и прогнозы наступления фазы всходов зерновых культур.

Прогноз сроков появления всходов для кукурузы был разработан Ю.И. Чирковым [11]. Этот метод прогноза также основан на зависимости скорости развития кукурузы от температуры и влажности почвы с учетом глубины заделки семян. Согласно прогнозу погоды и климатическим данным определяется ожидаемый температурный режим ближайших декад [11]. Далее рассчитывается дата накопления суммы температур

$$D = D_1 + \frac{83 + 7(h - 4)}{K_w(t - 8)}, \quad (15)$$

где D – прогнозная дата появления всходов; D_1 – исходная дата по прогнозу; t – средняя температура почвы, h – глубина заделки семян, K_w – коэффициент учитывающий влажность почвы.

Предложенный Ю.И. Чирковым [11] метод прогноза имеет наиболее высокую оправдываемость при учете условий конкретных хозяйств.

В.П. Дмитренко была получена зависимость между продолжительностью периода посев-всходы и средней температурой на основе экспериментальных данных, в которых было исключено случайное влияние влажности почвы, размер семян и глубина его заделки, а также неточность фенологических наблюдений [2]. Отношение наименьшей продолжительности периода развития к продолжительности при данной температуре отображены с помощью скорости развития растений в относительных единицах и описывает, так называемый, коэффициент полезного действия температуры для развития. Относительная скорость суточного развития при данной температуре η_c равна

$$\eta_c = e^{-\frac{1}{a^2 + bt + c}}. \quad (16)$$

Далее в предложенной методике последовательно складываются значения относительной скорости суточного развития, получают суммарный эффект скорости развития растений в зависимости от температурных условий. Принято считать, что термический режим способствовал наступлению той или иной фазы развития, при прочих равных условиях, если величина суммарного эффекта за некоторый период равна или немногим больше единицы. Этот подход позволяет достаточно точно

прогнозировать дату появления всходов с возможным отклонением в 1-3 дня. Незначительная ошибка значений при сравнении с полевыми данными обусловлена, по мнению автора, неточностью проведения фенологических наблюдений, ведь в большинстве полевых книг приводится глазомерная оценка.

За последние несколько десятилетий был создан ряд математических моделей роста сельскохозяйственных культур, таких как CERES, WOFOST, SUCROS, APSIM, InfoCrop т.п., в которых также частично учитываются ранние этапы развития растений [12].

Механистические модели роста используются для исследования процесса усвоения углерода и прироста биомассы. Большинство моделей применимы только к одному виду растений, например, SOYGRO для бобовых, CERES-Maize для кукурузы, CERES-Wheat для пшеницы, WARM для риса. Известны также универсальные модели SUCROS (Simple and Universal Crop growth Simulator), STICS (Simulateur multIdisciplinaire pour les Cultures Standard), WOFOST. Преимущества механистических моделей – физическая обоснованность и несколько меньшие требования к объемам калибровочных данных по сравнению со статистическими моделями. К недостаткам рассмотренных моделей следует отнести сложность вычислений.

Достаточно распространенной имитационной моделью формирования урожая является разработанная в США CERES-модель (оценка урожая через синтез ресурсов и окружающей среды) для пшеницы и специализированная для кукурузы CERES-Maize [13]. Помимо того, что CERES-Maize дает полный прогноз урожайности, она также описывает основные этапы развития кукурузы, в частности формирование всходов.

Уровень появления листьев X_n в модели CERES определяется согласно следующего уравнения

$$X_n = A \cdot (CUMDDT)^B, \quad (17)$$

где X_n – число листьев в побеге; $CUMDDT$ – совокупный дневной уровень, рассчитанный как сумма разности между средней суточной температурой и эффективной температурой (8°C); A и B – эмпирические коэффициенты, которые

равны 0,0105 и 1,1116 соответственно.

Это уравнение используется и для определения появления первого листа, т.е. для появления всходов.

Несмотря на то, что эта модель была успешно протестирована на основе данных, полученных в различных почвенно-климатических условиях (Канада, США, Бразилия и др.), следует отметить наличие значительных расхождений рассчитанных по модели и фактических дат появления всходов. В большинстве экспериментов в 50 % случаев согласно прогнозу модели всходы должны были появиться через 3 дня после сева, но фактически они наблюдались через 8 дней, как описано в исторических наборах данных [12].

Задержку появления всходов было достаточно сложно смоделировать с помощью модели CERES-Maize. Поэтому в большинстве случаев в качестве даты наступления фазы всходов была установлена фактическая дата появления всходов. Приведенная выше оценка применения модели для расчета даты появления всходов еще раз подчеркивает необходимость разработки модели развития зерновых на ранних этапах, а именно от посева до появления всходов.

Разработка математического метода расчета и оценки условий формирования всходов, их полноты и времени образования расширяет возможности агрометеорологического обеспечения сельского хозяйства, позволяет прогнозировать состояние развития культуры и своевременно принимать решения по ведению хозяйства. Представленная ниже модель нацелена на устранение недостатков и усовершенствование предыдущих моделей периода от посева до появления всходов. Разработка настоящей модели выполнена с учетом достигнутого уровня моделирования формирования всходов с внесением определенных модификаций.

На первом этапе модели описывается только поглощение влаги семенами. Начиная с момента, когда уровень влаги зерновки достиг определенного критического значения (crit 1), начинается также расчет скорости гидролиза запасного белка, крахмала и интенсивность дыхания зародыша и эндосперма. Когда влажность семян достигает следующего критического значения (crit 2), начинается рост проростка (органа прорастающего семени, который в свою очередь состоит из зачатков корешка и ростка) и помимо дыхания зародыша уже учитывается также и дыхание

ростка. На этом этапе прекращается расчет влажности семян.

Далее определяется скорость распределения азота и углерода и накопления сухой массы осевыми органами. Для того, чтобы отметить момент появления всходов, параллельно вычисляется длина ростка. Расчет прекращается, когда длина ростка равна заданной глубине заделки семян. Блок-схема модели представлена на рис. 1.



Рис. 1 - Блок-схема модели формирования всходов зерновых культур.

Попав в почву, семена начинают интенсивно поглощать влагу. Этот процесс происходит благодаря разнице водных потенциалов почвы и семян. Уравнение, описывающее процесс накопления влаги семенами, следующее

$$\frac{dW_s}{dt} = S_s P_s (\psi_{soil} - \psi_s), \quad (18)$$

где dW_s/dt – поток влаги в семени; S_s – поглощающая поверхность семени; P_s – проницаемость оболочки семени; ψ_{soil} – водный потенциал почвы; ψ_s – водный потенциал семени.

Водные потенциалы почвы и семени описываются уравнениями:

$$\psi_{soil} = 1,5 \exp\left(-7,76 \frac{W_{soil} - B3}{PB - B3}\right), \quad (19)$$

$$\psi_s = \frac{R_{const} T_{soil}}{\bar{V}_m} \ln m, \quad (20)$$

где W_{soil} – влажность почвы; $B3$ и PB – влажность завядания и полная влагоемкость почвы соответственно; R_{const} – газовая постоянная; T_{soil} – температура почвы на глубине заделки семени; \bar{V}_m – парциальный молярный объем; m – количество поглощенной воды.

Эмпирическая формула (19) была предложена Сиротенко О.Д [9].

Основными частями семян является эндосперм и зародыш. Известно, что белки поглощают воду значительно интенсивнее, чем углеводы. В составе зародыша преобладает запасной белок, поэтому зародыш набухает быстрее, увеличивает свои размеры и образует определенное заострение, выступающее под оболочкой зерна. Это состояние принято называть «наклёвыванием зерна» [5].

Когда влажность семян достигает определенного первого критического значения, начинается гидролиз запасного белка и крахмала

$$\frac{d(N, C)_{end}^{RES}}{dt} = K_s^{zud} m_s k_s(T_{soil}), \quad (21)$$

где $d(N, C)_{end}^{RES} / dt$ – общая скорость гидролиза запасных веществ эндосперма; K_s^{zud} – коэффициент скорости гидролиза запасных веществ семени; m_s – масса семени; $k_s(T_{soil})$ – функция влияния температуры почвы на глубине заделки семян на скорость гидролиза, которая определяется следующей системой уравнений:

$$k_s(T_{soil}) = \begin{cases} 0,058 + 0,773x_1 + 1,913x_1^2 + 5,400x_1^3 - 3,322x_1^4 & \text{при } T < T_{opt1} \\ 1 & \text{при } T_{opt1} \leq T \leq T_{opt2} \\ -11,47 + 29,87x_2^2 + 5,43x_2^3 & \text{при } T > T_{opt2} \end{cases}, \quad (22)$$

$$x_1 = \frac{T - T_{min}}{T_{opt1} - T_{min}},$$

$$x_2 = \frac{T - T_{opt2}}{T_{max} - T_{opt2}},$$

где T – температура почвы; $T_{min(max)}$ –

минимальные и максимальные значения температуры, при которой начинается и прекращается процесс жизнедеятельности; $T_{opt1, opt2}$ – верхняя и нижняя температурные границы оптимума процесса.

В процессе гидролиза запасной крахмал образует фонды лабильных углеводов, запасной белок – фонды лабильных аминокислот эндосперма. Поэтому скорость образования фондов равна скорости гидролиза запасных веществ эндосперма.

Определить содержание азота и углерода отдельно можно исходя из предположения, что их соотношение в эндосперме остается постоянным и может быть выражено с помощью определенного коэффициента α :

$$\frac{dC_{end}^{RES}}{dt} = \alpha \frac{d(N, C)_{end}^{RES}}{dt}, \quad (23)$$

$$\frac{dN_{end}^{RES}}{dt} = (1 - \alpha) \frac{d(N, C)_{end}^{RES}}{dt}, \quad (24)$$

где dC_{end}^{RES} / dt – скорость гидролиза углерода; dN_{end}^{RES} / dt – скорость гидролиза белка.

Вещества, образующиеся в результате гидролиза, до определенного момента расходуются только на дыхание зародыша и эндосперма. Когда влажность семян достигла следующего критического значения, происходит запуск ростовых процессов в семенах. Начинает развиваться проросток, который состоит из корня и ростка (колеоптиля). С этого момента, помимо дыхания зародыша, начинает учитываться интенсивность дыхания осевых органов. Определить интенсивность дыхания эндосперма dR_{end} / dt можно по формуле, предложенной В.С. Антоненко [1]

$$\frac{dR_{end}}{dt} = R_m m_s Q_R(T_{soil}). \quad (25)$$

Скорость дыхания зародыша dR_e / dt в пересчете на интенсивность дыхания эндосперма определим следуя А.И. Носатовскому [5]

$$\frac{dR_e}{dt} = 10 \frac{dR_{end}}{dt}. \quad (26)$$

Интенсивность дыхания ростка и корня опишем следующими формулами:

$$\frac{dR_{sp}}{dt} = \beta \frac{dN_{end}^{RES}}{dt} Q_R(T_{soil}), \quad (27)$$

$$\frac{dR_r}{dt} = (1 - \beta) \frac{dN_{end}^{RES}}{dt} Q_R(T_{soil}), \quad (28)$$

где dR_{sp} / dt – скорость дыхания ростка;
 dR_r / dt – скорость дыхания корня;
 β – коэффициент распределения запасов белка на дыхание между coleoptilem и корнем;
 $Q_R(T_{soil})$ – функция влияния температуры почвы на интенсивность дыхания семян, которую можно описать следующим уравнением

$$Q_R(T_{soil}) = 2^{0,1(T - T_{opt})}. \quad (29)$$

Оставшиеся после затрат на дыхание питательные вещества используются для роста корня и coleoptilia

$$\frac{dm_{sp(r)}}{dt} = \left(\gamma \frac{dC_{end}^{RES}}{dt} + \eta \frac{dN_{end}^{RES}}{dt} \right) - \frac{dR_{sp(r)}}{dt}, \quad (30)$$

где $dm_{sp(r)} / dt$ – скорость накопления сухой массы ростком (корнем);

γ и η – коэффициенты для пересчета углерода и азота в органическое вещество. На основании проведенных лабораторных экспериментов установлено, что доля coleoptilia в проростке в течении периода от начала роста осевых органов до появления всходов в среднем составляет 40 %.

Coleoptиль представляет собой цилиндр постоянного радиуса на протяжении всего периода. Скорость удлинения coleoptilia, описанная как функция накопления его массы с учетом механического сопротивления почвы, определяется плотностью почвы ρ_{soil} и её влажностью

$$\frac{dH_{sp}}{dt} = \exp\left(\frac{dm_{sp}}{dt} \frac{1}{\rho_{sp}}\right) \frac{1}{\pi r_{sp}^2} k_{sp}(\rho_{soil}) k_{sp}(W_{soil}), \quad (31)$$

где dH_{sp} / dt – скорость удлинения ростка;
 ρ_{sp} – удельная плотность растительной массы ростка;
 r_{sp} – радиус основания ростка;
 $k_{sp}(\rho_{soil})$ – функция влияния плотности почвы на рост ростка;
 $k_{sp}(W_{soil})$ – функция влияния влажности верхних слоев почвы на удлинение ростка.

Принимается, что когда длина ростка H_{sp} становится равной глубине заделки семян, росток достигает поверхности почвы – наблюдаются всходы. Росток прекращает свой рост, а через верхушку coleoptilia появляется первый лист.

Помимо момента появления всходов, необходимо определить полевую всхожесть семян. Уравнение, позволяющее определить эту характеристику, имеет вид [1]

$$k_s^{g.a.} = \frac{W_{0-20}}{a + bW_{0-20}}, \quad (32)$$

где $k_s^{g.a.}$ – коэффициент полевой всхожести семян; W_{0-20} – влажность почвы в пахотном слое; a и b – коэффициенты, определяемые глубиной заделки семян:

$$a = 2,1 + 0,29(H_z)^2, \quad (33)$$

$$b = 1,03 - 0,0127(H_z)^2, \quad (34)$$

где H_z – глубина заделки семян.

Глубина заделки семян может меняться в зависимости от микрорельефа почвы. Согласно модели В.М. Павловой [6], на основе косвенных данных была выбрана функция распределения количества растений с различной глубиной заделки семян

$$P(H_{sp}) = \frac{1}{1,5\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(H_{sp} - H_z^p)^2}{2,25}}, \quad (35)$$

где H_z^p – наиболее вероятная глубина заделки семян.

После определения H_{sp} на каждом шаге определяется вероятностный интеграл функции плотности нормального распределения. Если значение интеграла функции превышает 0,6, то принимается, что наступили массовые всходы.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

Модель была реализована на ПК с помощью программы Microsoft Office Excel. Для идентификации параметров модели была выбрана одна из основных зерновых сельскохозяйственных культур – кукуруза. Большинство начальных параметров были получены в результате проведения эксперимента по проращивания семян кукурузы в лабораторных условиях. Однако, некоторые параметры модели были получены

путем проведения анализа имеющихся в литературе данных, а также за счет оптимизации и ручной подборки численных значений параметров.

Проведен ряд численных экспериментов по исследованию чувствительности модели к изменению параметров окружающей среды во время прорастания семенами. Установлено, что модель чувствительна к изменению температуры на 1 °С, влажности на 1 мм и изменению плотности почвы на 0,1 г/см³. В модели можно варьировать исходные параметры, задавая размер семян и содержание влаги в семени при посеве, изменять тип почвы и ее водно-физические характеристики. В качестве шага во времени выбраны одни сутки. Рассматривался слой черноземной суглинистой почвы толщиной 5 см, ее наименьшая влагоемкость – 10 мм. Оптимальная влажность почвы составляет 8 мм.

Основными агрометеорологическими факторами, влияющими на время появления и полноту всходов, является температура, влажность и плотность почвы. Известно, что процесс появления всходов состоит из двух последовательных фаз: 1) поглощение семенами влаги и их наклеивание, 2) рост побега и достижение им поверхности почвы. Соответственно этим фазам численный эксперимент также был разделен на два этапа: исследование скорости накопления влаги семенами и исследование скорости удлинения coleoptily под воздействием факторов внешней среды.

На первом этапе эксперимента рассматривалось поглощение влаги семенами при различных температурных условиях и увлажнении. При условии, что влажность составляет 7 мм в слое почвы 0–5 см, а температура на протяжении всего периода сохраняется на уровне 22 °С, семена наклеиваются уже за 2 суток (рис. 2). При недостаточной увлажненности этот период составит 3 суток (рис. 3).

С понижением температуры процесс накопления влаги замедляется и может длиться 3–5 суток в пределах оптимального увлажнения почвы и достигать 7 суток – при недостаточном увлажнении. После достижения критического значения влажность семян практически не изменяется.

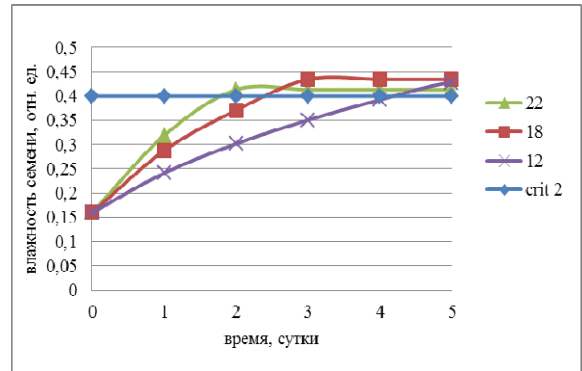


Рис. 2 - Влияние температуры почвы на накопление влаги семенем при условии влажности почвы близкой к оптимальной 7 мм.

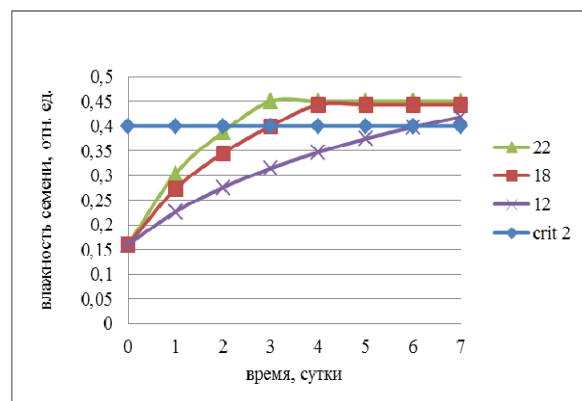


Рис. 3 - Влияние температуры почвы на накопление влаги семенем при условии пониженной влажности почвы 5 мм.

Вторая часть эксперимента рассматривает влияние температуры, влажности и плотности почвы на скорость удлинения coleoptily и появление всходов как следствие процессов прорастания семян.

При условии оптимального увлажнения и оптимальной температуры, лимитирующим фактором при образовании всходов является плотность почвы, а именно: с увеличением плотности почвы увеличивается и время появления всходов. Так, если при минимальном значении плотности 0,8 г/см³ coleoptиль может достигнуть поверхности почвы уже на 5-е сутки после посева, то при плотности в 1,4 г/см³ всходы появятся только через 7 суток (рис. 4).

Следует отметить, что даже при сохранении оптимального увлажнения, с понижением температуры почвы интенсивность прорастания семян также уменьшается. Поэтому при температуре 18 °С всходы появятся через 7–10 суток, а при 12 °С – минимум за 16 суток после посева.

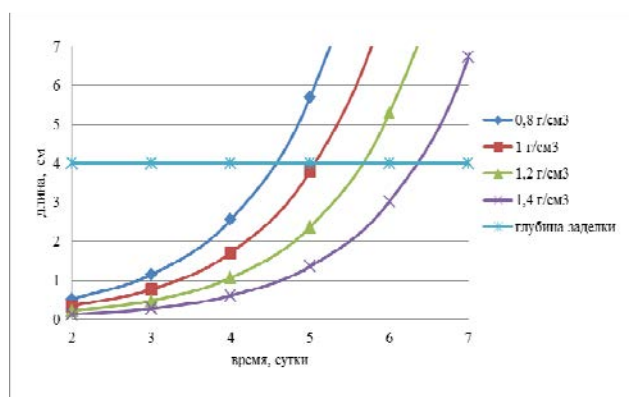


Рис. 4 - Влияние плотности почвы на время появления всходов при условии оптимальной температуры 22 °C и влажности почвы 7 мм.

Несмотря на то, что влажность почвы является одним из основных факторов влияния на скорость прорастания семян, с увеличением влажности до 9 мм время появления всходов практически не изменяется при оптимальной температуре 22 °C и также составляет 5 – 7 суток после посева и 7 – 10 суток при температуре 18 °C. При понижении температуры до 12 °C появление всходов можно ожидать лишь на 15-е сутки. Однако, с уменьшением влажности до 5 мм колеоптиль достигнет высоты слоя глубины заделки семян не ранее 6 суток в условиях оптимальной температуры и наименьшей плотности почвы. При температуре 18 °C это произойдет через 9 – 11 суток, а при температуре 12 °C – через 19 суток.

Кроме того, в условиях недостаточного увлажнения и температуры почвы, близкой к биологическому минимуму культуры, с увеличением плотности почвы возникает угроза гибели растения так и не достигшего поверхности почвы (рис. 5). В этом случае запасы эндосперма будут полностью исчерпаны на рост, росток не успеет выйти на дневную поверхность почвы и в связи с этим не произойдет переключения процесса питания ростка из гетеротрофного на автотрофное для поддержания дальнейшего роста.

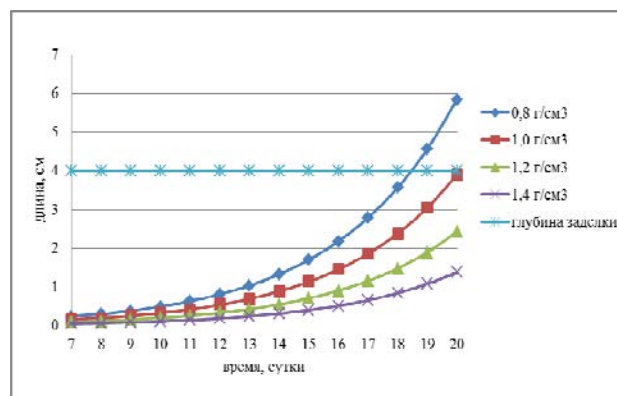


Рис. 5 - Влияние плотности почвы на время появления всходов при условии температуры 12 °C и пониженной влажности почвы 5 мм.

4. ВЫВОДЫ

Разработана динамическая модель формирования всходов зерновых культур, которая позволяет определить дату появления всходов, полевую всхожесть, распределение количества растений с различной глубиной заделки семян и количество растений на единицу площади. Модель описывает динамику поглощения влаги семенами и физиолого-биохимических процессов: гидролиза запасов эндосперма, дыхания, распределения продуктов гидролиза между осевыми органами и их рост.

В численных экспериментах установлено, что в формировании всходов влияние увлажнения почвы наиболее сильно проявляется на этапе поглощения и накопления влаги семенем от посева до запуска ростовых процессов. Установлена высокая чувствительность скорости удлинения колеоптиля к температуре почвы, а также к плотности почвы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРИ

1. Антоненко В.С. Динамическое моделирование роста, развития и формирования продуктивности озимой пшеницы / В.С.Антоненко. – К.: «АртЭк», 2002. – 64 с.
2. Дмитренко В.П. Влияние температуры воздуха на продолжительность периода посев – всходы зерновых культур. / В.П. Дмитренко // Труды УкрНИГМИ. - 1961. - Вып. 22. – 618 с.
3. Оптимизация условий возделывания озимой пшеницы по интенсивной технологии/ [Ковтун И.И., Гойса Н.И., Митрофанов Б.А.]; под ред. И.И. Ковтуна. - Ленинград: Гидрометиздат, 1990. - 288 с.
4. Немченко О.А. Моделирование роста и метаболизма растений на ранних этапах органогенеза / О.А. Немченко, Л.И. Мусатенко // Физиология и биохимия культурных растений. - 1982. - Т. 14, № 5,

- С. 439–445.
5. Носатовский А.И. Пшеница / А.И. Носатовский. - М.: Государственное издательство сельхозлитературы, 1950. - 408 с.
 6. Павлова В.Н. Моделирование ростовых процессов в период прорастания зерна в рамках моделей «погода – урожай» / В.Н. Павлова // Труды ВНИИСХМ. - 1983. - Вып. 8. - С. 28–36.
 7. Моделирование продукционного процесса сельскохозяйственных культур. / [Полуэктов Р.А., Смоляр Э.И., Терлеев В.В., Топаж А.Г.]; за ред. Р.А. Полуэктова; изд-во С.-Петербургского ун-та. - С-П., 2006. - 396 с.
 8. Польовий А.М. Динамічна модель проростання насіння та формування сходів зернових культур / А.М. Польовий // Український гідрометеорологічний журнал. - 2008. - № 3. С. 75–84.
 9. Сиротенко О.Д. Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агроэкосистемы / О.Д. Сиротенко. - Л.: Гидрометиздат, 1981. - 167 с.
 10. Динамическая модель расходования запасов эндосперма семян зерновых культур в процессе прорастания и в период до появления всходов / [Строганова М.А., Коровин А.И., Полевой А.Н.]; за ред. М.А. Строгановой // Сельскохозяйственная биология. - 1983. - № 1. - С. 126–135.
 11. Чирков Ю.И. Агрометеорологические условия и продуктивность кукурузы / Ю.И. Чирков. - Л.: Гидрометиздат, 1969. - 251 с.
 12. Aggarwal P.K. et al. InfoCrop: A dynamic simulation model for the assessment of crop yields, losses due to pests, and environmental impact of agro-ecosystems in tropical environments. I. Model description. *Agricultural Systems*, 2006, no 89, pp. 1–25.
 13. Ben Nouna B. et al. Using the CERES-Maize model in a semi-arid Mediterranean environment. New modelling of leaf area and water stress functions. *Europ. J. Agronomy*, 2000, no 13, pp. 309–322.
 14. Carberry P.S., Muchow R.C., McCown R.L. Testing the CERES-Maize Simulation Model in a Semi-Arid Tropical Environment. *Field Crops Research*, 1989, no 20, pp. 297–315.
 15. David M. Alm et al. An Index Model for Predicting Seed Germination and Emergence. *Weed Technology*, 1993, vol. 7, no. 3, pp. 560–569.
 16. Forcella F. et al. Modeling seedling emergence. *Field Crops Research*, 2000, no. 67, pp. 123–139.
 17. Jame Y.W., Cutforth H.W. Simulating the effects of temperature and seeding depth on germination and emergence of spring wheat. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2004, no 124, pp. 207–218.
 18. Palosuo T. et al. Simulation of winter wheat yield and its variability in different climates of Europe: A comparison of eight crop growth models. *Europ. J. Agronomy*, 2011, no 35, pp. 103–114.
 - the period sowing – germination of grain crops]. *Trudy UkrNIGMI – Proc. UkrSRHMI*, 1961, vol. 22, pp. 618.
 3. Kovtun I.I., Goya N.E., Mitrophanov A.B. *Optimizatsiya usloviy vozdeleyvaniya ozimoy pshenitsy po intensivnoy tekhnologii* [Optimization of the conditions of winter wheat cultivation on intensive technologies]. Leningrad: Gidrometizdat, 1990. 288 p. (Ed.: Kovtun I.I.).
 4. Nemchenko O.A., Musatenko L.I. Modelirovanie rosta i metabolizma rasteniy na rannikh etapakh organogeneza [Modeling growth and metabolism of plants at early stages of organogenesis]. *Fiziologiya i biokhimiya kulturnykh rasteniy. - Physiology and biochemistry of cultivated plants*, 1982, pp. 439–445.
 5. Nosatowski A.I. *Pshenitsa* [Wheat]. Moscow: State publishing house of agricultural literature, 1950. p. 408.
 6. Pavlova V.N. Modelirovanie rostovykh processov v period prorstaniya zerna v ramkakh modeley «pogoda – urozhay» [Modeling of growth processes during the germination of grain in the framework of models "weather – yield"]. *Trudy VNIISHM – Proc. ARRIAM*, 1983, vol. 8, pp. 28–36.
 7. Poluektov R.A., Smolyar E.I., Terleev V.V., Topaj A.G. *Modelirovanie produktsionnogo protsesssa sel'skokhozyaystvennykh kul'tur* [Modeling of production process of agricultural crops] Saint-Petersburg: Publisher Saint-Petersburg University, 2006. p. 396. (Ed.: Poluektov R.A.).
 8. Polevoy A.M. Dinamichna model' prorstannya nasynnya ta formuvannya skhodiv zernovykh kultur [A dynamic model of spending reserves in the endosperm of cereal seeds during germination]. *Ukrains'kij gidrometeorologichnij zhurnal. – Ukrainian hydrometeorological journal*, 2008, no. 3, pp. 75–84.
 9. Sirotenko O. D. *Matematicheskoe modelirovanie vodno-teplovogo rezhima i produktivnosti agroekosistem*. [Mathematical modeling of water and heat regime and productivity of agroecosystems]. Leningrad: Gidrometizdat, 1981. p 167.
 10. Stroganova M.A., Korovin A.I., Polevoy A.M. Dinamicheskaya model' raskhodovaniya zapasov endosperma semyan zernovykh kul'tur v protsesse prorstaniya i v period do poyavleniya vskhodov [A dynamic model of spending reserves in the endosperm of cereal seeds during germination and in the period until germination]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya – Agricultural biology*, 1983, pp. 126–135.
 11. Chirkov Y.I. *Agrometeorologicheskie usloviya i produktivnost' kukuruzy* [Agrometeorological conditions and productivity of corn]. Leningrad: Gidrometizdat, 1969. p. 251.
 12. Aggarwal P.K. et al. InfoCrop: A dynamic simulation model for the assessment of crop yields, losses due to pests, and environmental impact of agro-ecosystems in tropical environments. I. Model description. *Agricultural Systems*, 2006, no 89, pp. 1–25.
 13. Ben Nouna B. et al. Using the CERES-Maize model in a semi-arid Mediterranean environment. New modelling of leaf area and water stress functions. *Europ. J. Agronomy*, 2000, no 13, pp. 309–322.
 14. Carberry P.S., Muchow R.C., McCown R.L. Testing the CERES-Maize Simulation Model in a Semi-Arid Tropical Environment. *Field Crops Research*, 1989, no 20, pp. 297–315.
 15. David M. Alm et al. An Index Model for Predicting Seed Germination and Emergence. *Weed Technology*, 1993, vol. 7, no. 3, pp. 560–569.

REFERENCES

1. Antonenko V.S. *Dinamicheskoe modelirovanie rosta, razvitiya i formirovaniya produktivnosti ozimoy pshenitsy* [Dynamic simulation of growth, development and formation of productivity of winter wheat]. Kiev: "Artek", 2002. 64 p.
2. DMITRENKO V.P. Vliyanie temperatury vozdukh na prodolzhitelnost' perioda posev – vskhody zernovykh kultur [The effect of air temperature on the duration of

16. Forcella F. et al. Modeling seedling emergence. *Field Crops Research*, 2000, no. 67, pp. 123–139.
17. Jame Y.W., Cutforth H.W. Simulating the effects of temperature and seeding depth on germination and emergence of spring wheat. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2004, no 124, pp. 207–218.
18. Palosuo T. et al. Simulation of winter wheat yield and its variability in different climates of Europe: A comparison of eight crop growth models. *Europ. J. Agronomy*, 2011, no 35, pp. 103–114.

МОДЕЛЮВАННЯ ФОРМУВАННЯ СХОДІВ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР

Польовий А.М.¹⁾, д. геогр. н., професор,
Сініцина В.В.²⁾

¹⁾Одеський державний екологічний університет
вул. Львівська, б. 15, 65016, Одеса, Україна, apolevoy@te.net.ua,
²⁾victoria.sinitsyna@gmail.com

Розглядається процес проростання насіння і формування сходів зернових культур, обумовлених чинниками довкілля. Розглядаються існуючі підходи до моделювання цього періоду, моделювання процесів, що відбуваються в насінні при проростанні, формування сходів, описана структура розробленої моделі періоду посів – сходи, а також результати проведених чисельних експериментів.

Представлена модель націлена на усунення недоліків і удосконалення попередніх моделей періоду від посіву до появи сходів. Розробка справжньої моделі виконана з урахуванням досягнутого рівня моделювання формування сходів з внесенням певних модифікацій. Модель враховує як фізичні процеси, що відбуваються в насінні до появи сходів, так і фізіолого-біохімічні процеси, такі як: гідроліз запасів ендосперму, дихання, розподіл продуктів гідролізу між осьовими органами та їх ріст.

Модель реалізована на ПК за допомогою програми Microsoft Office Excel. Проведено ряд чисельних експериментів по дослідженню чутливості моделі до зміни параметрів довкілля під час проростання насіння. Встановлено, що основними агрометеорологічними чинниками, які впливають на час появи і повноту сходів, є температура, вологість та щільність ґрунту. Вплив зволоження ґрунту найсильніше проявляється на етапі поглинання і накопичення вологи насінням від посіву до запуску ростових процесів. За умови оптимального зволоження і оптимальної температури, лімітуючим чинником при утворенні сходів є щільність ґрунту, а саме: зі збільшенням щільності ґрунту збільшується і час появи сходів.

Розроблена динамічна модель дозволяє визначити дату появи сходів, польову схожість, розподіл кількості рослин з різною глибиною закладення насіння і кількість рослин на одиницю площі.

Ключові слова: насіння, сходи, ендосперм, зародок, проросток, колеоптиль, гідроліз, дихання, білок, вуглеводи, щільність ґрунту.

MODELLING OF GRAINS' SHOOTS FORMATION

A.N. Polevoy¹⁾, Dr Sci. (Geogr.), Prof.
V.V. Sinitsyna²⁾

¹⁾ Odessa State Environmental University,
15 Lvivska Str., 65016, Odessa, Ukraine, apolevoy@te.net.ua
²⁾ victoria.sinitsyna@gmail.com.

The processes of seed germination and shoots formation of crops caused by environmental factors are investigated. Also existing approaches to the modelling of this period, modelling of

processes taking place in a seed during its germination, shoots formation are investigated, the structure of the developed model of the period of sowing – rise of shoots is described, as well as the results of numerical experiments.

The specified model is aimed at overcoming the disadvantages and improving previous models of the period of sowing – rise of shoots. Development of this model is based on the achieved level of modelling of shoots formation with introduction of certain modifications. The model takes into account both physical processes taking place in a seed prior to germination of shoots and physiological and biochemical processes such as hydrolysis of endosperm reserves, respiration, distribution of hydrolysis products within axial organs and their growth.

The model is implemented on a PC using Microsoft Office Excel. Many numerical experiments were carried out in order to investigate sensitivity of the model to changes of environmental conditions during germination of seeds. It was found that main agrometeorological factors affecting the time of emergence and completeness of germination are temperature, humidity and soil density. Influence of soil moisture becomes the most apparent at the stage of absorption and accumulation of moisture by a seed starting from sowing to beginning of growth process. Provided that there are optimum moisture and temperature, density of soil appears to be limiting factor affecting shoots formation: if soil density increases duration of shoots emergence increases as well.

Developed dynamic model allows determining the date of shoots emergence, their field germination rate, distribution of particular number of plants of with different depth of seeds covering and a number of plants per particular unit of area.

Key words: seed, shoots, endosperm, germ, seedling, coleoptile, hydrolysis, respiration, protein, carbohydrates, soil density.

Дата першого подання: **12.05.2016**

Дата надходження остаточної версії: **10.06.2016**

Дата публікації статті: **04.07.2016**

УДК 556.161."45".18

ВОДНІ РЕСУРСИ УКРАЇНИ ХХІ СТОРІЧЧЯ ЗА СЦЕНАРІЯМИ ЗМІН КЛІМАТУ (RCP8.5 ТА RCP4.5)

Н.С. Лобода, проф., д.геогр.н., зав. кафедри гідроекології та водних досліджень
Ю.В. Божок, к.геогр.н., асистент кафедри гідроекології та водних досліджень

*Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, julia_bojok@mail.ru*

Установлено основні тенденції зміни водних ресурсів України на основі моделі «клімат-стік» в ХХІ столітті з використанням сценаріїв зміни клімату RCP8.5 та RCP4.5. Показано, що до середини поточного сторіччя передбачається зменшення водних ресурсів рівнинної території України (до 70% на південному сході) та їх стабільність або зростання в географічній зоні Українських Карпат, особливо в басейні р.Тиса. Аналіз змін співвідношення ресурсів вологи та тепла показав посилення посушливості клімату і розширення зони недостатнього зволоження та напіварідної зони.

Ключові слова: водні ресурси, сценарії зміни клімату, модель «клімат-стік», кліматичний стік, прогнози змін водних ресурсів.

1. ВСТУП

Актуальність роботи обумовлена необхідністю прогнозування змін водних ресурсів планети, країн та окремих регіонів з метою вживання своєчасних заходів, які мають запобігати негативним наслідкам змін клімату Землі. Однією із найважливіших задач є передбачення перспектив створення дефіциту прісної води. Україна має нерівномірно розподілені за її територією запаси поверхневих та підземних вод. Нестача водних ресурсів є характерною для степової зони, де для забезпечення потреб людини і господарської діяльності здавна покривалась за рахунок стоку великих річок та експлуатації підземних вод [1]. Розширення зони недостатнього зволоження означає збільшення площі, на якій буде формуватися дефіцит водоспоживання та водовикористання.

Суттєві наслідки кліматичних змін проявляються на протязі останніх десятиріч, починаючи з 1989 р. [9] у вигляді тенденцій до зростання температур повітря, збільшення частоти та інтенсивності небезпечних погодних та гідрологічних явищ, внутрішньорічного перерозподілу стоку, зростанню посушливості клімату та розвитку процесів спустелювання [19]. Указані явища завдають значних економічних збитків, загрожують стабільному існуванню екосистем, а також здоров'ю та життю людей [24].

Вивчення проблеми охорони та раціонального використання водних ресурсів України в умовах змін клімату належить до пріоритетних напрямків державної політики у проведенні соціально-економічних реформ (Постанова Кабінету Міністрів України №468 від 10 квітня 2006 р.

«Про необхідність проведення заходів з метою пом'якшення наслідків зміни клімату»). Прогнозування стану водних ресурсів майбутнього можливе на основі математичного моделювання, у якому використовуються метеорологічні дані сценаріїв змін клімату. Оскільки із кожним роком відбувається деталізація цих сценаріїв, то наукові праці, присвячені питанням виявлення тенденцій змін природних (у тому числі і водних) ресурсів не втрачають своєї актуальності.

Метою даної роботи є надання кількісних оцінок можливих змін водних ресурсів України за сценарієм глобального потепління RCP8.5 на базі моделі «клімат-стік», розробленої в ОДЕКУ [7].

Об'єктом дослідження є водні ресурси України, предметом – кількісні характеристики річного стоку, отримані за моделлю «клімат-стік» з використанням метеорологічних даних кліматичного сценарію RCP8.5.

Робота виконана в рамках науково-дослідної роботи «Оцінка кліматичних ризиків для галузей економіки України в умовах глобальних змін клімату» (№ держреєстрації 0113U000629).

2. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Визначення тенденцій змін водних ресурсів в результаті глобального потепління відбувається двома шляхами: на основі вивчення тенденцій змін характеристик клімату та стоку за даними спостережень, а також на основі математичного моделювання з використанням даних про зміни основних кліматичних чинників формування стоку, які беруться із кліматичних сценаріїв. Перший напрям для території України представ-

лений роботами Вишневецького В.І. [2], Гребіня В.В. [9], Хільчевського В.К. [27], Струтинської В.М. [25], Шакірзанової Ж.Р. [30], Овчарук В.А. [8].

Перші результати оцінок змін водних ресурсів України, виконувалися за прогнозними даними, отриманими за моделями ВМО, для Південної та Східної Європи [36]. В кінці минулого сторіччя використовувалися кліматичні сценарії, в яких містилися матеріали про можливі зміни атмосферних опадів та температур повітря: GISS - модель Інституту Годдарда з космічних досліджень, чутливість до подвоєння двоокису вуглецю CO₂ - 4,2 °С, рік розрахунків – 1982; GFDL - модель Лабораторії геофізичної гідродинаміки США, чутливість до подвоєння CO₂ - 4 °С, рік розрахунків – 1989; CCCM - модель Канадського кліматичного центру, чутливість до подвоєння CO₂ - 3,5 °С, рік розрахунків – 1989; UKMO - модель Метеорологічного бюро Об'єднаного Королівства, чутливість до подвоєння CO₂ - 3,5 °С, рік розрахунків – 1989. Ці сценарії були адаптовані до різних географічних зон України [26]. На їх основі виконувалися оцінки змін стоку з великих водозбірних басейнів (Дніпра, Південного Бугу, Дністра та Дунаю) з метою передбачення екологічного стану Північно-Західної частини Чорного моря [18].

В 2000 р. Міжурядовою групою експертів зі змін клімату було опубліковано «Спеціальну доповідь по сценаріях викидів» (СДСВ) [32], в якій сценарії представлені як результат різних варіантів розвитку та взаємодії демографічних, економічних та науково-технічних факторів, що зумовлюють різні об'єми викидів парникових газів. В цих сценаріях розглядалися чотири сюжетні лінії (A1, A2, B1 і B2) [33]. Дослідження виконані в ОДЕКУ, дозволили установити, що найбільша відповідність фактичних та сценарних метеорологічних даних за ретроспективний період (1953-1989 рр.) на території Північно-Західного Причорномор'я має місце для сценарію M10 з гілки сценаріїв A1B [3]. Саме за цим сценарієм надавалась оцінка водних ресурсів та гідроекологічного стану Куяльницького [4] й Тилігульського [3] лиманів на XXI сторіччя. Дослідження останнього увійшло до міжнародного дослідницького проекту 7-ої Рамкової Програми Європейського Співтовариства «Комплексне управління водними ресурсами і прибережною зоною в Європейських лагунах в умовах змін клімату» (LAGOONS), FP7-ENV-2011 № 283157 (2011-2014 рр.) [31]. Для визначення водних ресурсів Тилігульського лиману у майбутньому при виконанні цієї роботи використовувалися

екогідрологічна модель SWIM [35], розроблена у Потсдамському інституті досліджень впливу клімату (PIK). Недоліком моделі SWIM є вимога до значної щільності розташування кліматичних станцій: не менше однієї станції на 100 км². Невиконання цієї вимоги призводить до значних похибок у розрахунках. За умови використання відкритих електронних ресурсів зарубіжжя у теперішній час розробляються методичні підходи до її застосування [11]. Оцінки змін водних ресурсів України за даними сценаріїв A1B та A2 виконувалися за моделлю «клімат-стік», розробленою в ОДЕКУ [16, 17]. На базі рівняння водного балансу у модифікації, запропонованій польським гідрологом Kaszmarek (1993), проф. Сніжко С.І (Київський Національний Університет імені Тараса Шевченка) за сценарієм A1B (модель REMO) були наведені оцінки змін водних ресурсів України [22], які узгоджуються із даними, отриманими за моделлю «клімат-стік».

У 2013 р. Міжнародна група експертів зі змін клімату опублікувала П'яту «Спеціальну доповідь по сценаріях викидів» (СДСВ) [34], в якій були представлені нові кліматичні сценарії – так звані «характерні траєкторії змін концентрації» (Representative Concentration Pathways – RCP) парникових газів в атмосфері. Вони задають зміни середнього вмісту парникових газів в атмосфері Землі в часі в залежності від передбачуваної динаміки викидів парникових газів та інших факторів. Чотири описані в доповіді траєкторії RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 та RCP8.5 базуються на розгляді різниці додатного та від'ємного випромінювання в системі Земля-атмосфера до кінця XXI сторіччя у порівнянні із допромисловим періодом, які становлять відповідно, 2.6, 4.5, 6.0, 8.5 Вт/м² для кожного сценарію [23]. Перші результати розрахунків за вказаними траєкторіями опубліковані авторами у роботі [15].

3. ОПИС ОБ'ЄКТА І МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

У широкому значенні під водними ресурсами розуміють усі води планети Земля, тобто води поверхневого і підземного стоку, ґрунтові і підземні води, води озер, боліт, льодовиків і постійно залягаючих снігів, океанічні, морські і атмосферні води, води штучних об'єктів (каналів, водосховищ) [20]. У вузькому значенні водними ресурсами є запаси поверхневих і підземних вод, придатні для використання. У зв'язку із тим, що всі ці води в процесі кругообігу зв'язані із водами річок при розгляді водних ресурсів під ними

розуміють лише величину середнього багаторічного річного стоку річок досліджуваних територій [28, 29].

Основним методом дослідження є модель «клімат-стік», розроблена в ОДЕКУ. Перша частина моделі включає до себе розрахунки характеристик річного природного стоку за метеорологічними даними. Ця складова моделі базується на рівнянні водно-теплового балансу у модифікації В.С. Мезенцева (1969) реалізація якого для території України виконана проф. Є.Д. Гопченком та проф. Н.С. Лободою [5, 6]. На вході в модель використовуються дані про місячні та річні опади, температури та дефіцит вологості повітря. У моделі використовується поняття максимально можливого випаровування E_m , яке розглядається через граничні ресурси енергії («теплоенергетичні ресурси клімату»), що забезпечують процес випаровування у заданих кліматичних умовах. «Теплоенергетичний еквівалент» або «максимально можливе випаровування» являє собою шар води, який міг би випаритися з поверхні суші, якби на процес випаровування були витрачені усі теплоенергетичні ресурси клімату LE_m і розраховується через прибуткові складові рівняння теплового балансу водної поверхні

$$E_m = \frac{R^+ + P^+ + (B_1 - B_2)}{L}, \quad (1)$$

де R^+ - позитивна (прибуткова) частина радіаційного балансу; P^+ - позитивна складова турбулентного теплообміну або тепло, що приходить на ділянку суші в зв'язку з рухом повітря, тобто адвективне тепло; $B_1 - B_2$ - зміна запасів тепла в діяльному шарі ґрунту (теплообмін у ґрунті ΔB); L - приховане тепло пароутворення.

Така інтерпретація поняття «максимального можливого випаровування» надає йому однозначності на відміну від інших методів, в яких максимально можливе випаровування розглядалося як «випаровування зі зволоженої поверхні» (М.І. Будико); «випаровування з водної поверхні при тому ж комплексі метеорологічних умов, що й над сушею» (М.А. Багров); «випаровування для полів, вкритих рослинністю, коли вологість ґрунту близька до найменшої польової вологості» (А.Р. Константинов); «максимально можливе випаровування з оголеного ґрунту» (Л. Тюрк).

Річний стік визначений за метеорологічними даними дістав назву «кліматичного». За даними минулих років (до 1989 р.) були побудовані карти ізоліній норм річних опадів, максимально

можливого випаровування та кліматичного стоку для рівнинних територій на топографічній основі 1:500000, а також регіональні залежності для визначення цих характеристик в залежності від висоти місцевості (Українські Карпати та Гірський Крим).

Модель була калібрована та апробована на матеріалах про стік річок різних географічних зон України, є чутливою до сучасних змін кліматичних чинників і дозволяє із задовільною точністю оцінювати зональний стік та вплив підстильної поверхні, включаючи водогосподарські перетворення [13]. Установлено, що точність визначення статистичних параметрів річного стоку за описаною моделлю знаходиться у межах точності розрахунків цих параметрів за даними гідрометричних спостережень і для норм річного стоку знаходиться у межах $\pm 10\%$.

Структура моделі дозволяє виконувати розрахунки кліматичного (зонального природного) стоку на основі даних кліматичних сценаріїв [14], що дозволило надавати прогнози змін водних ресурсів України по мірі розвитку кліматичних моделей [21].

У роботі використані дані сценаріїв концентрацій парникових газів сімейства RCP (Representative Concentration Pathways – «характерні траєкторії змін концентрації»), а саме RCP4.5 та RCP8.5. Ці сценарії безпосередньо задають середній вміст парникових газів в атмосфері Землі в часі та в залежності від передбачуваної динаміки викидів парникових газів та інших чинників, на відміну від раніше досліджуваних сценаріїв, заснованих на вмісті емісій парникових газів та соціально-економічних показників (сценарні родини A1, A2, B1, B2). Найбільш екстремальним визнаний сценарій RCP8.5, який характеризується безперервним зростанням радіаційного форсингу протягом XXI століття зі значеннями майже $8,5 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ у 2100 р. Для реалізації сценарію RCP4.5, який вважається помірним, глобальні викиди парникових газів повинні почати зменшуватись після 2040 р., зі значеннями радіаційного форсингу у 2100 р. близько $4,5 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ [23].

4. ОПИС І АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

Для реалізації RCP4.5, який вважається помірним, глобальні викиди парникових газів повинні почати зменшуватись після 2040 р. Для реалізації агресивного сценарію RCP8.5 викиди повинні зростати протягом усього сторіччя.

Розрахунки проводилися з використанням даних про опади та температуру повітря сценаріїв

зміни глобального клімату RCP8.5 та RCP4.5 по 84 вузлам координатної сітки, які відповідають розташуванню станцій метеорологічних спостережень і є рівномірно розподілені по території України за розрахунковий період 2011-2050 рр.

Суттєве значення при розрахунках норм річного кліматичного (зонального) стоку відіграє співвідношення ресурсів тепла та вологи, яке також розглядається як характеристика зволоженості (посушливості) клімату

$$\beta_x = \frac{\bar{X}}{E_m}, \quad (2)$$

де \bar{X} - середнє багаторічне значення річних опадів, мм; E_m - середнє багаторічне значення максимально можливого випаровування, мм.

За величиною β_x виділяються області зволоженості (посушливості) [10]:

$\beta_x \geq 1,0$ - зона надмірного зволоження;

$0,8 < \beta_x < 1,0$ - зона достатнього зволоження;

$0,5 \leq \beta_x < 0,8$ - зона недостатнього зволоження;

$0,20 < \beta_x < 0,50$ - напіваридна зона;

$0,03 < \beta_x < 0,20$ - аридна зона;

$\beta_x < 0,03$ - гіпераридна зона.

Значення $\beta_x=0,5$ розглядається як межа між зоною недостатнього зволоження та напіваридною зоною.

Для аналізу змін характеристик клімату та стоку виконувалося порівняння даних у вихідних умовах (до 1989 р.) та у сценарний період 2011-2050 рр.

Аналіз змін кліматичних чинників формування стоку за сценарієм RCP8.5 показав, що по території України ресурси зволоження мають зменшуватися у середньому на 15%. Найбільше зниження очікує південно-східну частину країни і становитиме -22%. На відміну від попередніх сценаріїв (A1, A2, B1, B2) теплоенергетичні ресурси не будуть суттєво зростати.

На рис. 1-3 показаний просторовий розподіл показника зволоженості β_x у минулий та майбутній періоди. Аналізуючи зміни у просторовому розподілі ізолій β_x у часі, можна зробити висновок, що межа аридності (ізолія $\beta_x=0,5$) буде «підніматися» до півночі, що вказує на розширення напіваридної зони. Область надмірного зволоження ($\beta_x \geq 1,0$) на півночі вже не існуватиме, а на заході (Карпати) дещо «стиснеться». Зменшення водних ресурсів буде спостерігатися на півночі та північному заході країни у середині XXI сторіччя, про що свідчить положення ізолій 0,8 та 0,9. І лише зона надлишкового зволоження, розташована в Українських

Карпатах, практично не зазнає змін, місцями показник β_x навіть зростає, що означатиме збільшення водності річок.

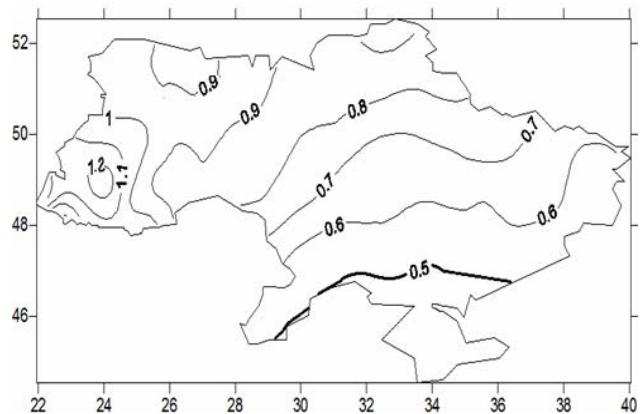


Рис. 1 - Просторовий розподіл показника зволоженості β_x , визначеного за даними до 1989 року (до початку значущого впливу глобального потепління)

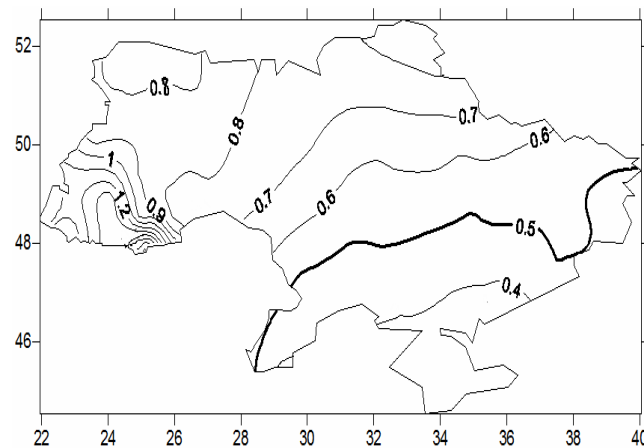


Рис. 2 - Просторовий розподіл показника зволоженості β_x , визначеного за даними 2011-2050 рр., сценарій RCP8.5

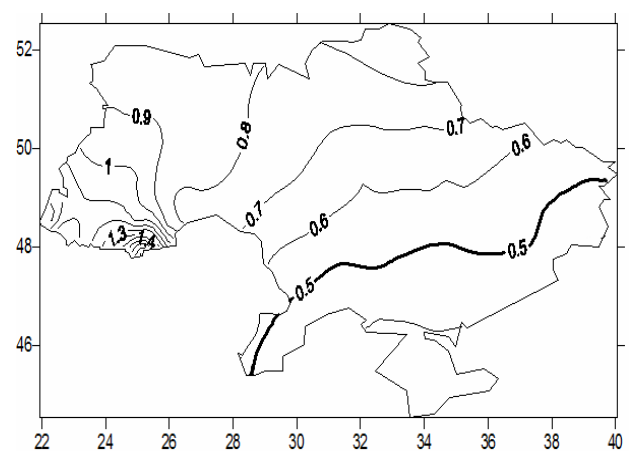


Рис. 3 - Просторовий розподіл показника зволоженості β_x , визначеного за даними 2011-2050 рр., сценарій RCP4.5

У минулому сторіччі (до початку глобального потепління) на рівнинній частині України норми кліматичного річного стоку змінювалися від 140 мм на північному заході до 20 мм на півдні (рис. 4). У період 2011-2050 рр. за сценарієм RCP8.5 очікується розширення до півночі зони степу, яка обмежена ізолінією норми річного зонального стоку рівній 30 мм. Отже зона степу буде охоплювати близько 40% території України. Схожа ситуація очікується і за сценарієм RCP4.5.

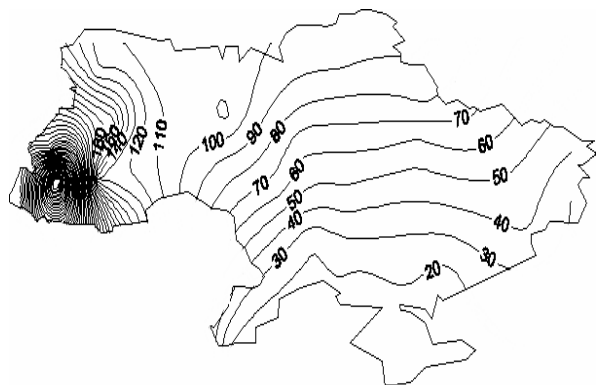


Рис. 4 - Просторовий розподіл норм річного кліматичного стоку (мм), визначених за даними до 1989 р.

Більш повну уяву про зміни водних ресурсів України у просторі надають ізолінії відносних відхилень δ середніх багаторічних величин річного стоку минулого сторіччя та у період прогнозу (2011-2050 рр.)

$$\delta = \frac{\overline{Y_K'} - \overline{Y_K}}{\overline{Y_K}}, \quad (3)$$

де $\overline{Y_K'}$ - середня багаторічна величина річного кліматичного стоку, розрахована за даними сценарію, мм; $\overline{Y_K}$ - середня багаторічна величина річного кліматичного стоку, розрахована за даними до 1989 р. (початку значущого впливу глобального потепління).

У період 2011-2050 рр. за сценарієм RCP8.5 очікується зменшення водних ресурсів майже на всій території країни (рис. 5). У Північно-Західному Причорномор'ї воно досягне 50%, а на південному сході – 70%. В центральній, північній та північно-західній частинах України відмічається зниження річного зонального стоку становитиме 30-40%.

Зростання водних ресурсів буде спостерігатися лише у географічній зоні Український Карпат.

Згідно із сценарієм RCP4.5 зростання опадів за розрахунковий період відбуватиметься менш інтенсивно при практично незмінному максима-

льно можливому випаровуванні, тому і зменшення водних ресурсів буде уповільненим у просторі.

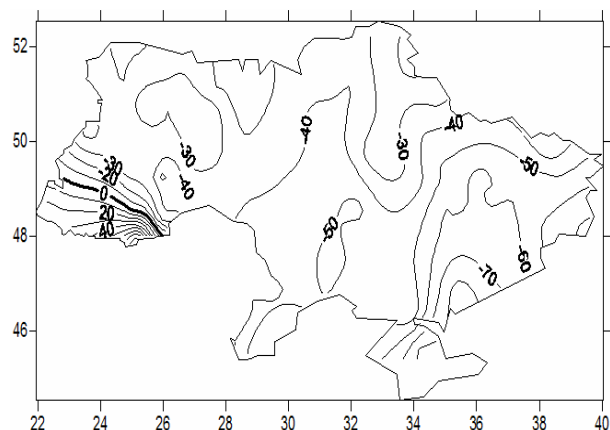


Рис. 5 - Просторовий розподіл відносних відхилень (%) норм річного кліматичного стоку за період 2011-205 рр. (сценарій RCP8.5) у порівнянні із базовими даними (до 1989 р.)

Відносне відхилення базових та сценарних значень середнього багаторічного річного стоку змінюватиметься від 20-30% на півночі до 40% на півдні (рис.6).

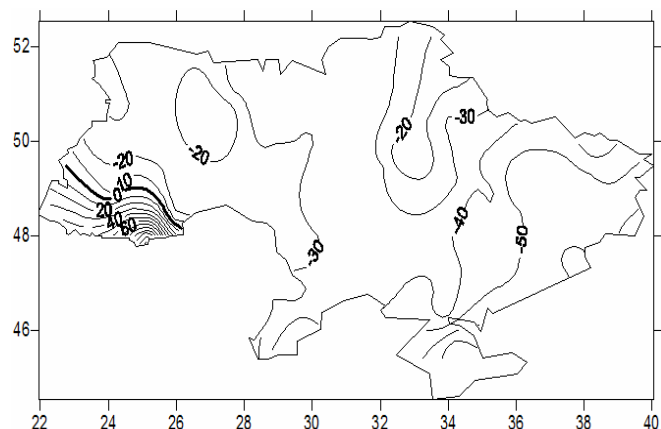


Рис. 6 - Просторовий розподіл відносних відхилень (%) норм річного кліматичного стоку за період 2011-2050 рр. (сценарій RCP4.5) у порівнянні із базовими даними (до 1989 р.)

5. ВИСНОВКИ

Оцінки середніх багаторічних кліматичних чинників та стоку за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 у період 2011-2050 рр. показали, що на відміну від сценаріїв А1В та А2 [24] зменшення водних ресурсів України буде відбуватися у межах усїєї рівнинної України. Тільки у географічній зоні Українських Карпат можливе їх зростання (пов'язане із зменшенням ресурсів тепла та практично стабільністю ресурсів вологи), яке буде більш відчутним у басейні р. Тиси. Отри-

мані результати підтверджуються дослідженнями Купрікова І., Сніжка С.І., які базуються на водно-балансовій моделі L. Turc у модифікації польського гідролога Z. Kaczmarek [12]. Особливістю розглянутих сценаріїв є виражене зменшення опадів на фоні незначного збільшення максимально можливого випаровування для більшої частини території країни. Майбутнє південних областей країни за всіма розглянутими сценаріями (A1B, A2, RCP4.5 та RCP8.5) прогнозується до 2050 р. майже однаково: їх очікує зменшення водних ресурсів у межах 50-70%.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Актуальные проблемы лиманов северо-западного Причерноморья / Под ред. Ю.С. Тучковенко, Е.Д. Гопченко. – Одеса: ТЕС, 2012 – 224 с.
- Вишневський В.І. Вплив кліматичних змін і господарської діяльності на термічний та льодовий режим річок / В.І. Вишневський // Наук. Праці УкрНДГМІ. – 2002. – Вип. 250. – С. 190-202.
- Водні ресурси та гідроекологічний стан Тилігульського лиману / Під ред. Ю.С. Тучковенка, Н.С. Лободи. – Одеса: ТЕС, 2014. – 276 с.
- Водний режим та гідроекологічні характеристики басейну Куяльницького лиману / Під ред. Н.С. Лободи, Е.Д. Гопченка. – Одеса: ТЕС, 2016. – 332 с.
- Гопченко Є.Д. Оцінювання природних водних ресурсів України за методом водно-теплогового балансу / Є.Д. Гопченко, Н.С. Лобода // Наук. Праці УкрНДГМІ. – 2001. – Вип. 249. – С. 106-120.
- Гопченко Е.Д. Оценка возможных изменений водных ресурсов Украины в условиях глобального потепления / Є.Д. Гопченко, Н.С. Лобода // Гидробиологический журнал. - 2000. - Т. 36(3). - С. 67-78.
- Гопченко Є.Д. Гідрологічні розрахунки: підручник / Є.Д. Гопченко, Н.С. Лобода, В.А. Овчарук. – Одеса: ТЕС, 2014. – 484 с.
- Гопченко Є.Д. Дослідження впливу сучасних змін клімату на характеристики максимального стоку весняного водопілля на річках Полісся / Є.Д. Гопченко, В.А. Овчарук, Ж.Р. Шакирзанова // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2010. – Т. 3 (20). – С. 50-59.
- Гребінь В.В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз) / В.В. Гребінь. –К.: Ніка-центр, 2010. – 316 с.
- Дж.К. Родда Грани гидрологии: монография / Родда Дж.К.. – Л.: Гидрометеоздат, 1987. – Т. 2. – 534 с.
- Дідовець Ю. Технологія підготовки даних та калібрування чисельної моделі SWIM для довгострокового прогнозування водного стоку річок / Ю. Дідовець, С. Сніжка // Українська географія: сучасні виклики. Зб.наук. праць. – К.: Прінт-Сервіс, 2016. – Т. III. – С. 50-52.
- Купріков І. Прогноз водності басейну р. Тиси на найближчу і середню перспективу в умовах кліматичних змін / І. Купріков, С. Сніжка // Українська географія: сучасні виклики. Зб.наук. праць. – К.: Прінт-Сервіс, 2016. – Т. III. – С. 86-88.
- Лобода Н.С. Расчеты и обобщения характеристик годового стока рек Украины в условиях антропогенного влияния: монография / Н.С. Лобода. – Одеса: Экология, 2005. – 208 с.
- Лобода Н.С. Влияние изменений климата на водные ресурсы Украины (моделирование и прогнозы по данным климатических сценариев) / Н.С. Лобода // Глобальные и региональные изменения климата: под ред. В.М. Шестопалова, В.Ф. Логинова, В.И. Осадчего и др. – К.: Ніка-Центр, 2011. – С. 340-352.
- Лобода Н. Зміни клімату та водних ресурсів України за сценаріями глобального потепління RCP4.5 та RCP8.5 / Н. Лобода, Ю. Божок // Українська географія: сучасні виклики. Зб.наук. праць. – К.: Прінт-Сервіс, 2016. – Т. III. – С. 89-91
- Лобода Н.С. Вплив змін клімату на водні ресурси України у сучасних та майбутніх умовах (за сценарієм глобального потепління А1В) / Н.С. Лобода, З.Ф. Сербова, Ю.В. Божок // Український гідрометеорологічний журнал. – 2014. – Вип. 15. - С. 149-159
- Лобода Н.С. Оцінка впливу змін клімату на водні ресурси України на основі моделі «клімат-стік» за сценарієм глобального потепління А2 / Н.С. Лобода, З.Ф. Сербова, Ю.В. Божок // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2015. – Т. 1 (36). – С. 8-17.
- Лобода Н.С. Дослідження впливу змін річкового стоку за кліматичними сценаріями на гідроекологічний стан північно-західної частини Чорного моря / Н.С. Лобода, Ю.С. Тучковенко // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: біологія. -2010. - № 3 (44) – С. 143-145
- Лялько В. Оцінка впливу регіональних змін клімату на екосистеми та визначення ризиків їх негативних наслідків з використанням даних дистанційного зондування та наземних гідрометеорологічних вимірів / В. Лялько, О. Сахацький, Г. Жоболак // Українська географія: сучасні виклики. Зб.наук. праць. – К.: Прінт-Сервіс, 2016. – Т. III. – С. 93-95.
- Мусієнко М.М. Екологія. Охорона природи. Словник-довідник/ М.М. Мусієнко, В.В. Серебряков, О.В. Брайон. – К.: Товариство Знання. КОО, 2002. – 550 с.
- Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України / Під ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. – Одеса: Екологія, 2011. – 605 с.
- Снижко С. Оценка изменения водного стока рек Украины на основе водно-балансовых моделей / С. Снижко, И. Куприков, О. Шевченко // Фізична географія та геоморфологія. – 2012. – Вип. 2 (66). – С. 157-161.
- Степаненко С.М. Динаміка моделювання клімату: підручник / С.М. Степаненко. – Одеса: Екологія, 2013. – 204 с.
- Степаненко С.М., Польовий А.М., Лобода Н.С. та ін. Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України / За ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. –Одеса: ТЕС, 2015. – 520 с.
- Струтинська В.М. Термічний та льодовий режимі річок басейну Дніпра з другої половини ХХ століття / В.М. Струтинська, В.В. Гребінь. – К.: Ніка-Центр, 2010. – 196 с.
- Україна та глобальний парниковий ефект. Книга 2. Вразливість і адаптація екологічних та економічних систем до зміни клімату / Під ред. В.В. Васильченко, М.В. Рапцуна, І.В. Трофімова. – Київ, 1998. – 208 с.
- Хільчевський В.К. Гідролого-гідрохімічна характеристика мінімального стоку річок басейну Дніпра / В.К. Хільчевський, І.М. Ромась, І.М. Гребінь, І.О. Шевчук, О.В. Чунарьов. – К.: Ніка-Центр, 2007.- 184 с.
- Хільчевський В.К. Загальна гідрологія: підручник / В.К. Хільчевський, О.Г. Ободовський, В.В. Гребінь та

- ін. - Київ: ВПЦ "Київський університет", 2008. – 399 с.
29. Чеботарев А.И. Гидрологический словарь / А.И. Чеботарев. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 308 с.
 30. Шакирзанова Ж.Р. Визначення основних факторів весняного водопілля річок лівобережжя Дніпра при довгострокових прогнозах його характеристик / Ж.Р. Шакирзанова // Український гідрометеорологічний журнал. – 2013. – № 16. – С. 99-109.
 31. Ana I. Lillebø, Per Stalnacke, Geoffrey D. Gooch (Eds). *Coastal Lagoons in Europe: Integrated Water Resource Strategies*. London: IWA Publishing, 2015. 256 p.
 32. Nebojsa Nakicenovic, Rob Swart (Eds). Special Report In Emissions Scenarios (SRES). *IPCC (2000)*. University Press, UK, 2000. – 570 p.
 33. The Physical Science Basis - Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *IPCC (2007): Climate Change 2007*. Cambridge University Press, 2007. 996 p.
 34. Stocker T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P.M. Midgley (Eds). The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *IPCC, 2013: Climate Change 2013*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 1535 pp.
 35. Krysanova V., Wechsung F. *SWIM (Soil and Water Integrated model): User Manual*. 2000. 239 p.
 36. Loboda N.S. The assessment of present and future Ukrainian water resources on meteorological evidence. *Climate and Water*, 1998, vol. 1, pp. 1486-1494.

REFERENCES

1. Tuchkovenko Yu.S., Gopchenko E.D. (Eds). *Aktual'nye problemy limanov severo-zapadnogo Prichernomor'ya* [Actual problems of estuaries of North-Western Black Sea Region]. Odessa, 2012. 224 p.
2. Vyshnevs'kyy V.I. Vplyv klimatychnykh zmin i hospodars'koyi diyal'nosti na termichnyy ta l'odovyy rezhym richok [The impact of climate change and economic activities on thermal and ice regime of rivers]. *Naukovi Pratsi UkrNDHMI – Scien. Works of UcrSRHMI*, 2002, issue 250, pp. 190-202.
3. Tuchkovenko Yu.S., Loboda N.S. (Eds). *Vodni resursy ta hidroekologichnyy stan Tylihul's'koho lymanu* [Water resources and hydroecological conditions of Tyligul'skiy Liman]. Odesa, 2014. 276 p.
4. N.S. Loboda, E.D. Gopchenko (Eds). *Vodnyy rezhym ta hidroekologichni kharakterystyky baseynu Kuyal'nyts'koho lymanu* [Water regime and hydroecological characteristics of Kuyal'nitskiy Liman]. Odesa, 2016. 332 p.
5. Gopchenko Ye.D., Loboda N.S. Otsinyuvannya pryrodnykh vodnykh resursiv Ukrainy za metodom vodno-teplovoho balansu [Evaluation of natural water resources of Ukraine by water and heat balance]. *Naukovi Pratsi UkrNDHMI – Scien. Works of UcrSRHMI*, 2001, issue 249, pp. 106-120.
6. Gopchenko E.D., Loboda N.S. Otsenka vozmozhnykh izmenenii vodnykh resursov Ukrainy v usloviyakh global'nogo poteplyniya [Evaluation of possible changes in water resources of Ukraine in conditions of global warming]. *Gidrobiologicheskii zhurnal – Hydrobiological journal*, 2000, vol. 36 (3), pp. 67-78.
7. Gopchenko Ye.D., Loboda N.S., Ovcharuk V.A. *Hidrolo-hichni rozrakhunky* [Hydrological calculations]. Odesa, 2014. 484 p.
8. Gopchenko Ye.D., Ovcharuk V.A., Shakirzanova Zh.R. Doslidzhennya vplyvu suchasnykh zmin klimatu na kharakterystyky maksimal'nogo stoku vesnyanoho vodopillya na richkakh Polissya [The influence of modern climate changes on the characteristics of maximum runoff of spring flood on the rivers of Polissia]. *Hidrolohiya, hidrokimiya i hidroekolo-hiya - Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*, 2010, vol. 3 (20), pp. 50-59.
9. Grebin V.V. *Suchasnyy vodnyy rezhym richok Ukrainy (landshafino-hidrolo-hichnyy analiz)* [Modern water regime of the rivers of Ukraine (landscape and hydrological analysis)]. Kyiv, 2010. 316 p.
10. Dzh. K. Rodda *Grani gidrologii* [Sides of hydrology]. Leningrad, 1987, vol. 2. – 534 p.
11. Didovets' Yu., Snizhko S. Tekhnolohiya pidhotovky danykh ta kalibruvannya chysel'noyi modeli SWIM dlya dovhstrokovoho prohozuvannya vodnoho stoku richok [Technology of data preparation and calibration of numerical model SWIM for long-term water runoff forecasting]. *Ukrayins'ka heohrafiya: suchasni vyklyky. Zb.nauk. prats' – Ukrainian geography: modern challenges. Scientific Papers*. Kyiv, 2016, vol. III, pp. 50-52.
12. Kuprikov I., Snizhko S. Prohoz vodnosti baseynu r.Tysy na nayblyzhechu i serednyu perspektyvu v umovakh klimatychnykh zmin [Prediction of water content of Tisa River basin for the nearest and medium term under conditions of climate change]. *Ukrayins'ka heohrafiya: suchasni vyklyky. Zb.nauk. prats' – Ukrainian geography: modern challenges. Scientific Papers*. Kyiv, 2016, vol. III, pp. 86-88.
13. Loboda N.S. *Raschety i obobshheniya kharakteristik godovogo stoka rek Ukrainy v usloviyakh antropogennogo vliyanija* [Calculations and summarizing of the annual flow characteristics of the Ukrainian rivers in the conditions of anthropogenic influence]. Odessa, 2005. 208 p.
14. Loboda N.S. *Vliyaniye izmeneniy klimata na vodnyye resursy Ukrainy (modelirovaniye i prognozy po dannym klimaticheskikh stseneriyev)* [The impact of climate change on water resources of Ukraine (modeling and forecasts according to climate scenarios)]. Kyiv, 2011, pp. 340-352.
15. Loboda N., Bozhok Yu. Zminy klimatu ta vodnykh resursiv Ukrainy za stseneriyamy hlobal'nogo poteplynnia RCP4.5 ta RCP8.5 [Changes of climate and water resources in Ukraine according to scenarios of global warming RCP4.5 and RCP8.5]. *Ukrayins'ka heohrafiya: suchasni vyklyky. Zb.nauk. prats' – Ukrainian geography: modern challenges. Scientific Papers*. Kyiv, 2016, vol. III. pp. 89-91.
16. Loboda N.S., Serbova Z.F., Bozhok Ju.V. Vplyv zmin klimatu na vodni resursi Ukraïni u suchasnih ta majbutnih umovah (za scenariem global'nogo poteplynnia A1B) [Impact of climate change on water resources of Ukraine in present and future conditions (under scenarios of global warming A1B)]. *Ukraïns'kij gidrometeorologichnij zhurnal – Ukrainian Hydrometeorological Journal*, 2014, vol. 15, pp. 149-159.
17. Loboda N.S., Serbova Z.F., Bozhok Ju.V. Ocinka vplyvu zmin klimatu na vodni resursi Ukraïni na osnovi modeli «klimat-stik» za scenariem global'nogo poteplynnia A2 [The assessment of the impact of climate change on water resources of Ukraine based on the model "climate-runoff" under global warming scenario A2]. *Gidrologija, gidrohimiya i gidroekologija – Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*, 2015., vol. 1 (36), pp. 8-17.
18. Loboda N.S., Tuchkovenko Yu.S. Doslidzhennya vplyvu zmin richkovoho stoku za klimatychnymi stseneriyamy na hidroekologichnyy stan pivnichno-zakhidnoyi chastyny Chornoho morya [The influence of river flow changes by climatic scenarios on hydroecological conditions of North-Western Black Sea Region]. *Naukovi zapysky Terno-*

- pil'skoho natsional'noho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatyuka. Seriya:biolohiya* [Scientific notes The Vladimir Hnatyuk Ternopil National Pedagogical University. Series: biology], 2010, vol. 3 (44), pp. 143-145.
19. Lyal'ko V., Sakhats'kyi O., Zhobolak H.. Otsinka vplyvu rehional'nykh zmin klimatu na ekosystemy ta vyznachennya ryzykiv yikh nehatyvnykh naslidkiv z vykorystanniam danykh dystantsiynoho zonduvannya ta nazemnykh hidrometeorolohichnykh vymiriv [Assessing of the impact of regional climate change on ecosystems and identification the risks of negative effects using a remote sensing and ground-based meteorological measurements]. *Ukrayins'ka heohrafiya: suchasni vyklyky. Zb.nauk. prats' – Ukrainian geography: modern challenges. Scientific Papers*. Kyiv, 2016, vol. III, pp. 93-95.
 20. Musiyenko M.M., Serebryakov V.V., Brayon O.V. *Ekolohiya. Okhorona pryrody. Slovnyk-dovidnyk* [Ecology. Nature protection. Dictionary- handbook]. Kyiv, 2002. 550 p.
 21. Stepanenko S.M., Pol'oviy A.M. (Eds.). *Otsinka vplyvu klimatychnykh zmin na galuzi ekonomiky Ukrainy* [Assessing the impact of climate change on economics of Ukraine]. Odessa, 2011. 605 p.
 22. Snizhko S., Kuprikov I., Shevchenko O. Otsenka izmeneniya vodnogo stoka rek Ukrainy na osnove vodno-balansovykh modelei [Assessment of changes in the water flow of the Ukrainian rivers on the basis of the water-balance models]. *Fizichna geografiya ta geomorfologiya - Physical geography and geomorphology*, 2012, vol. 2 (66), pp. 157-161.
 23. Stepanenko S.M. *Dynamika modelyuvannya klitatu* [The dynamics of climate modeling]. Odessa, 2013. 204 p.
 24. Stepanenko S.M., Pol'ovyy A.M., Loboda N.S. *Klimatychni zminy ta yikh vplyv na sfery ekonomiky Ukrayiny* [Climate changes and its impact on sectors of the economy of Ukraine]. Odessa, 2015. 520 p.
 25. Strutyns'ka V.M., Hrebin' V.V. *Termichnyy ta vodovyy rezhymy richok baseynu Dnipro z druhoyi polovyny XX stolittya* [The thermal and ice regimes of the rivers the Dnipro Basin in the second half of the XX century.]. Kyiv, 2010. 196 p.
 26. Vasylychenko V.V., Rapsun M.V., Trofimova I.V. (Eds.). *Ukrayina ta hlobal'nyy parnykovyy efekt. Knyha 2. Vrazlyvist' i adaptatsiya ekolohichnykh ta ekonomichnykh system do zminy klimatu* [Ukraine and global warming. Book 2. Vulnerability and adaptation of environmental and economic systems to climate changes]. Kyiv, 1998. 208 p.
 27. Khil'chev's'kyi V.K., Romas' I.M., Hrebin' V.V., Shevchuk I.O., Chunar'ov O.V. *Hidroloho-hidrokhimichna kharakterystyka minimal'noho stoku richok baseynu Dnipro* [Hydrological and hydrochemical characteristics of minimum river of flow Dnieper River Basin]. Kyiv, 2007. 184 p.
 28. Khil'chev's'kyi V.K., Obodov's'kyi O.H., Hrebin' V.V. *Zahal'na hidrolohiya: [General hydrology]*. Kyiv, 2008. 399 p.
 29. Chebotarev A.I. *Gidrologicheskii slovar'* [Dictionary of hydrology]. Leningrad, 1978. 308 p.
 30. Shakirzanova Zh.R. *Vyznachennya osnovnykh faktoriv vesnyanoho vodopillya richok livoberezhzhya Dnipro pry dovhostrokovykh prohozhakh yoho kharakterystyk* [Determination of the main factors of spring flood of the rivers of Dnipro left bank in the long-term forecasts of its characteristics]. *Ukrains'kij gidrometeorologichnij zhurnal – Ukrainian Hydrometeorological Journal*, 2013, issue 16, pp. 99-109.
 31. Ana I. Lillebø, Per Stalnacke, Geoffrey D. Gooch (Eds). *Coastal Lagoons in Europe: Integrated Water Resource Strategies*. London: IWA Publishing, 2015. 256 p.
 32. Nebojsa Nakicenovic, Rob Swart (Eds). *Special Report In Emissions Scenarios (SRES). IPCC (2000)*. University Press, UK, 2000. – 570 p.
 33. *The Physical Science Basis - Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC (2007): Climate Change 2007*. Cambridge University Press, 2007. 996 p.
 34. Stocker T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P.M. Midgley (Eds). *The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, 2013: Climate Change 2013*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 1535 pp.
 35. Krysanova V., Wechsung F. *SWIM (Soil and Water Integrated model): User Manual*. 2000. 239 p.
 36. Loboda N.S. *The assessment of present and future Ukrainian water resources on meteorological evidence. Climate and Water*, 1998, vol. 1, pp. 1486-1494.

WATER RESOURCES OF UKRAINE IN THE XXI CENTURY UNDER CLIMATE CHANGE SCENARIOS (RCP4.5 AND RCP8.5)

N.S. Loboda, Prof., Dr Geogr. Sci., Head of Chair of Hydroecology and water researches
Y.V. Bozhok, Cand. Geogr. Sci., assistant of Chair of Hydroecology and water researches

*Odessa State Environmental University,
15 Lvivska str., 65016, Odessa, Ukraine, julia_bojok@mail.ru*

Data of climate change scenarios RCP8.5 and RCP4.5 (Representative Concentration Pathways) were used. They were proposed for consideration in the Fifth Report of Intergovernmental Panel on Climate Change. Average long-term annual flow values using meteorological data (air temperature and precipitation) from the scenarios for the period 2011-2050 were calculated. 84 points (grid nodes) uniformly distributed on the territory of Ukraine were studied. The calculations

were made based on the model "climate-runoff", developed in Odessa State Environmental University. Projection of changes in water resources was given by comparing the calculation results in the past (before 1989) and in the future (2011-2050).

The major trends in water resources of Ukraine were established.

It is shown that by the middle of the XXI century reducing of water resources is expected on the plain territory of Ukraine (70% in the southeast). In the geographical zone of the Ukrainian Carpathians, especially in the Tisa river basin, its stability or growth is possible.

Analysis of changes in the ratio of moisture and heat resources showed that climate aridity will be intensify and the insufficient moisture zone and the semiarid zone will be widen.

Keywords: water resources, climate change scenarios, the model "climate-runoff", climatic runoff, prediction of water resources changes.

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ УКРАИНЫ В XXI СТОЛЕТИИ ПО СЦЕНАРИЯМ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА (RCP 8.5 И RCP4.5)

Н.С. Лобода, проф., д.геогр.н., зав. кафедры гидроэкологии и водных исследований
Ю.В. Божок, к.геогр.н., ассистент кафедры гидроэкологии и водных исследований

*Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, julia_bojok@mail.ru*

Установлены основные тенденции изменения водных ресурсов Украины на основе модели «климат-сток» в XXI веке с использованием сценариев изменения климата RCP8.5 и RCP4.5. Показано, что к середине текущего столетия предусматривается уменьшение водных ресурсов равнинной территории Украины (до 70% на юго-востоке) и их стабильность или рост в географической зоне Украинских Карпат, особенно в бассейне р.Тиса. Анализ изменений соотношения ресурсов влаги и тепла показал усиление засушливости климата и расширение зоны недостаточного увлажнения и напиваридной зоны.

Ключевые слова: водные ресурсы, сценарии изменения климата, модель «климат-сток», климатический сток, прогнозы изменений водных ресурсов.

Дата першого подання: 09.06.2016

Дата надходження остаточної версії: 15.06.2016

Дата публікації статті: 04.07.2016

УДК 504.4.054 PACS numbers: 92.40.Aa,
92.40.Bc

ОЦІНКА ЯКОСТІ ВОДИ У СТВОРІ Р. ІНГУЛЕЦЬ – М. СНІГУРІВКА ЗА ГІДРОХІМІЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ

І.О. Шахман¹, доц., к. геогр. н., доц. кафедри екології та сталого розвитку
Н.С. Лобода², проф., д. геогр. н., зав. кафедри гідроекології та водних досліджень

¹ Херсонський державний аграрний університет

вул. Р. Люксембург, 23, 73006, Херсон, Україна, shakhman.i.a@gmail.com

² Одеський державний екологічний університет, вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна

У статті наведені результати оцінки якості води за гідрохімічними показниками у створі р. Інгулець – м. Снігурівка за період спостереження 2001–2014 рр. на основі сучасних розрахункових методик. Установлено, що води за якісними показниками переважно “брудні”, “дуже брудні” або “катастрофічно брудні”. Виявлено тенденцію до покращення якості води через зменшення вмісту нафтопродуктів, починаючи з 2010 р. Екологічний стан річки охарактеризований як екологічний регрес.

Ключові слова: екологічна оцінка якості води, гідрохімічні показники, зміни антропогенного навантаження, оцінка придатності вод для рибогосподарського використання.

1. ВСТУП

Рівень забезпечення водними ресурсами України значно нижчий за світовий та європейський. За об'ємом внутрішніх запасів прісної води у розрахунку на душу населення з країн Європи тільки Молдова має показники нижчі, ніж в Україні. Середній показник забезпечення річним стоком на одного мешканця України у маловодний рік дорівнює 0,67 тис. м³/рік, на одного мешканця Миколаївської області – 0,26 тис. м³/рік (за рахунок місцевого стоку), 2,15 тис. м³/рік (сумарний стік) [1]. Основним джерелом водопостачання для населення є річковий стік. У зв'язку з цим у багатьох районах півдня України спостерігається гострий дефіцит прісної води, для ліквідації якого доводиться перекидати воду каналами, будувати водосховища тощо.

Проголошення Україною курсу на Євроінтеграцію стало потужним стимулом для використання європейського досвіду у реалізації водної політики на території нашої країни [2]. Стратегічні напрямки водної політики країн Європейського Співтовариства визначає „Директива 2000/60/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 23 жовтня 2000 року „Про встановлення рамок діяльності Співтовариства в галузі водної політики” [3]. Метою директиви є визначення та здійснення системи дій, необхідних для захисту наземних поверхневих, прибережних та ґрунтових вод.

У зв'язку зі зростаючим антропогенним навантаженням на річкові басейни, особливо малих та середніх річок Нижнього Подніпров'я, окремої уваги та актуальності набувають питання

екологічної оцінки стану р. Інгулець на основі досліджень якості води за гідрохімічними показниками.

Державний моніторинг водних ресурсів виконується за гідрологічними, гідрохімічними та гідробіологічними показниками [4]. Тобто, оцінка можливості їх використання будь-якими галузями економіки включає, наряду з кількісною оцінкою водних ресурсів, визначення якості природних вод. Існуючі сучасні методики оцінки якості води зводяться до аналізу відповідності фактичних значень параметрів води гранично допустимим. Але кількість параметрів, що регламентуються, достатньо велика, тому виникає необхідність узагальнення інформації про екологічний стан поверхневих вод на базі використання комплексних показників, які осереднюють та згладжують вихідну інформацію.

Об'єктом дослідження є пониззя р. Інгулець, де розташований створ м. Снігурівка. Предметом дослідження є оцінка якості води водного об'єкту в порушених господарською діяльністю умовах.

Метою роботи є оцінка якості поверхневих вод за гідрохімічними показниками пониззя р. Інгулець в межах Миколаївської області відповідно до рибогосподарських норм як найбільш чутливих до змін екологічного стану річки з використанням сучасних розрахункових методик [5–8].

Задачі дослідження: оцінити якість води у створі р. Інгулець – м. Снігурівка за гідрохімічними показниками згідно із діючими в Україні методиками. У роботі розглянуті дані гідрохімічних спостережень за 2001–2014 рр.

2. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Рівень забезпеченості України водними ресурсами є недостатнім, а їх територіальний розподіл є нерівномірним і не відповідає розміщенню водомістких господарських комплексів. Найменша кількість водних ресурсів формується в місцях зосередження потужних споживачів – Донбас, Криворіжжя, південні області України, Автономна Республіка Крим [9].

Діюча в Україні система Державного моніторингу водних об'єктів (ДМВ) забезпечує отримання первинних даних про склад та обсяги викидів домішок у поверхневі водні об'єкти, узагальнених даних про рівень забруднення на певній території за певний проміжок часу, показників стану й якості та оцінок небезпечності забруднення водного басейну за стандартними методиками [4–8]. Моніторинг гідрохімічного режиму р. Інгулець розпочався разом з будівництвом у 1951 р. на півдні Миколаївської та заході Херсонської областей Інгулецької зрошувальної системи (ІЗС), зрошуваний масив якої обмежується на заході р. Інгул та Бузьким лиманом, на півдні – річкою Дніпро, на сході – річкою Інгулець. Північна межа зрошуваного масиву проходить по Інгулецькому магістральному каналу (ІМК), який перетинає межиріччя Інгулець-Південний Буг від м. Снігурівки до селища Жовтневого. Протяжність масиву зі сходу на захід близько 65 км, а з півночі на південь близько 60 км [10, 11].

Значний внесок в наукові дослідження хімічного складу води р. Інгулець належить вченим Київського Національного університету імені Тараса Шевченка – Гореву Л.М., Пелешенку В.І., Хільчевському В.К., Ромасю І.М., Ромасю М.І., Руденку Р.В., Медведю В.М., Кравчинському Р.Л. та ін. Цими науковцями розглянуті закономірності просторового і часового розподілу гідролого-гідрохімічних характеристик мінімального стоку, виявлені загальні тенденції хімічного складу річкових вод та певні відмінності, які обумовлені взаємодією комплексу географічних, гідроекологічних та антропогенних чинників. За гідрохімічними показниками мінімального стоку проведено районування території басейну Дніпра у межах України [12].

Детальне дослідження ролі техногенного впливу на гідрохімічний режим р. Інгулець за період 1978–2010 рр. також виконане Шерстюк Н.П. і Хільчевським В.К. [13]. Ними описані особливості хімічного складу води у водоймах-хвостосховищах, ставках-накопичувачах шахтних вод, ставках Кривбасу та у річках Саксагань

і Інгулець: виявлена специфіка гідрохімічних процесів у техногенних та природних водних об'єктах; складений ймовірнісний прогноз хімічного складу води у річках Саксагань та Інгулець в умовах стаціонарності гідрохімічних процесів; запропоновані засади формування системи гідрохімічного моніторингу на базі постійно діючої гідрохімічної моделі. Автори відмічають, що у 2011 р. у воді Інгульця карбонатно-кальцієва система була схильною до осадження в усіх пунктах спостереження до с. Андріївка (ІнГЗК). У пункті спостереження (міст, ІнГЗК) встановилися рівноваги з хлоридом внаслідок скидання високомінералізованих шахтних вод із ставка балки Свистуново (ПдГЗК). На нижній ділянці річки, нижче Карачунівського водосховища, було виявлено, що мінералізація води підвищилася і досягла значення $3,5 \text{ г/дм}^3$ [13], що обумовлено впливом гірничо-збагачувальних комбінатів та скидом високомінералізованих вод з балки Свистуново [12].

Опубліковані результати дослідження якості поверхневих вод р. Інгулець найчастіше виконувалися тільки за однією обраною методикою [14], або не охоплювали усього періоду спостережень, особливо у другому десятиріччі ХХІ сторіччя (як правило, розглядається інформація до 2010 р.) [15].

Процеси формування хімічного складу вод р. Інгульця відбуваються під впливом потужного антропогенного навантаження на водні ресурси, наслідки якого посилюються в умовах глобального потепління [16, 17]. У зв'язку із цим дуже важливим є не тільки спостереження і контроль ДМВ, а й своєчасний аналіз зміни гідрохімічних показників в часі та просторі, достовірна оцінка якості води.

3. ОПИС ОБ'ЄКТА І МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Державний моніторинг водних об'єктів представлений в Миколаївській області мережею станцій і постів контролю стану довкілля Державною екологічною інспекцією (16 пунктів спостереження) та Державним агентством водних ресурсів. Моніторинг вод в басейні р. Інгулець включає контроль якості води за гідрологічними та гідрохімічними показниками (28–30 показників) по створу м. Снігурівка, який знаходиться вище за течією в районі автомобільного мосту на відстані приблизно 103 км від гирла річки, вище головної насосної станції ІЗС і м. Снігурівка.

Пониззя басейну р. Інгулець знаходиться в межах Миколаївської та Херсонської областей і

належить степовій зоні України з посушливим кліматом, частими суховійними вітрами. Річна кількість опадів в середньому складає 450 мм [17]. Тривалість вегетаційних періодів без опадів досягає 90–100 днів, що негативно відбивається на виробництві сільськогосподарської продукції.

Антропогенне навантаження на басейн р. Інгулець, перш за все, обумовлене скидами високомінералізованих забруднених промислових стоків підприємств м. Кривий Ріг, які обслуговують гірничо-видобувну, металургійну та хімічну промисловість. У Криворізькому басейні розташовано 8 з 11 підприємств України з видобутку та переробки залізорудної сировини, також тут знаходяться підприємства з обслуговування металургійного виробництва (одного з найбільших в світі металургійних комбінатів – “АрселорМіттал Кривий Ріг”), п’ять гірничозбагачувальних комбінатів (ГЗК) – Північний ГЗК (ПівнГЗК), Південний ГЗК (ПівдГЗК), Центральний ГЗК (ЦГЗК), Новокриворізький ГЗК (НКГЗК), Інгулецький ГЗК (ІнГЗК), три рудоремонтних заводи.

Наприкінці 60-х років минулого сторіччя, у зв’язку з реалізацією державних програм гідромеліоративного будівництва, розгорнулося спорудження великих зрошувальних каналів, які одночасно вирішували й проблеми водозабезпечення прилеглих населених пунктів та промислових центрів. Ідея розширення зрошуваних площ у посушливих степах півдня Миколаївської області закладалася в проєкті каналу Дунай-Дніпро і частково була реалізована через експлуатацію Інгулецького каналу (1989 р.). Завдяки перекиданню стоку Дніпра (річки-донора) річний стік р. Інгулець збільшується. Окрім того, додаткове надходження вод до річки Інгулець відбувається за рахунок формування зворотних фільтраційних вод із сільськогосподарських масивів, які зрошуються водами Дніпра [18, 19]. При переході до більш посушливих територій вплив антропогенної діяльності збільшується, і, незважаючи на штучне підвищення водності Інгульця, екологічний стан водотоку не покращується, оскільки мова йде про надходження в річку забруднених вод.

Сільськогосподарська освоєність території є досить високою (площа сільськогосподарських угідь складає 69,2%), тому внесення пестицидів призводить до забруднення ґрунтів токсичними елементами, а стікання води з полів поверхневим шляхом та фільтрація спричинюють міграцію канцерогенів до найближчого водного об’єкту (р. Інгулець). В змішаних водах річок Інгулець та Дніпро (площа зрошення 37,14 тис. га) хіміч-

ний склад хлоридно-сульфатно-гідрокарбонатний, сульфатно-хлоридний, натрієво-кальцієво-магнієвий із загальною мінералізацією до 3,5 г/дм³ (нижче Карачунівського вдсх. [12, 13]).

Сумарний ефект зазначених вище чинників формує гідрохімічні показники води водного об’єкту та обумовлює якісний склад поверхневого стоку.

В діяльності установ Державної гідрометслужби та Державного агентства водних ресурсів України застосовується методика оцінки якості води Гідрохімічного інституту [5]. Поширеною методикою інтегральної оцінки є також розрахунок індексів забруднення води [7]. Фахівці Одеського державного екологічного університету Юрасов С.М., Сафранов Т.А., Чугай А.В. пропонують виконувати порівняльний аналіз оцінки якості води річок за різними методиками [8, 20].

Комплексні індекси, на основі яких здійснюється екологічна оцінка якості вод, розраховуються за всіма гідрохімічними показниками або за їхніми частинами. Вони характеризують стан води в цілому, при цьому інформація по окремих показниках втрачається.

Послідовність виконання оцінки складається з двох етапів: на першому етапі здійснюється розрахунок значення показника, а на другому за розрахованим значенням індексу і за шкалою якості надається словесна характеристика води. Оцінка представляється в балах.

Індекс забруднення води (ІЗВ) розраховується за формулою

$$ІЗВ = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 \frac{C_i}{ГДК_i}, \quad (1)$$

де $ГДК_i$ – гранично допустима концентрація хімічного компоненту; C_i – фактична концентрація хімічного компоненту; 6 – кількість інгредієнтів.

Отже, кількість показників, які беруться для розрахунку ІЗВ, дорівнює шести і включає до себе розчинений кисень (O_2), біохімічне споживання кисню ($БСК_5$), амоній (NH_4^+), нітрити (NO_2^-), нафтопродукти (НП), феноли (C_6H_5OH). На відміну від інших показників, для розчиненого кисню при розрахунках ІЗВ береться співвідношення норматив ($ГДК_i$)/реальна концентрація (C_i). Критерії оцінки якості вод за ІЗВ наведені в таблиці 1 [8]. До I класу належать води, на які найменше впливає антропогенне навантаження. Значення їх гідрохімічних і гідробіологічних показників забруднення води (ІЗВ) [8] близькі до природних значень для даного регіону. Для вод II класу характерні певні зміни порівня-

но з природними, однак ці зміни не порушують екологічної рівноваги. До III класу належать води, які перебувають під значним антропогенним впливом, рівень якого близький до межі стійкості екосистем. Води IV–VII класів відносяться до вод з порушеними екологічними параметрами, і їхній екологічний стан оцінюється як екологічний регрес.

Таблиця 1 – Критерії оцінки якості вод за індексом забруднення води (ІЗВ) [8]

Клас якості води	Характеристика класу	Значення індексу забруднення води
I	Дуже чиста	≤0,3
II	Чиста	0,3–1,0
III	Помірно забруднена	1,0–2,5
IV	Забруднена	2,5–4,0
V	Брудна	4,0–6,0
VI	Дуже брудна	6,0–10,0
VII	Надзвичайно брудна	>10,0

Модифікований ІЗВ [8] розраховується теж за шістьма показниками: біохімічне споживання кисню (БСК₅) та розчинений кисень (O₂) є обов'язковими, а інші чотири показника беруться за найбільшим відношенням до ГДК з переліку: SO₄²⁻, Cl⁻, ХСК, NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻, PO₄³⁻, Fe_{заг}, Mn²⁺, Cu²⁺, Zn²⁺, Cr⁶⁺, Ni²⁺, Al³⁺, Pb²⁺, Hg²⁺, As³⁺, нафтопродукти (НП), синтетичні поверхневі активні речовини (СПАР).

Методика Гідрохімічного інституту (ГХІ) [5] полягає в одержанні однозначної оцінки якості води і проведенні на її основі класифікації води за ступенем придатності для основних видів водокористування. Відповідно до цієї методики [5, 6, 8, 20] оцінка на основі комбінаторного індексу забруднення (КІЗ) включає декілька етапів: визначення характеру забруднення за величиною умовного коефіцієнта комплексності; встановлення рівня і класу якості води за величиною комбінаторного індексу забруднення; виділення пріоритетних забруднюючих компонентів за кількістю і складом лімітуючих показників забруднення; проведення диференційованої оцінки лімітуючих забруднюючих речовин.

Умовний коефіцієнт комплексності розраховується за формулою

$$K_{\%} = \frac{m'}{m} \cdot 100\%, \quad (2)$$

де m' – кількість речовин, вміст яких перевищує ГДК; m – загальне число нормативних інгредієнтів, обумовлених програмою досліджень.

джені.

При $K < 10\%$ проводиться обстеження за конкретними забруднюючими речовинами. Визначаються максимальні концентрації і забезпеченість перевищень ГДК (1ГДК, 10ГДК, 100ГДК). При $K \geq 10\%$ проводиться триступенева класифікація.

Перший ступінь класифікації заснований на встановленні міри стійкості забруднення (повторюваності P випадків перевищення ГДК)

$$P_i = N_{ГДК_i} / N_i, \quad (3)$$

де $N_{ГДК_i}$ – число результатів аналізу, в яких вміст i -го інгредієнта перевищує його гранично допустиму концентрацію; N_i – загальне число результатів аналізу i -го інгредієнта.

Другий ступінь класифікації ґрунтується на встановленні рівня забруднення, мірою якого є кратність K перевищення ГДК

$$K_i = C_i / ГДК_i. \quad (4)$$

Оціночні бали визначаються згідно таблиць 2 і 3.

Таблиця 2 – Класифікація водних об'єктів за повторюваністю забруднення [5, 6, 8, 20]

Повторюваність, %	Характеристика забруднення води	Часткові оціночні бали	
		виражені умовно	абсолютні значення
0–10	одиничне	a	1
10–30	нестійке	b	2
30–50	стійке	c	3
50–100	характерне	d	4

Таблиця 3 – Класифікація водних об'єктів за рівнем забруднення [5, 6, 8, 20]

Кратність перевищення нормативів	Характеристика забруднення води	Часткові оціночні бали	
		виражені умовно	абсолютні значення
0–2	низький	a_1	1
2–10	середній	b_1	2
10–50	високий	c_1	3
50–100	дуже високий	d_1	4

При визначенні першого і другого ступенів класифікації води по кожному з інгредієнтів розраховуються узагальнені оцінки якості води.

Для заключного, третього ступеня класифікації комбінаторний індекс забруднення (КІЗ) розраховується шляхом складання узагальнених оціночних балів S_i , по усіх n показниках

$$KIZ = \sum_{i=1}^n S_i . \quad (5)$$

Класифікація якості води виконується в залежності від значення КІЗ і кількості лімітуючих показників забруднення (ЛПЗ). До ЛПЗ води відносять будь-який показник, за яким значення S_i , більше або дорівнює 12.

Метод інтегральної оцінки якості води передбачає визначення коефіцієнту забруднення χ за формулою [7, 8]

$$\chi = \sum [(N_i / C_{i,d}) \varphi(i)] / \sum \varphi(i), \quad (6)$$

де N_i – значення показника забруднення; i – номер показника забруднення в ранговій послідовності з m показників; $C_{i,d}$ – норматив (ГДК) показника; $\varphi(i) = i/2^{i-1}$ – вагова функція; $\sum \varphi(i)$ – приведена кількість показників.

Як основні приймаються такі показники забруднення з відповідною ранговою послідовністю (i): біологічне споживання кисню (БСК₅) ($i = 1$); іон амонію (NH_4^+) ($i = 2$); нафтопродукти (НП) ($i = 3$); розчинений кисень (O_2) ($i = 4$).

Ранги іншим показникам встановлюють експертно або за співвідношенням $N_i / C_{i,d}$.

В залежності від значення коефіцієнта χ складено атестаційну шкалу по оцінці ступеня забруднення водного середовища (табл. 4) [7, 8]:

Таблиця 4 – Інтегральна оцінка ступеня забруднення водного середовища

Коефіцієнт забруднення вод χ	Якісна оцінка ступеня забруднення
До 1,00	Нешкідлива (чиста)
1 – 1,99	Мала
2 – 2,99	Припустима
3 – 3,99	Істотна
4 – 5,00	Інтенсивна
Більше 5,00	Катастрофічна

4. ОПИС І АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

Вихідною інформацією для оцінки екологічного стану водних ресурсів басейну р. Інгулець в межах Миколаївської області є результати аналітичного контролю Державної екологічної інспекції поверхневих вод за 2001–2014 роки (83 проаналізовані проби, за якими виконано 1615 хімічних досліджень), що були систематизовані в таблиці середньорічних концентрацій забруд-

нюючих речовин.

Виконана оцінка якості води за гідрохімічними показниками у створі р. Інгулець – м. Снігурівка за індексом забруднення води (ІЗВ) відповідно до рибогосподарських норм, які найбільш жорстко установлюють ГДК для більшості неорганічних та органічних речовин. Зважаючи на результати систематичного аналітичного контролю р. Інгулець, а саме зменшення в річковій воді концентрації нафтопродуктів за останні п'ять років, представляє інтерес дослідження повернення можливості використання водного об'єкту за рибогосподарським призначенням. Приклади розрахунків для 2001–2004 рр. та 2013, 2014 рр. наведені в табл. 5, 6. За період дослідження ступінь чистоти річкової води змінився від “дуже брудної” (2001–2009 рр.) до “помірно забрудненої” (2010–2011 рр.) та до “чистої” (2012–2014 рр.).

Оцінка якості води за модифікованим індексом забруднення (ІЗВ) виконана за нормативами якості вод водойм рибогосподарського призначення для всього періоду, що досліджується, а приклади розрахунків за 2001, 2002, 2012, 2013 роки наведені в таблиці 7. Порівняльна характеристика індексів забруднення води та модифікованих індексів забруднення для р. Інгулець – м. Снігурівка за період 2001–2014 рр. та оцінка якості води водного об'єкту приведена в таблиці 8. Індекс забруднення води ІЗВ по ділянці річки Інгулець, яка знаходиться на території Миколаївської області, за період спостережень змінювався в межах 0,75–6,73, максимальна величина (ІЗВ=6,73) характерна для 2001 року. Загалом, клас якості води змінювався від VI (дуже брудна) до II класу (чиста).

Використання модифікованого індексу забруднення показало, що якість води набагато гірша: кількісні показники змінюються від 3,95 (2014 р.) до 13,7 (2007 р.), а відповідна їм ступінь чистоти оцінюється як “забруднена” та “надзвичайно брудна”. Співпадіння результатів розрахунків за модифікованим та не модифікованим ІЗВ спостерігається для 2001–2009 рр., далі виявлені суттєві розбіжності, особливо для періоду 2012–2014 рр. у зв'язку з відсутністю спостережень за фенолами, складової частини методики, що в результаті дало якісну оцінку вод річки як “чисті” для 2012–2014 рр. Тому необхідне подальше дослідження якості води за іншими методиками.

Таблиця 5 – Оцінка якості води р. Інгулець – м. Снігурівка за індексом забруднення ІЗВ за 2001–2004 рр.

№	Показник	ГДК _i	2001 р.		2002 р.		2003 р.		2004 р.	
			C _i	C _i /ГДК _i	C _i	C _i /ГДК _i	C _i	C _i /ГДК _i	C _i	C _i /ГДК _i
1	Розч. О ₂	6,0	11,4	0,53	10,4	0,58	11,4	0,53	10,4	0,58
2	БСК ₅	3,0	15,3	5,09	9,0	3,00	15,3	5,09	9,0	3,00
3	Амоній	0,5	0,12	0,24	0,56	1,12	0,12	0,24	0,56	1,12
4	Нітрити	0,08	0,20	2,50	0,152	1,9	0,20	2,50	0,152	1,9
5	НП	0,05	<1,6	32,0	<1,6	32,0	<1,6	32,0	<1,6	32,0
6	Феноли	0,001	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σ				40,36		38,60		36,63		36,98
Клас якості				ІЗВ=6,73 VI (дуже брудна)		ІЗВ=6,43 VI (дуже брудна)		ІЗВ=6,11 VI (дуже брудна)		ІЗВ=6,16 VI (дуже брудна)

Таблиця 6 – Оцінка якості води р. Інгулець – м. Снігурівка за індексом забруднення ІЗВ за 2013–2014 рр.

№	Показник	ГДК _i	2013 р.		2014 р.	
			C _i	C _i /ГДК _i	C _i	C _i /ГДК _i
1	Розч. О ₂	6,0	10,9	0,55	11,4	0,52
2	БСК ₅	3,0	5,4	1,80	4,9	1,63
3	Амоній	0,5	0,39	0,78	0,43	0,86
4	Нітрити	0,08	0,044	0,55	0,071	0,89
5	НП	0,05	0,04	0,80	0,040	0,80
6	Феноли	0,001	0,00	0,00	0,00	0,00
Σ				4,48		4,70
Клас якості				ІЗВ=0,75 II (чиста)		ІЗВ=0,78 II (чиста)

Таблиця 7 – Оцінка якості води р. Інгулець – м. Снігурівка за модифікованим індексом забруднення ІЗВ за 2001, 2002, 2012, 2013 рр.

№	Показник	ГДК _i	2001 р.		2002 р.		2012 р.		2013 р.	
			C _i	C _i /ГДК _i	C _i	C _i /ГДК _i	C _i	C _i /ГДК _i	C _i	C _i /ГДК _i
1	Розч. О ₂	6,0	11,4	0,53	10,4	0,58	10,0	0,60	10,9	0,55
2	БСК ₅	3,0	15,3	5,09	9,0	3,00	5,6	1,87	5,4	1,80
3	НП	0,05	<1,6	32,0	<1,6	32,0	–	–	–	–
4	Мідь	0,001	0,011	11,0	0,011	11,0	0,009	9,00	0,01	10,0
4	Залізо	0,10	0,60	6,00	0,56	5,60	0,87	8,70	0,29	2,9
5	Хлориди	300	1255	4,18	1361	4,54	629,6	6,30	714,3	7,14
6	Сульфати	100	–	–	–	–	1219	4,06	1563	5,21
Σ				58,80		56,72		30,54		27,60
Клас якості				ІЗВ=9,80 VI (дуже брудна)		ІЗВ=9,45 VI (дуже брудна)		ІЗВ=5,09 V (брудна)		ІЗВ=4,60 V (брудна)

Наступним етапом дослідження було проведення оцінки якості води в створі р. Інгулець – м. Снігурівка та придатності цих вод для використання у рибному господарстві за методикою Гідрохімічного інституту [5], яка передбачає розрахунок комбінаторного індексу забруднення КІЗ. Умовний коефіцієнт комплексності (2) перевищує 10% для всіх років розглянутого періоду і змінюється від 44,4% (2013 р.) до 72,2% (2002 р.), тому нами виконана триступенева класифікація.

Результати розрахунків першого (3), другого

(4) ступенів, відповідні оціночні бали (табл. 2, 3), визначені загальні бали та характеристика якості, ЛПЗ і розрахунок КІЗ (заключний 3-ій ступінь класифікації (5)), та визначення класифікації якості наведені як приклад для 2001 р. у таблиці 9.

Розрахункові дані для всього періоду спостережень, що досліджується, зведені у таблиці 10.

Таблиця 8 – Результати оцінки якості води р. Інгулець – м. Снігурівка за індексами забруднення води відповідно до рибогосподарських норм за період 2001–2014 рр.

Рік спостереження	Індекс забрудненості води (ІЗВ)	Клас якості води	Ступінь чистоти	Модифікований індекс забрудненості води (ІЗВ)	Клас якості води	Ступінь чистоти
2001	6,73	VI	дуже брудна	9,80	VI	дуже брудна
2002	6,43	VI	дуже брудна	9,45	VI	дуже брудна
2003	6,11	VI	дуже брудна	9,73	VI	дуже брудна
2004	6,16	VI	дуже брудна	9,12	VI	дуже брудна
2005	6,26	VI	дуже брудна	9,47	VI	дуже брудна
2006	6,14	VI	дуже брудна	12,2	VII	надзвичайно брудна
2007	6,42	VI	дуже брудна	13,7	VII	надзвичайно брудна
2008	6,63	VI	дуже брудна	11,6	VII	надзвичайно брудна
2009	6,23	VI	дуже брудна	9,83	VI	дуже брудна
2010	1,13	III	помірно забруднена	5,27	V	брудна
2011	1,08	III	помірно забруднена	4,70	V	брудна
2012	0,99	II	чиста	5,09	V	брудна
2013	0,75	II	чиста	4,60	V	брудна
2014	0,78	II	чиста	3,95	IV	забруднена

Таблиця 9 – Оцінка якості води р. Інгулець – м. Снігурівка за комбінаторним індексом забруднення КІЗ для 2001 р.

№ п/п	Показник	C _i	P _i	Бал	K _i	Бал	Загальний бал	Характеристика якості	ЛПЗ
1	БСК ₅	15,3	1,00	4	5,10	2	8	дуже брудна	0
2	Розч. O ₂	11,4	1,00	4	0,53	1	4	брудна	0
3	Зав. речов.	29,6	0,75	4	1,48	1	4	брудна	0
4	Іон амонію	0,12	0,00	1	0,24	1	1	слабо забруднена	0
5	Нітриг-іон	0,20	0,75	3	2,50	2	6	дуже брудна	0
6	Нітрат-іон	6,39	0,00	1	0,16	1	1	слабо забруднена	0
7	Хлориди	1254,7	1,00	4	4,18	2	8	дуже брудна	0
8	Сульфати	392,7	1,00	4	3,93	2	8	дуже брудна	0
9	pH	7,97	0,00	1	0,94	1	1	слабо забруднена	0
10	НП	<1,6	1,00	4	32,0	3	12	неприпустимо брудна	1
11	АПАР	0,16	0,00	1	0,32	1	1	слабо забруднена	0
12	Залізо	0,60	1,00	4	6,00	2	8	дуже брудна	0
13	Мідь	0,011	1,00	4	11,0	3	12	неприпустимо брудна	1
14	Хром	<0,001	0,00	1	1,00	1	1	слабо забруднена	0
15	Нікель	0,010	0,25	2	1,00	1	2	забруднена	0
16	ХСК	13,9	0,00	1	0,70	1	1	слабо забруднена	0
17	Кальцій	171,4	0,75	4	0,95	1	4	брудна	0
18	Фосфати	0,05	0,00	1	0,25	1	1	слабо забруднена	0
Σ							КІЗ=83		2
n=18; 2 ЛПЗ; КІЗ = 83 = (83/18) n = 4,6 n							клас IV а, дуже брудна		

З отриманих результатів витікає, що вода у р. Інгулець – м. Снігурівка була “дуже брудна” у 78,6% випадків і “брудна” у 21,4%. Встановлено, що головними забруднюючими речовинами, які обумовлюють характеристику якості води як “неприпустимо брудна”, у 2001–2009 роках були нафтопродукти та мідь.

Наступним етапом дослідження було використання інтегральної методики на основі розраху-

нку коефіцієнтів забруднення χ (6). Приклад розрахунку для створу р. Інгулець – м. Снігурівка за 2002 р. наведений в таблиці 11.

При розрахунку коефіцієнту забруднення χ з пріоритетами (табл. 11, стовпчики 4, 5, 6) перші чотири ранги отримують такі показники:

Таблиця 10 – Оцінка якості води р. Інгулець – м. Снігурівка за комбінаторним індексом забруднення КІЗ за 2001–2014 рр.

Рік	КІЗ	ЛПЗ	Клас якості води	Розряд класу якості	Характеристика забруднення води
2001	83	2	IV	а	Дуже брудна
2002	90	2	IV	б	Дуже брудна
2003	94	2	IV	б	Дуже брудна
2004	78	2	IV	а	Дуже брудна
2005	83	1	IV	а	Дуже брудна
2006	92	2	IV	б	Дуже брудна
2007	98	2	IV	б	Дуже брудна
2008	105	2	IV	б	Дуже брудна
2009	88	1	IV	а	Дуже брудна
2010	76	0	IV	а	Дуже брудна
2011	75	0	IV	а	Дуже брудна
2012	67	0	III	б	Брудна
2013	58	0	III	б	Брудна
2014	62	0	III	б	Брудна

Таблиця 11 – Оцінка якості води р. Інгулець – м. Снігурівка за критерієм забрудненості χ за 2002 р.

№ п/п	Показник	$C_i/ГДК_i$	З пріоритетами			Без пріоритетів		
			Ранг	$\varphi(i)$	$\varphi(i)C_i/ГДК_i$	Ранг	$\varphi(i)$	$\varphi(i)C_i/ГДК_i$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	БСК ₅	3,00	1	1,000000	3,00000	5	0,312500	0,93750
2	Розч. O ₂	0,58	4	0,500000	0,28846	15	0,000916	0,00053
3	Зав. речов.	2,40	9	0,035156	0,08437	7	0,109375	0,15000
4	Іон амонію	1,12	2	1,000000	1,12000	10	0,019531	0,02187
5	Нітрит-іон	1,90	10	0,019531	0,03711	8	0,062500	0,11875
6	Нітрат-іон	0,24	17	0,000259	0,00006	17	0,000259	0,00006
7	Хлориди	4,54	7	0,109375	0,49656	4	0,500000	2,27000
8	Сульфати	2,73	8	0,062500	0,17063	6	0,062500	0,51188
9	pH	0,93	14	0,001709	0,00159	13	0,003174	0,00295
10	НП	32,0	3	0,750000	24,0000	1	1,000000	32,000
11	АПАР	0,20	18	0,000137	0,00003	18	0,000137	0,00003
12	Залізо	5,60	6	0,062500	1,05000	3	0,750000	4,2000
13	Мідь	11,0	5	0,312500	3,43750	2	1,000000	11,000
14	Хром	1,00	12	0,005859	0,00586	11	0,010742	0,01074
15	Нікель	1,70	11	0,010742	0,01183	9	0,035156	0,05977
16	Кальцій	1,00	13	0,003174	0,00317	12	0,005859	0,00586
17	Фосфати	0,79	15	0,000916	0,00072	14	0,001709	0,00135
18	Марганець	0,50	16	0,000488	0,00024	16	0,000488	0,00024
Σ				3,9998	33,7097		3,9998	51,2915
			$\chi = 33,7097/3,9998 = 8,43$ (катастрофічно забруднена)			$\chi = 51,2915/3,9998 = 12,8$ (катастрофічно забруднена)		

БСК₅, NH₄⁺, НП і O₂. Інші показники ранжовані в спадному порядку за співвідношенням $C_i/ГДК_i$. При ранжуванні усіх показників за співвідношенням $C_i/ГДК_i$ без встановлення пріоритетів (табл. 11) результати розрахунків зведені в стовпчики 7, 8, 9. Недоліком методики є значна залежність оцінки якості води від способу ранжування показників.

Результати інтегральної оцінки води у створі р. Інгулець – м. Снігурівка за рибогосподарськими показниками для періоду спостереження 2001–2014 рр. представлені в таблиці 12. Якісна

оцінка ступеня забруднення співпадає для періоду спостереження 2011–2009 рр., якість води оцінюється як “катастрофічно забруднена”. За результатами розрахунку з пріоритетами з 2010 року якість води змінюється від “припустимо забрудненої” до “мало забрудненої” (2014). Аналіз розрахунків без пріоритетів вказує на переміщення з 2010 р. на перші чотири ранги міді, сульфатів, хлоридів та заліза, тоді як нафтопродукти за рахунок різкого зниження їх концентрації у річковій воді з першого рангу для 2009 р. перемістилися на сьомий ранг у 2010 р.,

Таблиця 12 – Оцінка якості води р. Інгулець – м. Снігурівка за методом інтегральної оцінки (за критерієм забрудненості χ) за рибгосподарськими нормами для 2001–2014 рр.

Рік	З пріоритетами		Без пріоритетів	
	Коефіцієнт забруднення вод χ	Якісна оцінка ступеня забруднення	Коефіцієнт забруднення вод χ	Якісна оцінка ступеня забруднення
2001	8,75	катастрофічно забруднена	12,3	катастрофічно забруднена
2002	8,43	катастрофічно забруднена	12,8	катастрофічно забруднена
2003	8,27	катастрофічно забруднена	14,2	катастрофічно забруднена
2004	7,82	катастрофічно забруднена	12,5	катастрофічно забруднена
2005	8,39	катастрофічно забруднена	12,8	катастрофічно забруднена
2006	9,40	катастрофічно забруднена	16,4	катастрофічно забруднена
2007	10,4	катастрофічно забруднена	18,9	катастрофічно забруднена
2008	9,57	катастрофічно забруднена	15,4	катастрофічно забруднена
2009	5,84	катастрофічно забруднена	21,3	катастрофічно забруднена
2010	2,70	припустимо забруднена	6,68	катастрофічно забруднена
2011	2,50	припустимо забруднена	6,04	катастрофічно забруднена
2012	2,49	припустимо забруднена	6,45	катастрофічно забруднена
2013	2,18	припустимо забруднена	5,92	катастрофічно забруднена
2014	1,97	мало забруднена	5,11	катастрофічно забруднена

та на дванадцятий – у 2014 році.

Аналіз наведених результатів оцінки якості води за всіма наведеними методиками дозволяє простежити стійку тенденцію низької якості води з 2001 по 2009 рр. та покращення якості води з 2010 року, яке відбулося за рахунок різкого зниження концентрації нафтопродуктів в річкової воді (рис. 1).

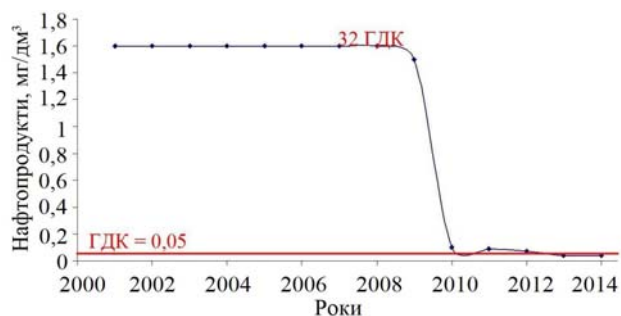


Рис. 1 – Динаміка зміни концентрації нафтопродуктів в створі р. Інгулець – м. Снігурівка за період з 2001 по 2014 роки

Зниження концентрації нафтопродуктів в поверхневих водах р. Інгулець і р. Саксагань (ліва притока Інгульця) стало можливим, по-перше, в результаті запровадження Розпорядженням КМУ у 2011 році нового Регламенту скиду надлишків зворотних вод гірничорудних підприємств Кривбасу в р. Інгулець. В процесі скидання шахтних вод в русло річки Інгулець, через канал Дніпро – Інгулець, подається дніпровська вода. Після скиду шахтних вод (наприкінці лютого), починається процес промивки русла Інгульця водою того ж каналу Дніпро – Інгулець (на початку квітня). Промивка триває до середини серпня. Цей захід дає можливість використовувати інгу-

лецьку воду впродовж вегетаційного періоду в ІЗС (Миколаївська обл., м. Снігурівка) для зрошення. Ця схема, після тривалих експериментів, вважається найбільш досконалою [21].

По-друге, відбулося різке падіння виробництва товарної руди у 2008–2009 рр., в порівнянні з 2007 р. на 47% ВАТ “КЗРК”, на 40% – ВАТ “ЄВРАЗ Суха Балка”, на 39% – ВАТ “Арселор-Міттал Кривий Ріг” та ін. Об’єми виробництва агломерату ВАТ “ПівдГЗК” та ВАТ “Арселор-Міттал Кривий Ріг” мають схожі тенденції динаміки виробництва, що знайшло своє відображення в значному спаді виробництва агломерату. За даними Південного гірничозбагачувально-го комбінату відбулося трикратне зниження у 2010 році (рис. 2) [22].

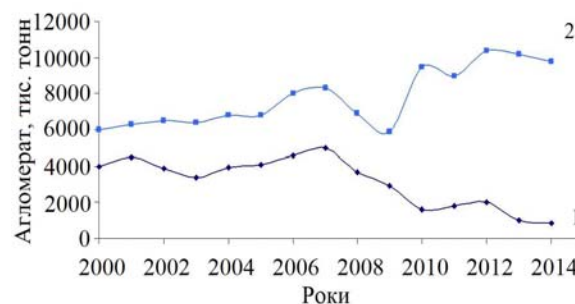


Рис. 2 – Динаміка виробництва агломерату гірничодобувними підприємствами України в 2000–2014 рр.: 1 – Південний ГЗК, 2 – “АрселорМіттал” [22–24]

Третьою причиною зниження концентрації нафтопродуктів в р. Інгулець, незважаючи на поступове збільшення об’єму виробництва, є впровадження на одному з найбільших в світі металургійних комбінатів “АрселорМіттал Кри-

вий Ріг” екологічної політики підприємства, яка передбачає застосування екологічно безпечних технологій випуску частини продукції (з 2005 по 2014 р. витрачено біля 3 млрд. грн.) та системи контролю впливу підприємства на довкілля. Впровадження системи екологічного моніторингу стічних вод та реконструкція на р. Саксагань у 2010 році зливової каналізації цеху технологічного автотранспорту, з сучасними очисними спорудами “Комплект-Екологія”, дозволили знизити концентрацію зливових, талих та поливних вод з виробничих майданчиків до менш ніж 0,05 мг/дм³ при нормативі 3 мг/дм³ для нафтопродуктів, і до 3 мг/дм³ при нормативі 10 мг/дм³ для завислих речовин. Також в 2010 році завершено будівництво мойки великомонтажних машин з оборотним циклом водозабезпечення. Виконана реконструкція відвалів та хвостосховищ (“З’єднане”, “Миролюбівське” з нарощуванням дамб обвалування до +146 м та +145 м, відповідно). Впроваджена технологія картового наміву хвостосховищ, яка збільшує ступінь екологічної безпеки експлуатації цих споруд.

Найбільше уваги на підприємстві приділяють ефективності роботи водоочисних споруд (використання принципово нової системи по уловлюванню нафтопродуктів), систем зворотного водопостачання та водовідведення. Контроль якості води проводиться за 39 показниками, основними з яких є іони амонію, аміак, нітрити, нітрати, нафтопродукти, завислі

речовини та залізо. На підприємстві діє автоматична система обліку об’ємів стічних вод, якою обладнані гідротехнічні пости на обвідному каналі. Вимірювання об’ємів виконується акустичним приладом з електронною реєстрацією даних. За період 2003–2010 рр. підприємству “Арселор-Міттал Кривий Ріг” вдалося знизити об’єми стічних вод в 6 разів [24].

В лютому 2015 р. в ВАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг” відбувся другий наглядний аудит відповідності системи екологічного менеджменту вимогам міжнародного стандарту ISO 14001:2004. В результаті аудиту в ВАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг” спеціалісти компанії “QSCert-Ukraine B.V.” (нідерландський підрозділ міжнародного органа по сертифікації QSCert) підтвердили, що система екологічного менеджменту на підприємстві функціонує ефективно і відповідає вимогам міжнародного стандарту ISO 14001:2004. Дія сертифіката підтверджена до березня 2016 року.

Зведені результати оцінки якості води р. Інгулець – м. Снігурівка за використаними методиками відповідно до рибогосподарських норм за період 2001–2014 рр. представлені в таблиці 13. Результати якісної оцінки ступеня забруднення р. Інгулець демонструють суттєві розбіжності між методиками, що дозволяє стверджувати про недостатність використання однієї методики для повного обґрунтованого висновку щодо екологічного стану водного об’єкту.

Таблиця 13 – Зведені результати оцінки якості води р. Інгулець – м. Снігурівка за різними методиками за рибогосподарськими нормами за період 2001–2014 рр.

Рік	Якісна оцінка ступеня забруднення				
	Індекс забруднення води (ІЗВ)	Модифікований індекс забруднення води (ІЗВ)	Комбінаторний індекс забруднення води (КІЗ)	Коефіцієнт забруднення вод χ з пріоритетами	Коефіцієнт забруднення вод χ без пріоритетів
2001	дуже брудна	дуже брудна	дуже брудна	катастрофічно забруднена	катастрофічно забруднена
2002					
2003					
2004		надзвичайно брудна			
2005					
2006					
2007					
2008					
2009		дуже брудна			
2010	помірно забруднена	брудна	брудна	припустимо забруднена	
2011					
2012	чиста	забруднена	брудна	мало забруднена	
2013					
2014					

Таким чином, аналіз наведених результатів оцінки якості води р. Інгулець – м. Снігурівка за обраними методиками відповідно до рибно-господарських норм для періоду 2001–2014 рр., дозволяє стверджувати, що найбільш адекватні оцінки якості води та екологічного стану водного об'єкту можна отримати за допомогою розрахунків коефіцієнту забруднення χ та КІЗ, в яких враховується ефект сумарної дії речовин. Передбачається подальше дослідження якості води р. Інгулець за комплексними показниками екологічного стану, щоб з належною вірогідністю стверджувати про неможливість використання пониззя р. Інгулець для рибного господарства та визначення можливого використання водного об'єкту для інших водокористувачів.

5. ВИСНОВКИ

Динаміка зміни концентрацій речовин в р. Інгулець в межах Миколаївської області на протязі 2001–2014 рр. демонструє потужний техногенний вплив на систему хімічного складу води річки. Найчастіше спостерігалось перевищення ГДК по нафтопродуктам, міді, залізу, сульфатам, хлоридам, що свідчить про те, що основним джерелом забруднення залишаються скидні води гірничорудних підприємств Кривбасу. Аналіз результатів дослідження дозволяє стверджувати, що впровадження сучасних технологій випуску продукції та ефективних очисних споруд, які забезпечують очищення забруднених вод окремих промислових підприємств Криворіжжя відповідно до вимог діючих стандартів, дозволяє, в деякій мірі, поліпшити екологічний стан водних ресурсів басейну р. Інгулець. Саме промивка дніпровською водою р. Інгульця в вегетаційний період суттєво знижує концентрацію деяких забруднюючих речовин в межах Миколаївської та Херсонської областей, але негативно впливає на нерестовища риб і в окремі періоди концентрації забруднюючих речовин все одно перевищують чинні нормативи.

Методика оцінки якості води за індексами забруднення (ІЗВ) не може бути рекомендована для використання для створу р. Інгулець – м. Снігурівка у зв'язку з відсутністю спостережень за фенолами, складової частини методики, що в результаті дало якісну оцінку вод річки як “чисті” для 2012–2014 рр., але не відповідає дійсності. Методика оцінки стану вод-

ного об'єкту за модифікованим ІЗВ характеризується обмеженістю показників, тому використання тільки її не є достатнім для обґрунтованого висновку стосовно екологічного стану водного об'єкту. Результати аналізу за модифікованим ІЗВ близькі за підсумками до методик ГХІ та інтегральної оцінки з пріоритетами. Але недоліком методу інтегральної оцінки є вагома залежність оцінки якості води від способу ранжування показників. Також за результатами цього методу наявні розбіжності ступеня забруднення за період 2010–2014 рр. при аналізі з пріоритетами та без них за рахунок переміщення з 2010 р. на перші чотири ранги міді, сульфатів, хлоридів та заліза, тоді як нафтопродукти за рахунок різкого зниження їх концентрації у річковій воді з першого рангу для 2009 р. перемістилися на сьомий ранг у 2010 р., та на дванадцятий – у 2014 році. Тому, відмічаємо необхідність продовження дослідження якості води пониззя р. Інгулець за методиками комплексної оцінки, які забезпечать урахування ефекту сумарної дії поллютантів та допоможуть проаналізувати можливість відновлення гідрохімічного балансу водного об'єкту після “промивки” дніпровською водою або констатувати екологічний регрес водного ресурсу. Поточні зведені результати оцінки якості води для створу р. Інгулець – м. Снігурівка за гідрохімічними показниками, на жаль, вже демонструють неможливість використання пониззя р. Інгулець для рибного господарства.

Дослідження показників якості води у створі р. Інгулець – м. Снігурівка, установлених на основі застосування різних методик розрахунків до гідрохімічних даних, показали, що води є переважно брудні, дуже брудні, катастрофічно брудні з точки зору оцінки можливості їх використання для риборозведення. За цими даними водна екосистема р. Інгулець – м. Снігурівка оцінюється як така, що знаходиться у стані екологічного регресу. Проте, виявлені деякі позитивні зміни, пов'язані із зменшенням надходження нафтопродуктів у річку внаслідок покращення роботи водоочисних споруд. Саме з 2010 р. виявлено покращення якості води, при використанні тих показників, які ураховують концентрацію нафтопродуктів (ІЗВ, КІЗ, за критерієм забрудненості χ з пріоритетами). Подальші дослідження передбачають комплексну оцінку якості води відповідно нормативів якості води поверхне-

вих водних об'єктів культурно-побутового та рекреаційного призначення з метою оцінки можливості використання води річки Інгулець для інших водокористувачів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Миколаївській області у 2012 році. – Миколаїв, 2013. – 204 с.
2. Романенко В.Д. Актуальні гідроекологічні проблеми в контексті Європейської водної політики /В.Д. Романенко //Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету ім. В. Гнатюка. Серія: Біологія. Спеціальний випуск “Гідрогеологія”. – 2005. – №3(26). – С. 378–381.
3. Directive 2000/60/ES of the European Parliament of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official journal the European Communities*, 2000, L. 327. 72 p.
4. Положення про державну систему моніторингу довкілля. [затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 30.03.98 №391] [Електронний ресурс] // Кабінет Міністрів України: [сайт]. – Режим доступу: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/391-98-p>
5. Емельянова В.П. Оценка качества поверхностных вод суши по гидрохимическим показателям /В.П. Емельянова, Г.Н. Данилова, Т.Х. Колесникова //Гидрохимические материалы. – 1983. – Т.LXXXVIII/ – С. 119–129.
6. Сніжко С.І. Оцінка та прогнозування якості природних вод /С.І. Сніжко – К.: Ніка-Центр, 2001. – 262 с.
7. Гігієна та екологія /За ред. В.Г. Бардова. – Вінниця: Нова Книга, 2006. – 720 с.
8. Оцінка якості природних вод: навчальний посібник /С.М. Юрасов, Т.А. Сафранов, А.В. Чугай. – Одеса: Екологія, 2012. – 168 с.
9. Вступ до економічної і соціальної географії: Підручник /А.П. Голиков, Я.Б. Олійник, А.В. Степаненко – К.: Либідь, 1997. – 320 с.
10. Морозов В.В. Формування якості зрошувальної води на Інгулецькому масиві /В.В. Морозов, В.М. Нежлукченко, Є.Г. Волощук – Херсон: РВЦ ХДАУ “Колос”, 2004. – 228 с.
11. Джерело зрошення – річка Інгулець. [Електронний ресурс] //Управління каналів Інгулецької зрошувальної системи: [сайт]. – Режим доступу: <http://www.ukios.mk.ua>.
12. Гідролого-хімічна характеристика мінімального стоку річок басейну Дніпра /В.К. Хільчевський, І.М. Ромась, М.І. Ромась та ін. / За ред. В.К. Хільчевського. – К.: Ніка-Центр, 2007. – 184 с.
13. Шерстюк Н.П. Особливості гідрохімічних процесів у техногенних та природних водних об'єктах Кривбасу /Н.П. Шерстюк, В.К. Хільчевський – Дніпропетровськ: Тов. Акцент III, 2012. – 263 с.
14. Перевозчиков І.М. Гідрохімічний режим та якість води річки Інгулець /І.М. Перевозчиков, В.М. Савицький //Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2013. – Т. 1(28). – С. 76–82.
15. Харитонов М.М. Екологічна оцінка якості поверхневих вод басейну річки Дніпро у Дніпропетровській області /М.М. Харитонов, Л.Б. Анісімова //Екологія і природокористування. – 2013. – Випуск 17. – С. 75–85.
16. Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України / [С.М. Степаненко, А.М. Польовий, Н.С. Лобода та ін.]; за ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. – Одеса: “ТЕС”, 2015. – 520 с.
17. Гопченко Є.Д. Оцінювання природних водних ресурсів Нижнього Подніпров'я за метеорологічними даними /Є.Д. Гопченко, Н.С. Лобода, І.О. Шахман //Міжвід. наук. зб. України. – Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2005. – Вип. 49. – С. 485–496.
18. Лобода Н.С. Функції відклику водогосподарських систем Нижнього Подніпров'я на зрошення сільськогосподарських масивів водами Дніпра /Н.С. Лобода, І.О. Шахман //Вісник Одеського державного екологічного університету. – 2006. – Вип. 3. – С. 175–181.
19. Шахман І.О. Водні ресурси Нижнього Подніпров'я в умовах зрошувального землеробства /І.О. Шахман //Міжвід. наук. зб. України. – Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2008. – № 50. – С. 102–107.
20. Юрасов С.М. Комплексна оцінка якості вод за різними методиками та шляхи її вдосконалення /С.М. Юрасов, С.О. Кур'янова, М.С. Юрасов //Український гідрометеорологічний журнал. – 2009. – №5. – С. 42–53.
21. Шерстюк Н.П. Результати гідрохімічного районування Інгульця методом кластерного аналізу /Н.П. Шерстюк, О.Г. Байбуз, //Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2015. – Т. 3(38). – С. 60–68.
22. Вилкул Ю.Г. Качество железорудного сырья подземной и открытой добычи как основа конкурентоспособности горнодобывающей промышленности Украины /Ю.Г. Вилкул, А.А. Азарян, В.А. Азарян, В.А. Колосов //Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2012. - №5 (277). – С. 1–4.
23. ЮГОК: О комбинате [Електронний ресурс] //ПАО “Южный горно-обогатительный комбинат”: [сайт]. Режим доступу: <http://www.ugok.info/>.
24. Экология: Основные проекты [Електронний ресурс] // ПАО “АрселорМиталл Кривой Рог”: [сайт]. Режим доступу: <http://ukraine.arcelormittal.com/index.php>.

REFERENCES

1. Rehional'na dopovid' pro stan navkolyshn'oho pryrodnoho seredovyshcha v Mykolaivys'kiy oblasti u 2012 rotsi [A regional report on the state of the environment in the Mykolaiv region in 2012]. Mykolaiv, 2013. 204 p.
2. Romanenko V.D. Aktual'ni hidroekolohichni problemy v konteksti Yevropeys'koyi vodnoyi polityky [Actual hydroecological problems in the context of European water policy]. *Naukovi zapysky Ternopil's'koho natsional'noho pedahohichnoho universytetu im. V. Hnatyuka. Seriya:*

- Biologiya. Spetsial'nyy vypusk "Hidroheologiya" – Scientific notes of The B. Hnatyuk Ternopil National Pedagogical University. Series: Biology. Special Issue "Hydrogeology"*, 2005, no. 3(26), pp. 378–381.
3. Directive 2000/60/ES of the European Parliament of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official journal the European Communities*, 2000, L. 327. 72 p.
 4. *Statement on the State Environmental Monitoring System. Approved by the Cabinet of Ministers of Ukraine on 03.30.98 no.391* (In Ukraine).
 5. Emel'yanova V.P., Danilova G.N., Kolesnikova T.Kh. Otsenka kachestva poverkhnostnykh vod sushi po gidrokhimicheskim pokazatelyam [Evaluation of the quality of surface water on hydrochemical indicators]. *Gidrokhimicheskie materialy – Hydrochemical materials*, 1983, vol. LXXXVIII, pp. 119–129.
 6. Snizhko S.I. *Otsinka ta prohnozuvannya yakosti pryrodnykh vod* [Assessing and predicting the quality of natural waters]. Kiev: Nika-Tsentr, 2001. 262 p.
 7. Bardova V.H. *Hihiyena ta ekolohiya* [Hygiene and Ecology]. Vinnytsya: Nova Knyha, 2006. 720 p. (Ed.: Bardova V.H.).
 8. Urasov S.M., Safranov T.A., Chugay A.V. *Otsinka yakosti pryrodnykh vod* [Evaluation of the quality of natural waters]. Odessa: Ecology, 2012. 168 p.
 9. Holykov A.P., Oliynyk Ya.B., Stepanenko A.V. *Vstup do ekonomichnoyi i sotsial'noyi heohrafiyi* [Introduction to the economic and social geography]. Kiev: Lybid', 1997. 320 p.
 10. Morozov V.V., Nezhlukchenko V.M., Volochnyuk E.G. *Formirovanie kachestva orositel'noy vody na Inguletskom massive* [Formation of irrigation water quality on Inhulets array]. Herson: RVC HDAU "Kolos", 2004. 228 p.
 11. River Ingulets is the source of irrigation. "Unpublished Source". *Management channels Ingulets irrigation system*. Access mode: <http://www.ukios.mk.ua>.
 12. Khil'chevskiy V.K., Romas' I.M., Romas' M.I. *Gidrologo-khimicheskaya kharakteristika minimal'nogo stoka rek basseyna Dnepra* [Hydrological and chemical characteristics of the minimum flow of the Dnieper]. Kiev: Nika-Centr, 2007. 184 p. (Ed.: Khil'chevskiy V.K.).
 13. Sherstyuk N.P., Khil'chevs'kiy V.K. *Osoblyvosti khidrokhimichnykh protsesiv u tekhnohennykh ta pryrodnykh vodnykh ob'yektakh Kryvbasu* [Features hydrochemical processes in man-made and natural water Krivbas objects]. Dnepropetrovsk: Tov.Akcent III, 2012. 263 p.
 14. Perevozchikov I.M., Savits'kiy V.M. *Hidrokhimichnyy rezhym ta yakist' vody richky Ingulets'* [Hydrochemical regime water quality of the Ingulets river]. *Hidrolohiya, hidrokhiimiya i hidroekolohiya – Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*, 2013, vol. 1(28), pp. 76–82.
 15. Kharitonov M.M., Anisimova L.B. *Ekolohichna otsinka yakosti poverkhnovykh vod baseynu richky Dnipro u Dnipropetrovs'kiy oblasti* [Ecological assessment of surface waters quality for Dnipro river basin in Dnipropetrovsk region]. *Ekolohiya i pryrodokorystuvannya – Ecology and Environmental Sciences*, 2013, issue 17, pp. 75–85.
 16. Stepanenko S.M., Pol'ovyy A.M., Loboda N.S. etc. *Klimatychni zminy ta yikh vplyv na sfery ekonomiky Ukrainy* [Climate change and its impact on sectors of the economy of Ukraine]. Odessa: "TES", 2015. 520 p. (Eds: Stepanenko S.M., Pol'ovyy A.M.).
 17. Gopchenko E.D., Loboda N.S., Shahman I.A. *Otsinyuvannya pryrodnykh vodnykh resursiv Nyzhn'oho Podniprov'ya za meteorolohichnymi danymi* [Estimation of natural water resources of the Lower Dnieper on meteorological data]. *Mizhvid. nauk. zb. Ukrainy: Meteorolohiya, klimatolohiya ta hidrolohiya – Meteorology, Climatology and Hydrology*, 2005, issue 49, pp. 485–496.
 18. Loboda N.S., Shahman I.A. *Funktsiyi vidklyku vodohospodars'kykh system Nyzhn'oho Podniprov'ya na zroshennya sil'skohospodars'kykh masyviv vodamy Dnipro* [Response Functions of the Lower Dnieper water systems for irrigation of agricultural arrays Dnieper]. *Visn. Odes. derz. ekol. univ. – Bulletin of Odessa state environmental university*, 2006, issue 3, pp. 175–181.
 19. Shakhman I.O. *Vodni resursy Nyzhn'oho Podniprov'ya v umovakh zroshuval'noho zemlerobstva* [Water resources in the Lower Dnieper under irrigation farming]. *Mizhvid. nauk. zb. Ukrainy: Meteorolohiya, klimatolohiya ta hidrolohiya – Meteorology, Climatology and Hydrology*, 2008, issue 50, pp. 102–107.
 20. Urasov S.M., Kur'ianova S.O., Urasov M.S. *Kompleksna otsinka yakosti vod za riznymi metodykami ta shlyakhy yi vdoskonalennya* [Complex estimation of quality of waters on different methods and the ways of its perfection]. *Ukr. gidrometeorol. zh. – Ukrainian hydrometeorological journal*, 2009, no. 5, pp. 42–53.
 21. Sherstyuk N.P., Baybuz O.H. *Rezultaty hidrokhimichnoho rayonuvannya Inhul'tsya metodom klasternoho analizu* [Results hydrochemical zoning by cluster analysis Inhulets]. *Hidrolohiya, hidrokhiimiya i hidroekolohiya – Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*, 2015, vol. 3(38). – pp. 60–68.
 22. Vilkul Ju.G., Azaryan A.A., Azaryan V.A., Kolosov V.A. *Khachestvo zhelezorudnogo syr'ya podzemnoy i otkrytoy dobychi khakh osnova khonkhurentosposobnosti gorno-dobyvayushey promyshlennosti Ukrainy* [The quality of iron ore underground and open-pit mining as the basis for the competitiveness of the mining industry in Ukraine]. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost' – Metallurgical and Mining Industry*, 2012, no. 5(277), pp. 1–4.
 23. *JuGOK: PAO "Yuzhnyy gorno-obogatitel'nyy kombinat"* (Southern Mining Processing Plant). Available at: <http://www.ugok.info/> (accessed 10 November 2015).
 24. *PAO "ArcelorMittal Krivoj Rog"* (ArcelorMittal Kryviy Rih). Available at: <http://ukraine.arcelormittal.com/index.php> (accessed 10 December 2015).

WATER QUALITY ESTIMATION AT THE GAUGE STATION OF THE INGULETS RIVER, TOWN OF SNIGURIVKA, BY HYDROCHEMICAL PARAMETERS

I.A. Shakhman¹, as. prof., c. geogr. n., as. prof. of Chair of Ecology and Sustainable Development
N.S. Loboda², prof., d. geogr. n., head of Chair of Hydroecology and water researches

¹ Kherson State Agrarian University,
23 Rosa Luxemburg str., 73006, Kherson, Ukraine

² Odessa State Environmental University,
15 Lvivska str., 65016, Odessa, Ukraine, shakhman.i.a@gmail.com

The article contains the results of water quality estimation by hydrochemical parameters at the gauge station of the Ingulets River, town of Snigurivka, during the observation period of 2001–2014 based on modern calculation methods. The analysis of anthropogenic factors affecting change of quality of surface water of the Ingulets River was used. It was found that by hydrochemical parameters waters are mostly "contaminated", "very contaminated", or "catastrophically contaminated".

River flow appears to be the main source of water supply for the population and the economy. There is an acute deficit of water in the South of Ukraine. Because of use of rivers for economic activity of Mykolaiv region estimation of the ecological state of the Ingulets River should be carried out.

Starting from 2010 a tendency of quality improvement via reducing of petroleum products concentration was discovered. Dynamics of changes pollutants' concentration shows a decrease of petroleum products' concentration but over the last years the chemical composition of water in the river has not significantly improved, ability of the river to cleanse and restore itself does not return. The ecological state of the river is characterized as an ecological regress. There is a necessity of further research using modern methods of complex estimation of surface waters sources' quality.

Keywords: ecological estimation of water quality, hydrochemical indicators, changes of anthropogenic stress, estimation of water fitness for fishery use.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ В СТВОРЕ Р. ИНГУЛЕЦ – Г. СНИГИРЁВКА ПО ГИДРОХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

И.А. Шахман¹, доц., к. геогр. н., доц. кафедры экологии и устойчивого развития
Н.С. Лобода², проф., д. геогр. н., зав. кафедры гидроэкологии и водных исследований

¹ Херсонский государственный аграрный университет,
ул. Р.Люксембург, 23, 73006, Херсон, Украина

² Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, shakhman.i.a@gmail.com

В статье приведены результаты оценки качества воды по гидрохимическим показателям в створе р. Ингулец – г. Снигирёвка за период наблюдений 2001–2014 гг. на основе современных расчётных методик. Установлено, что воды преимущественно “загрязнённые”, “очень загрязнённые” или “катастрофически загрязнённые”. Выявлена тенденция улучшения качества воды в результате уменьшения содержания нефтепродуктов, начиная с 2010 года. Экологическое состояние реки охарактеризовано как экологический регресс.

Ключевые слова: экологическая оценка качества воды, гидрохимические показатели, изменения антропогенной нагрузки, оценка пригодности вод для рыбохозяйственного использования.

Дата першого подання: 20.03.2016
Дата подання остаточної версії: 13.05.2016
Дата публікації: 04.07.2016

УДК 551.468.4

**РЕЗУЛЬТАТИ ЧИСЕЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ВНУТРІШНЬОРІЧНОЇ МІНЛИВОСТІ
ХАРАКТЕРИСТИК ГІДРОЛОГІЧНОГО РЕЖИМУ КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ****Ю.С. Тучковенко, д.геогр.н.,
Д.В. Кушнір***Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, science@odeku.edu.ua*

Для вирішення задачі діагнозу та прогнозу просторово-часової мінливості гідрологічних характеристик Куяльницького лиману (рівня, солоності, температури води), які обумовлюють хімічні та біологічні процеси у ньому, і, таким чином, впливають на властивості рапи та лікувальних грязей, застосована нестационарна тривимірна чисельна гідротермодинамічна модель Delft3D-FLOW. Наведені в роботі результати адаптації до умов Куяльницького лиману та верифікації моделі свідчать про можливість її використання для дослідження особливостей і прогнозування просторово-часової мінливості гідрологічних характеристик Куяльницького лиману під впливом природних та антропогенних чинників, які формують його гідрологічний режим. Показана важлива роль врахування при моделюванні малих водотоків, які впадають в лиман, та точного завдання інтенсивності зливових атмосферних опадів. Визначено, що при штормових вітрах повздовжніх по відношенню до акваторії лиману напрямків, різниця відміток рівня води в північній та південній його частинах може досягати 0,35-0,4 м.

Ключові слова: Куяльницький лиман, гідрологічний режим, гідродинамічне моделювання.

1. ВСТУП

Куяльницький лиман належить до групи закритих лиманів північно-західного Причорномор'я і є унікальним водним об'єктом загальнодержавного значення, віднесеним до категорії лікувальних. Він має значні лікувальні, бальнеологічні, рекреаційні, туристичні природні ресурси, які становлять потужний потенціал для соціально-економічного розвитку Одеської агломерації і здатні надати серйозний позитивний вплив на розвиток рекреації, охорони здоров'я та економіки всієї країни. Однак, в останнє десятиріччя, через активну нерегульовану антропогенну (у тому числі водогосподарську) діяльність на водозборі Куяльницького лиману, посилення посушливості клімату, відсутність ефективної системи комплексного управління (інтегрованого управління природокористуванням за басейновим принципом), виникла загроза повного зникнення лиману та втрати запасів унікальних лікувальних грязей і ропи, а також своєрідної флори і фауни водойми. Обумовлено це катастрофічним обмілінням лиману, зменшенням як площі його водної поверхні, так і об'єму вод, і, як наслідок, збільшенням солоності ропи вище 300 ‰, припиненням процесу утворення лікувальних грязей.

Для запобігання загрози зникнення лиману та втрати його природних ресурсів, засоленню

грунтів прилеглих територій, у грудні 2014 року була введена в експлуатацію водопропускна система, яка дозволила поповнювати Куяльницький лиман морською водою з Одеської затоки. Згідно із завданнями «Регіональної програми збереження та відновлення водних ресурсів у басейні Куяльницького лиману на 2012-2018 рр.», наступним кроком на шляху реабілітації лиману повинен стати комплекс природоохоронних заходів, спрямованих на збільшення надходження до нього прісних вод зі стоком р. Великий Куяльник та інших малих річок і балок, розташованих на водозборі лиману.

З огляду на вищевказане, особливої актуальності набуває задача відтворення та прогнозування просторово-часової мінливості гідрологічних характеристик Куяльницького лиману (рівня, солоності, температури води), які обумовлюють хімічні та біологічні процеси у ньому, і, таким чином, впливають на властивості ропи та лікувальних грязей.

Оскільки моніторинг проводиться епізодично, в обмеженій кількості точок на акваторії лиману, то для вирішення поставленої задачі доцільно використовувати методи чисельного математичного моделювання.

Метою роботи є представлення і обговорення результатів адаптації до умов Куяльницького лиману та верифікації тривимірної чисельної гідротермодинамічної моделі Delft3D-FLOW [1,

2]. Задача, яка вирішувалась, – визначення можливостей застосування вказаної моделі для діагнозу і прогнозу просторово-часової мінливості гідрологічних характеристик лиману за умов водогосподарських перетворень на його водозбірному басейні, різних режимів поповнення лиману морською водою з Одеської затоки, зміни кліматичних чинників.

Об'єктом дослідження є гідрологічний режим Куяльницького лиману, а предметом дослідження – просторово-часова внутрішньорічна мінливість гідрологічних характеристик лиману за результатами спостережень та моделювання.

Опис гідрологічного режиму Куяльницького лиману та особливостей мінливості його характеристик у ХХ столітті, до початку прояву кліматичних змін (з кінця 80-х років), викликаних глобальним потеплінням, приведено в роботах [3, 4]. Багаторічна мінливість складових водного балансу, рівня та солоності води в лимані за період спостережень з 70-х років ХІХ ст. до 2009 р. показана в [5]. Аналіз водного балансу лиману та багаторічної мінливості його складових в період 1960-2007 рр. виконаний в [6]. Чинники, які формують сучасний гідрохімічний режим Куяльницького лиману та впливають на його екологічний стан, розглянуті в роботах [7, 8]. Зокрема, в [8], на підставі узагальнення результатів багаторічних (2000-2013 рр.) комплексних гідролого-гідрохімічних, гідробіологічних і геохімічних досліджень компонентів водної і наземної екосистеми Куяльницького лиману та динаміки їх міжрічних змін, виявлені причини та відображені наслідки деградації природних компонентів. Розглянуто аспекти зниження ресурсного потенціалу лиману і прибережних територій в умовах кліматичних змін та антропогенного впливу.

Гідродинамічне моделювання для акваторії Куяльницького лиману раніше виконувалось лише в [9], з використанням моделі МЕССА [10], при вирішенні окремої задачі прогнозування просторо-часової мінливості солоності вод в лимані під час надходження до нього морських вод.

2. ОПИС ГІДРОТЕРМОДИНАМІЧНОЇ МОДЕЛІ

Модель Delft3D-FLOW базується на чисельному рішенні рівняння Нав'є-Стокса для нестисливої рідини на мілкій воді у наближенні Бусінеска. Система диференціальних прогностичних рівнянь моделі складається з рівнянь руху у горизонтальній площині, рівняння нерозривності, рівнянь переносу тепла і солей, а також з двопараметричної $k-\varepsilon$ -моделі турбулентності [11], яка

замикає ці рівняння. Вертикальні компоненти векторів швидкості течій розраховуються через рівняння нерозривності. Для рівняння швидкості вертикального руху береться гідростатичне наближення. Рівняння стану морської води визначається за формулою ЮНЕСКО [12].

Тепло- та масообмін з атмосферою розраховуються в моделі з використанням напівемпіричних формул [13, 14]. Випаровування з водної поверхні розраховується в моделі як сума випаровування під дією вимушеної конвекції та випаровування при вільній конвекції. Ступінь прозорості води, яка впливає на інтенсивність поглинання короткохвильової радіації у водному стовпі, задається в моделі як константа.

Кінцево-різницева апроксимація рівнянь моделі виконана на криволінійній розрахунковій сітці С-типу за класифікацією Аракави: скалярні величини задаються в центрах елементарних розрахункових осередків, а нормальні компоненти швидкості течій – на їх відповідних гранях. Часовий крок рішення рівнянь обмежується умовою стабільності Куранта-Фрідрікса-Леві.

3. АДАПТАЦІЯ МОДЕЛІ ДО УМОВ КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ: УМОВИ, ВИХІДНІ ДАНІ, РЕЗУЛЬТАТИ

Для проведення гідродинамічного моделювання була побудована узгоджена з межами акваторії лиману ортогональна криволінійна розрахункова сітка, яка складалась з 39×270 розрахункових осередків у горизонтальній площині (рис. 1б). Розміри розрахункових осередків сітки плавно змінюються у межах 60-280 м вздовж повздовжньої вісі лиману та 40-210 м – у поперечному напрямку. По вертикалі задавались три розрахункових рівня у криволінійній σ -системі координат. Глибини в лимані, приведені до позначки рівня води мінус 4,8 м БС (рис. 1а), задавались на основі векторизованих карт Одеської області масштабів 1:25000, 1:100000 та плану Куяльницького лиману в ізобатах, побудованого за результатами батиметричної зйомки 2009 р.

Програмна реалізація чисельних рівнянь моделі дозволила враховувати під час проведення модельних розрахунків осушення-затоплення окремих мілководних ділянок ложа лиману при змінах рівня води у ньому.

Адаптація моделі до умов Куяльницького лиману була виконана із використанням архівних гідрометеорологічних даних для двох обраних екстремальних років: 1987 р. та 2003 р. У 1987 р. стік р. Великий Куяльник в лиман був майже відсутній; невеликий стік (із витратами до

1,54 м³/с) спостерігався лише наприкінці березня – на початку квітня. У 2003 р., навпаки, мала місце найбільша за останні десятиріччя повінь: витрати річки В. Куяльник досягали 34,5 м³/с наприкінці березня (рис. 2а,б).

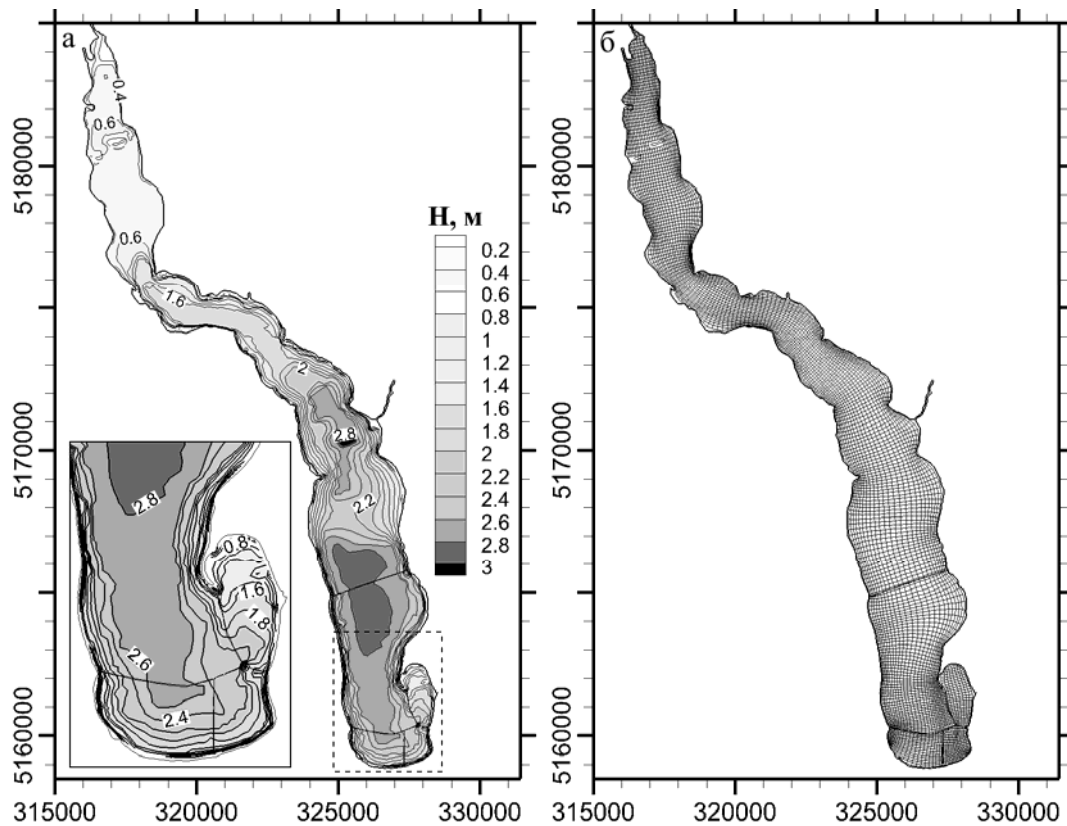
При розрахунках, на верхній (з атмосферою) межі розрахункової області задавались: часова мінливість відносної вологості, температури повітря, балу хмарності, напряму та швидкості вітру, кількості атмосферних опадів з дискретністю 3 години за даними спостережень на гідрометстанції (ГМС) «Одеса-ГМО» (рис. 2в-л). Випаровування з водної поверхні розраховувалось в самій моделі. Витрати р. В. Куяльник задавались за даними щодобових спостережень на водомірному посту «Северинівка».

Значення коефіцієнтів рівнянь моделі, які використовувались при розрахунках, були визначені під час калібрування (табл. 1).

Часовий крок рішення рівнянь моделі приймався рівним 30 с. Початкові умови для модельних розрахунків (відмітка рівня води у лимані, температура, солоність води) задавались на основі даних спостережень та приймались однорідними у просторі.

Для верифікації моделі використовувались дані спостережень за рівнем, температурою (тільки у 1987 р.) та солоністю води в Куяльницькому лимані, які були організовані в ці роки Одеською гідрогеологічною режимно-експлуатаційною станцією (ГРЕС) Одеського відділення АТ «Укрпрофздравниця».

Для умов 1987 р. (рис. 3) модель відтворила з достатньою точністю мінливість гідрологічних характеристик у лимані лише з початку травня. За умов відсутності стоку р. В. Куяльник, врахування атмосферних опадів як єдиної прихідної складової водного балансу лиману не дозволило забезпечити підвищення рівня води, яке спостерігалось в період з 08.02.1987 р. по 26.02.1987 р. Отримані результати свідчать, з одного боку, про коректність розрахунку випаровування з поверхні лиману, в результаті якого знижувався рівень води в літньо-осінній період, а, з іншого боку, – про існування інших (окрім стоку р. В. Куяльник та атмосферних опадів) прихідних складових водного балансу лиману в період його весняного наповнення.



На осях координат – відмітки сітки Універсальної поперечної проекції Меркатора (UTM) з кроком 1000 м, зона 36N. Глибини на карті відповідають відмітці рівня моря мінус 4,8 м БС.

Рис. 1 – Батиметрична карта акваторії Куяльницького лиману (а). Криволінійна розрахункова сітка (б)

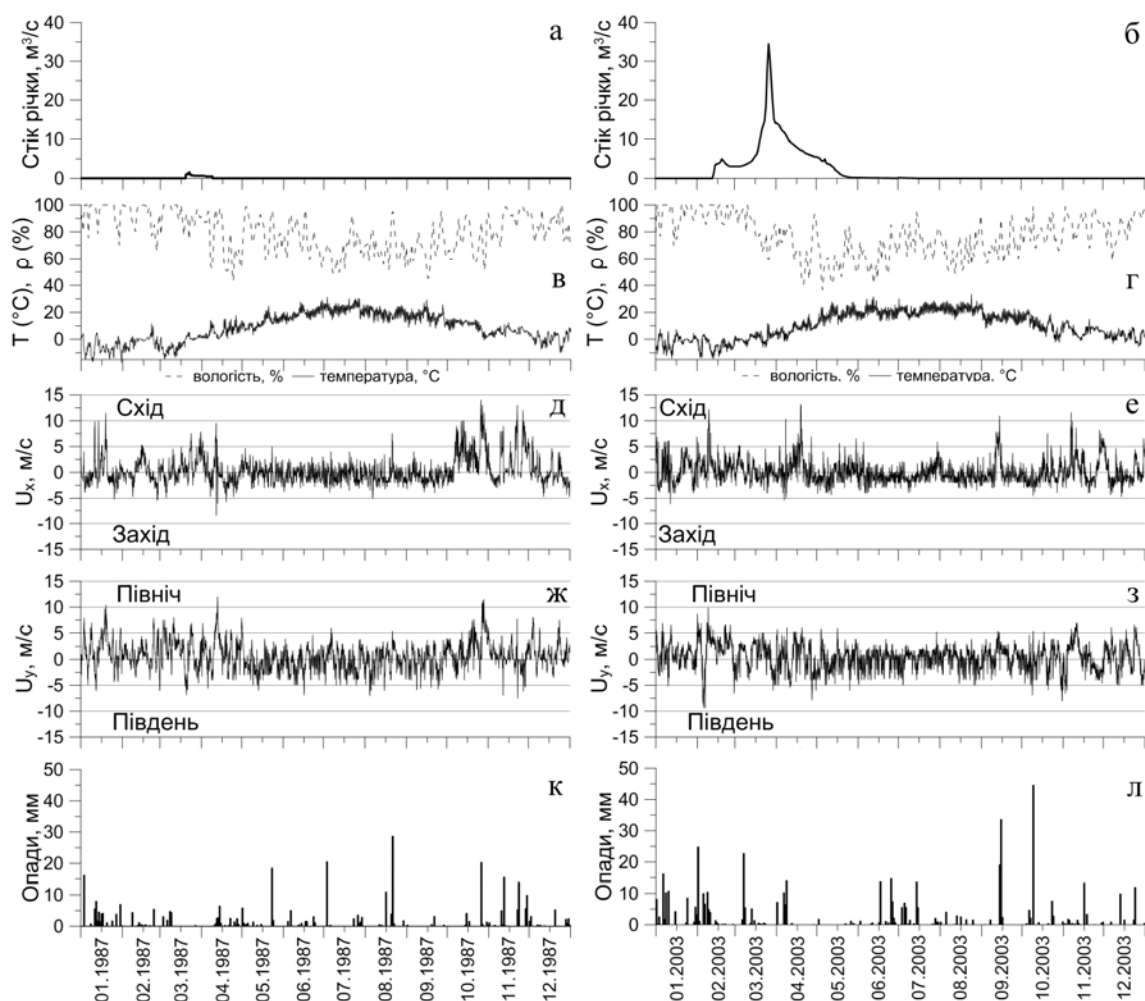


Рис. 2 – Вхідні дані, що використовувались під час адаптації моделі: часова мінливість витрат р. В. Куяльник, м³/с (а, б); температури, °С, вологості повітря, % (в, г); компоненти вектору швидкості вітру, м/с, у напрямках «схід-захід» (д, е) та «північ-південь» (ж, з); добовий шар атмосферних опадів, мм (к, л)

Таблиця 1 - Значення основних коефіцієнтів моделі, визначені під час її калібрування

№ з/п	Назва параметру	Значення, що використовувалось	Джерело
1.	Глибина Секкі, м	0,1	[7]
2.	Коефіцієнт поверхневого вітрового тертя	Лінійна функція зі значеннями $1,255 \times 10^{-3}$ та $2,425 \times 10^{-3}$ при швидкостях вітру 7 та 25 м/с відповідно	[15]
3.	Коефіцієнт Маннінга, $m^{-1/3}c$, для розрахунку параметру донного тертя	$1,8 \times 10^{-2}$	[16]
4.	Пороговий коефіцієнт горизонтальної турбулентної в'язкості, m^2/c	10	[2, 17]
5.	Пороговий коефіцієнт горизонтальної турбулентної дифузії, m^2/c	10	[2, 17]
6.	Пороговий коефіцієнт вертикальної турбулентної в'язкості, m^2/c	1×10^{-6}	[2]
7.	Пороговий коефіцієнт вертикальної турбулентної дифузії, m^2/c	0	[2]
8.	Число Дальтона для розрахунку випаровування при вимушеній конвекції	$1,6 \times 10^{-3}$	[18]
9.	Число Стентона для розрахунку втрат тепла при контактному теплообміні з атмосферою	$2,0 \times 10^{-2}$	[18]
10.	Коефіцієнт вільної конвекції для розрахунку випаровування при вільній конвекції	0,4	[18]



Рис. 3 – Мінливість рівня води, м БС (а), солоності, % (б), температури води, °С (в), в Куяльницькому лимані у 1987 р. за даними натурних спостережень (точки) та отримана в результаті моделювання (криві)

Для умов 2003 р. (рис. 4) модель задовільно відтворила фазу наповнення лиману у березні-квітні та пов'язане з нею зменшення солоності. Однак, у вхідній інформації для моделювання не враховані чинники, мінливість яких призвела до різкого (на 0,25 м) падіння рівня води, а потім до його зростання (на 0,3 м), протягом червня. Слід відзначити, що модель правильно відтворила інтегровану за цей період тенденцію зміни рівня води в лимані та до початку вересня вийшла на спостережені значення.

Наведені результати розрахунків свідчать, що у вхідній інформації для моделювання враховуються не всі прибуткові складові водного балансу лиману, які визначають мінливість рівня води у ньому. Це, в свою чергу, призводить до виникнення похибок у розрахунках мінливості солоності води. До числа неврахованих складових водного балансу лиману можна віднести надходження зливових та стічних вод зі ставків пересипу через водостік під Окружною дорогою [19], стік зі схилів, а також стік по тимчасових водотоках яружно-балкової системи лиману [7].

4. ВАЛІДАЦІЯ МОДЕЛІ: ВИХІДНІ ДАНІ, ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Валідація моделі проводилась за умов 2015 р. Моделювалась мінливість гідрологічних характеристик в лимані на відрізку часу з 22.12.2014 р. по 01.11.2015 р. Початок періоду моделювання відповідав моменту відкриття водопропускної гідротехнічної системи, що дозволяє поповнювати Куяльницький лиман морською водою з Одеської затоки.

При моделюванні враховувались наступні прибуткові складові водного балансу лиману: обсяги надходження морських вод в лиман через гідротехнічну споруду (водопропуск), стік річок В. Куяльник, Довбока, Кубанка; стік з Корсунцівської, Гільдендорфської балок та через лотки з ВНС № 5 і ставків пересипу (рис. 5), добові суми опадів на акваторію лиману (рис. 6). Витрати прісних вод через водотоки, які впадають в лиман, морських вод через водопропуск, солоність морських вод задавались на підставі даних вимірювань фахівців Одеського державного екологічного університету (ОДЕКУ).

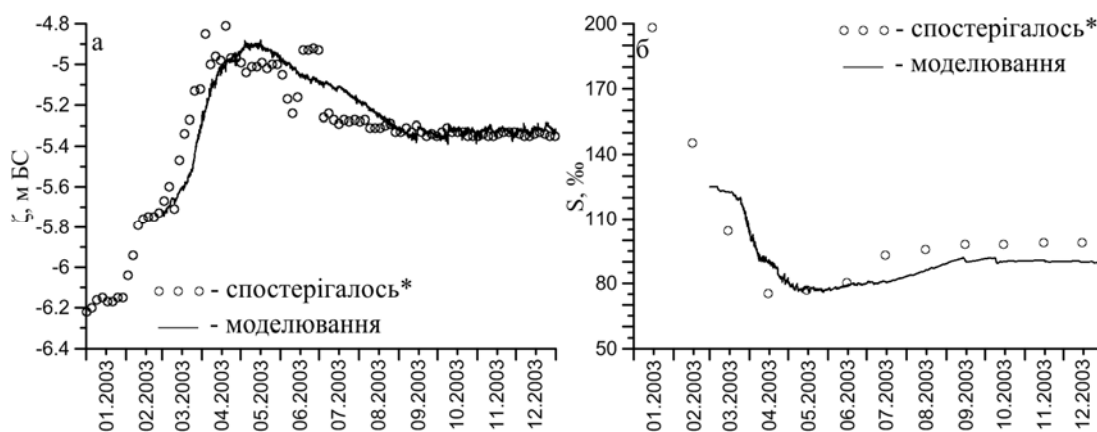


Рис. 4 – Мінливість рівня, м БС (а), та солоності води, % (б), в Куяльницькому лимані у 2003 р. за даними натурних спостережень (точки) та отримана в результаті моделювання (криві)

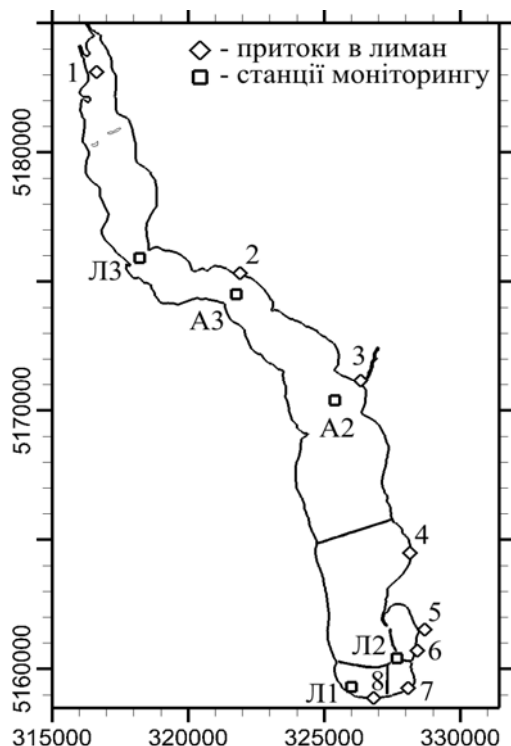


Рис. 5 – Схема розташування станцій моніторингу ОДЕКУ на акваторії Куяльницького лиману (позначені А2, А3, Л1, Л2, Л3) та притоках до лиману у 2015 р.: 1 – р. В. Куяльник; 2 – р. Довбока; 3 – р. Кубанка; 4 – б. Гільдендорфська; 5 – б. Корсунцівська; 6 – лоток з ВНС № 5; 7 – водопропуск «лиман-море»; 8 – лоток зі ставків пересипу

З рис. 7 видно, що у 2015 р. надходження прісних вод до лиману зі стоком р. В.Куяльник було значно меншим, ніж зі стоком інших водотоків. В певній мірі це пов'язано з тим, що гирло р. В.Куяльник влітку і до жовтня 2015 р. було перекрито штучною дамбою, створеною проти-правно.

Часова мінливість напрямку та швидкості вітру, температури та вологості повітря, балу хмарності у період моделювання задавались з дискретністю 3 години за даними спостережень на ГМС «Одеса-ГМО» (рис. 6).

Для верифікації результатів модельних розрахунків використовувались дані систематичних безперервних спостережень за мінливістю рівня води в лимані на водпосту «Одеса-Куяльник», а також епізодичних спостережень за рівнем, температурою та солоністю води в лимані, виконаних фахівцями ОДЕКУ при проведенні моніторингу протягом 2015 р.

Окремо слід зупинитись на використанні при моделюванні даних спостережень за мінливістю кількості атмосферних опадів, які випадають на поверхню лиману. Спочатку були використані наявні дані спостережень на ГМС «Одеса-ГМО». Однак, результати числових експеримен-

тів з моделлю, а також порівняльний аналіз даних спостережень за атмосферними опадами на інших, довколишніх до Куяльницького лиману, гідрометеостанціях «Любашівка» та «Одеса-порт» показали (рис. 8-9), що через мілководність лиману і велику площу його водної поверхні, для правильного відтворення при моделюванні річного ходу рівня води в лимані принципово важливим є точне завдання інтенсивності злив, які випадають на поверхню лиману.

Як видно з рис. 8, інтенсивність злив за даними різних гідрометеостанцій характеризується значною просторовою мінливістю.

Використання при моделюванні даних щодо атмосферних опадів, виміряних на ГМС «Одеса-ГМО», «Любашівка» та «Одеса-порт», призвело до стрибкоподібного підвищення рівня води після злив на початку квітня та на початку липня 2015 р. (рис. 9), що не узгоджувалось з даними спостережень за рівнем води у лимані. У подальшому ці похибки, як систематичні, зберігались протягом усього періоду моделювання. Найменші похибки відзначались при використанні даних спостережень за опадами на найближчий до лиману ГМС «Одеса-порт». Тому у подальшому були отримані і використані при моделюванні дані спостережень за атмосферними опадами на метеопосту «Одеса-Куяльник», розташованому у м. Одеса, пров. Лиманний (рис. 6з), що дозволило отримати добре узгодження внутрішньорічної мінливості спостережених та розрахованих значень рівня води у лимані (рис. 10а).

Результати модельних розрахунків мінливості температури води в лимані, яка впливає на інтенсивність випаровування з його водної поверхні і, таким чином, зумовлює зменшення рівня води, також добре узгоджуються з даними спостережень (рис. 10б). Річна мінливість місячних шарів випаровування, розрахована при моделюванні, наведена на рис. 10в.

З більшими похибками, ніж температура води, відтворюється моделлю просторово-часова мінливість солоності води в лимані (рис. 11), особливо у його північній частині (рис. 11в).

З огляду на значну мілководність північної частини лиману при відмітках рівня води, які спостерігались у 2015 р., заниження розрахованих для неї значень солоності води може бути наслідком впливу декількох чинників: завищення припливу до неї прісних вод від водотоків, неврахування в моделі розчинення частки накопичених в лимані сольових відкладень, похибок при завданні глибин в цій частині лиману.

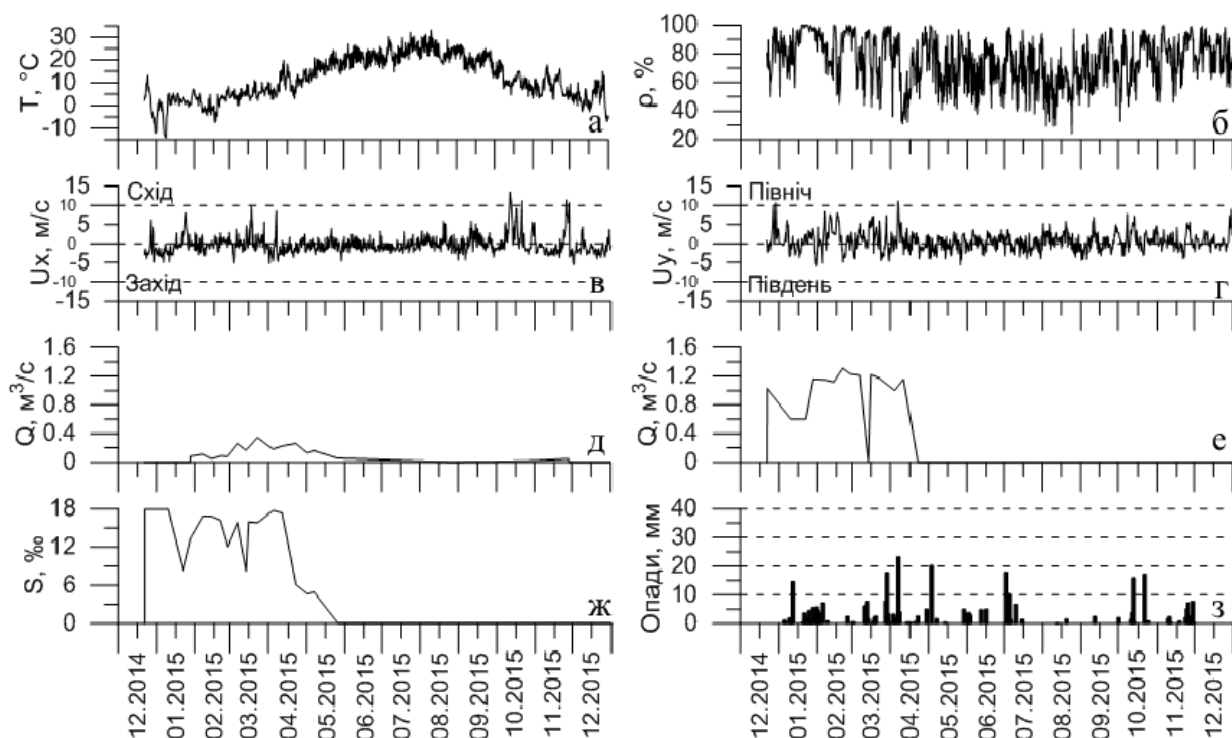


Рис. 6 – Вихідні дані, що використовувались під час валідації моделі за гідрометеорологічних умов 2015 р.: часова мінливість температури, °С (а), вологості повітря, % (б); компоненти вектору швидкості вітру, м/с, у напрямках «схід-захід» (в) та «північ-південь» (г) (за даними спостережень на ГМС «Одеса-ГМО»); сумарні витрати річок, балок, лотків з ВНС № 5 та пересипу у лиман, м³/с (д); витрати, м³/с, (е) та солоність, %, (ж) морської води у водопропуску «лиман-море»; добовий шар атмосферних опадів, мм, виміряних на метеопосту «Одеса-Куяльник» (з)

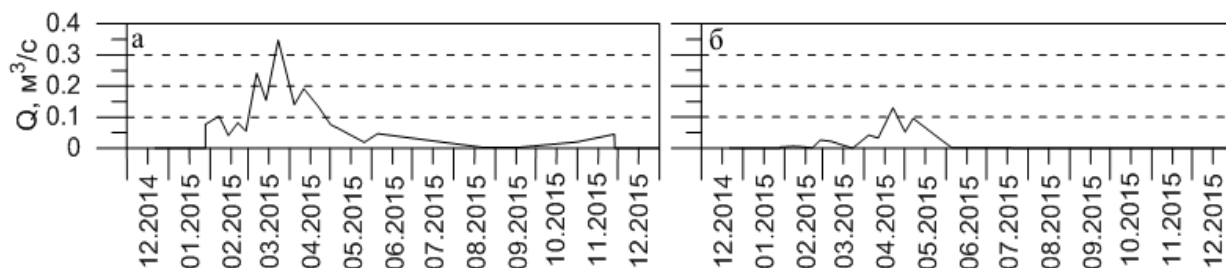


Рис. 7 – Мінливість сумарних витрат води, м³/с, по тимчасовим водотокам (р. Довбока, р. Кубанка, б. Гільдендорфська, б. Корсунцівська, лотки з ВНС №5 та зі ставків пересипу) (а) та витрат води р. В. Куяльник (б) у 2015 р.

Уявлення про просторову мінливість відміток рівня води в лимані, за вітрів різних напрямків і швидкості, та відтворення моделлю змін площі водного дзеркала лиману, при різних відмітках середнього рівня води, дають результати моделювання, представлені на рис. 12.

На рис. 13 наведені зведені ряди часової мінливості рівня води в точках біля північної та південної меж водної поверхні лиману у 2015 р. Вони свідчать про те, що при штормових вітрах, повздовжніх (північних, південних) по відношенню до акваторії лиману напрямків, різниця відміток води в північній та південній його частинах може досягати 0,35-0,4 м.

Отримані результати моделювання свідчать про можливість використання гідродинамічної

моделі Delft3D-FLOW для діагнозу та прогнозу, дослідження особливостей просторово-часової мінливості гідрологічних характеристик Куяльницького лиману під впливом природних та антропогенних чинників, які формують його гідрологічний режим.

5. ВИСНОВКИ

Для вирішення задачі діагнозу та прогнозу просторово-часової мінливості гідрологічних характеристик лиману (рівня, солоності, температури води), які обумовлюють хімічні та біологічні процеси у ньому, і, таким чином, впливають на властивості рапи та лікувальних грязей, була застосована нестационарна тривимірна чи-

сельна гідротермодинамічна модель Delft3D-FLOW. Наведені в роботі результати адаптації до умов Куяльницького лиману та верифікації цієї моделі свідчать про можливість її використання для дослідження особливостей і прогнозування просторово-часової мінливості гідрологічних характеристик Куяльницького лиману під впливом природних та антропогенних чинників, які формують його гідрологічний режим.

Чисельні експерименти з моделлю показали, що через морфологічні особливості ложа лиману та його мілководність, правильно відтворити

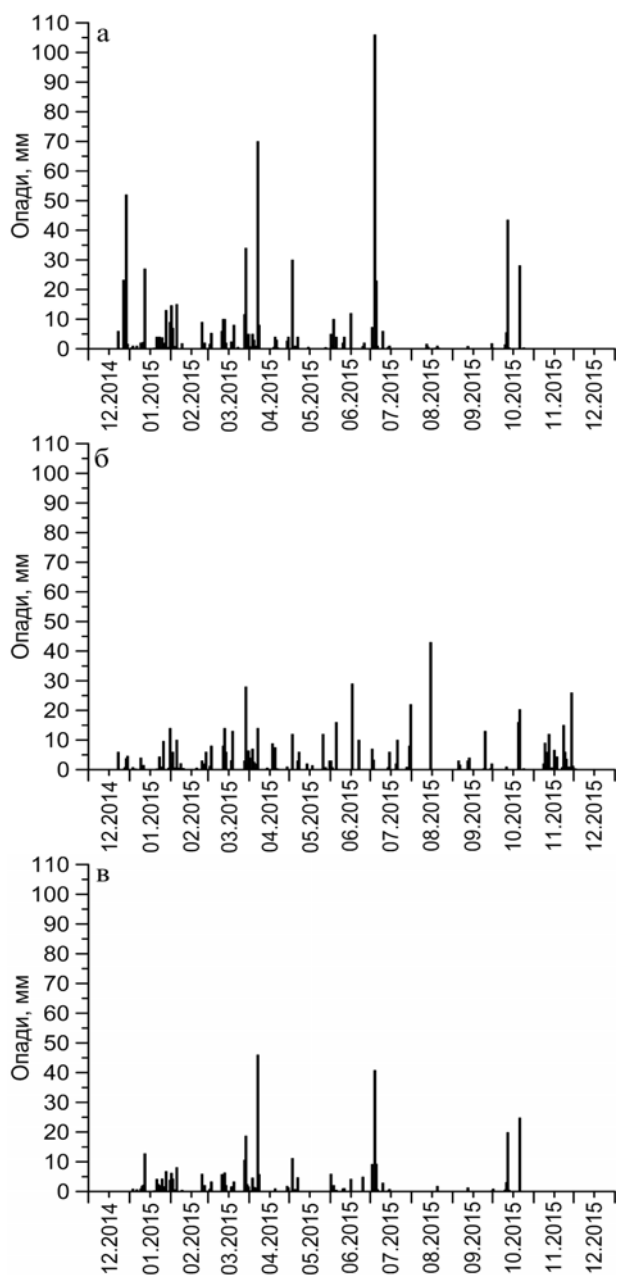
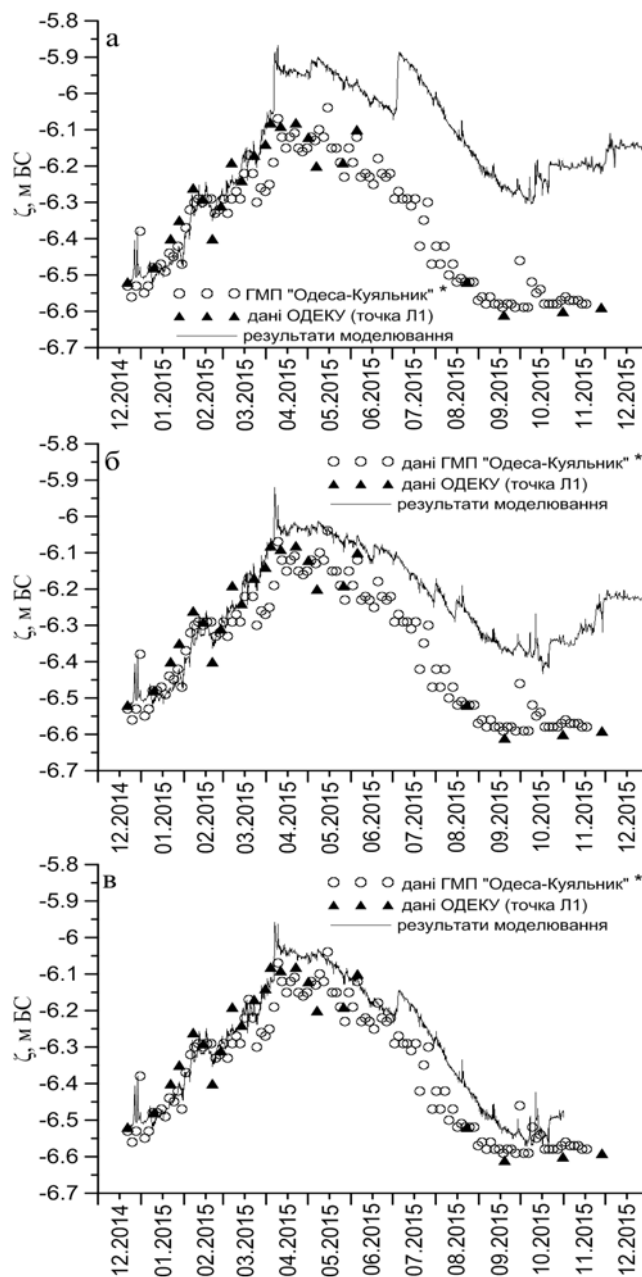


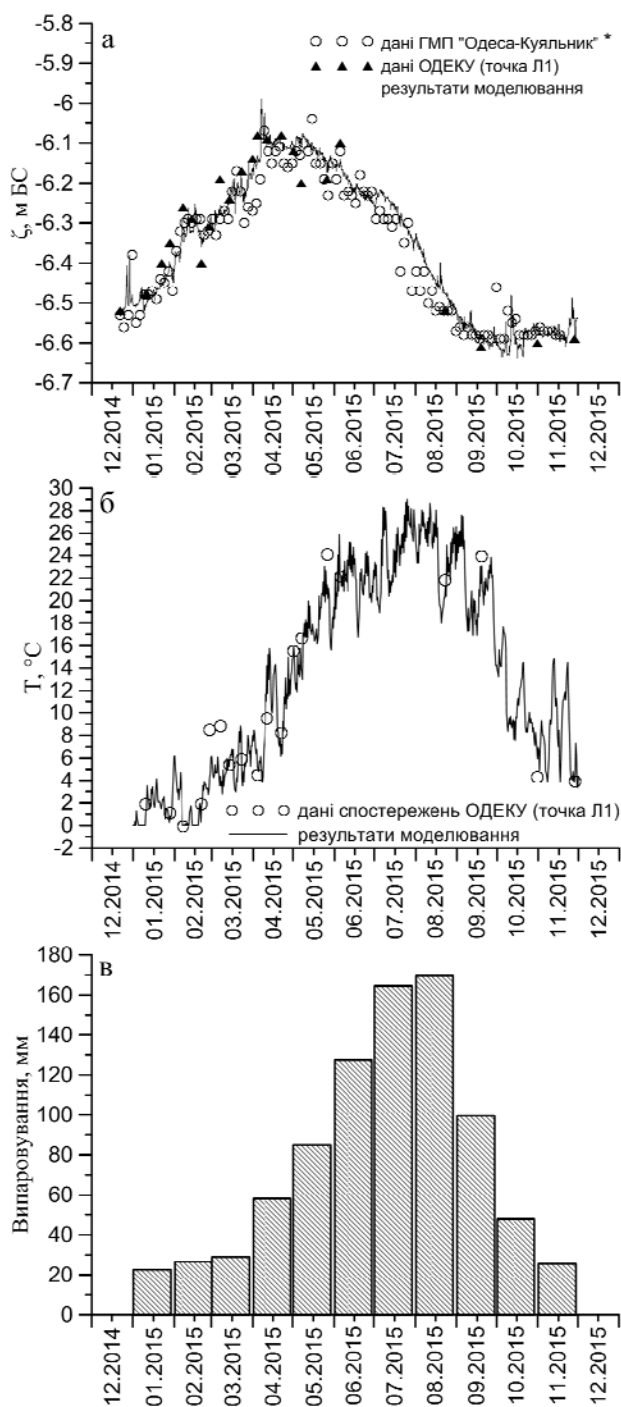
Рис. 8 – Часова мінливість атмосферних опадів, мм, у 2014-2015 рр. за даними різних гідрометеостанцій: а – «Одеса-ГМО»; б – «Любашівка»; в – «Одеса-Порт»

мінливість гідрологічних умов в ньому можливо лише за умови врахування не тільки стоку р. В.Куяльник, але й надходження прісних вод від інших тимчасових водотоків ярво-балочної системи лиману, зливових та стічних вод через лоткові водостоки. Виключно важливу роль у формуванні внутрішньорічної мінливості рівня та солоності води в лимані відіграють зливові опади.



* дані проріджені через кожні 3 значення для зручності читання

Рис. 9 – Часова мінливість рівня води, м БС, в Куяльницькому лимані у 2015 р. за даними натурних спостережень (точки) та отримана в результаті моделювання (криві), з використанням даних спостережень за атмосферними опадами на гідрометеостанціях «Одеса-ГМО» (а), «Любашівка» (б), «Одеса-порт» (в)



* дані проріджені через кожні 3 значення для зручності читання

Рис. 10 – Часова мінливість рівня, м БС, (а) та температури води, °С, (б) в Куяльницькому лимані протягом 2015 р.: за даними натурних спостережень (точки) та отримана при моделюванні (криві) з використанням даних спостережень за атмосферними опадами на метеопосту «Одеса-Куяльник». Місячні шари випаровування з водної поверхні лиману (точка Л1) (в), розраховані за моделлю

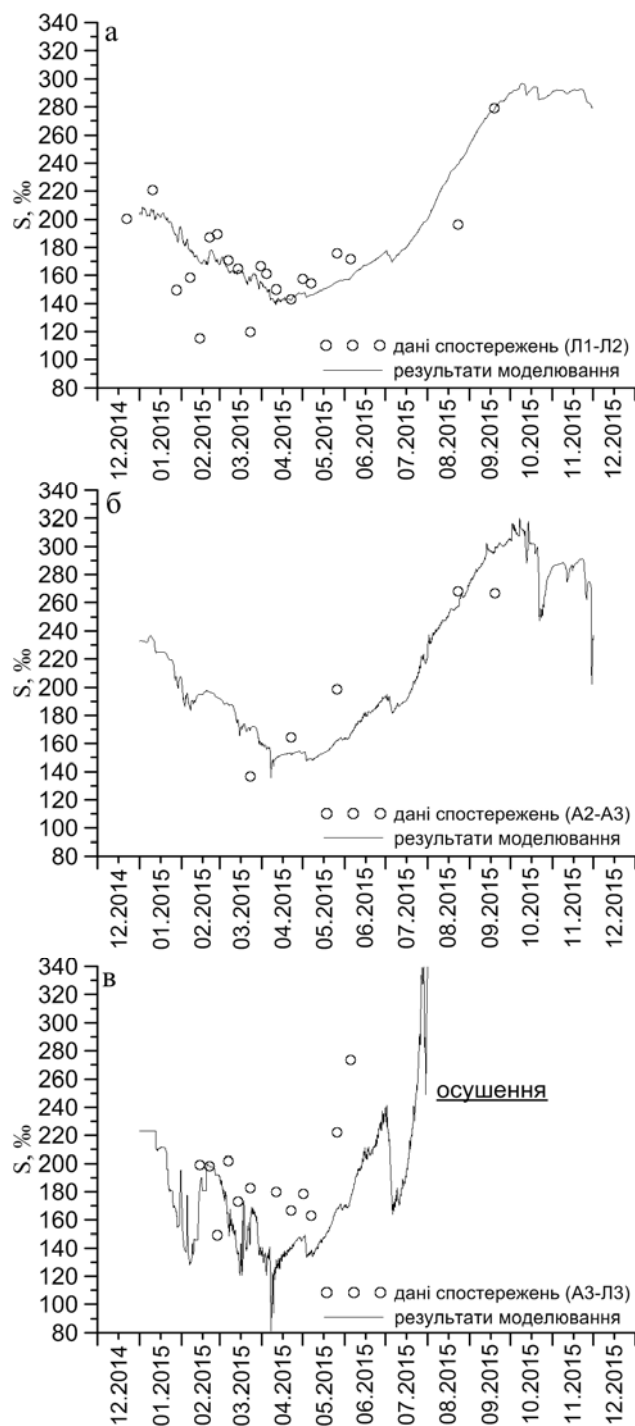


Рис. 11 – Часова мінливість солоності води в Куяльницькому лимані протягом 2015 р. за даними натурних спостережень (точки) та отримана в результаті моделювання (криві) в різних частинах акваторії лиману: а – середні значення між реперними точками Л1 та Л2; б – середні значення між реперними точками А2 та А3; в – середні значення між реперними точками А3 та Л3

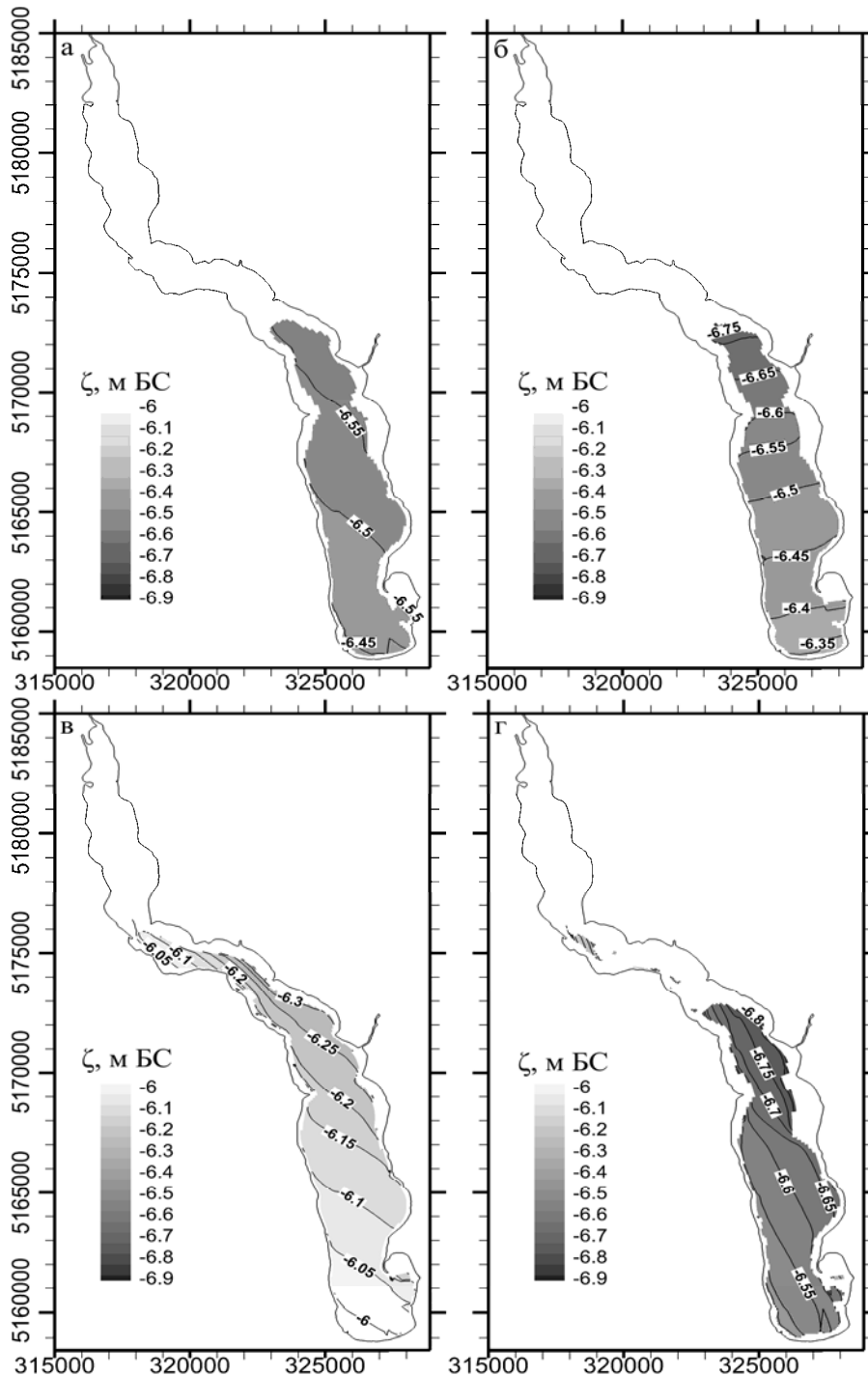


Рис. 12 – Отримана при моделюванні просторова мінливість відміток рівня води в лимані, м БС, та меж його водного дзеркала у різні моменти часу: а – 27.12.2014 р. 12:00; б – 29.12.2014 р. 15:00; в – 07.04.2015 р. 03:00; г – 12.10.2015 р. 00:00

Точність завдання їх інтенсивності та повторюваності при імітаційному моделюванні визначає систематичну похибку діагностичних та прогностичних розрахунків. За результатами моделювання також встановлено, що при штормових вітрах повздовжніх по відношенню до акваторії лиману напрямків, різниця відміток рівня води в північній та південній його частинах може досягати 0,35-0,4 м. Це необхідно враховувати при

аналізі даних спостережень за рівнем води в лимані, виконаних в окремих точках його акваторії.

У подальшому модель планується використати для визначення особливостей просторово-часової мінливості гідрологічних характеристик Куяльницького лиману за типових для сучасного кліматичного періоду умов, при реалізації різних

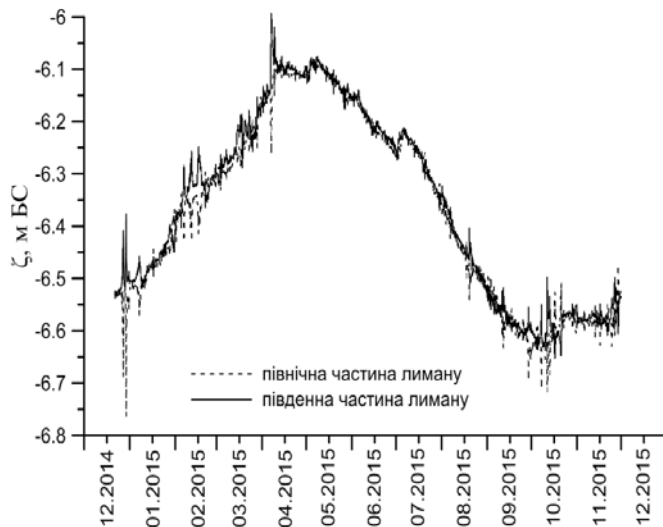


Рис. 13 - Часова мінливість відміток рівня води, м БС, біля північної та південної меж водної поверхні акваторії Куяльницького лиману

сценаріїв його водного менеджменту, зокрема, різних режимах поповнення лиману морською водою з Одеської затоки, збільшенні стоку р. В.Куяльник шляхом нормування водогосподарської діяльності в її басейні, розчищення русла, зменшення кількості штучних водойм на водозборі річки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Delft3D 4.01 Suite [Електронний ресурс]: (вихідний код та графічний інтерфейс користувача програмного пакету Delft3D) / Deltares systems // Спілька користувачів відкритого програмного забезпечення Delft3D. – 2016. – Режим доступу: <http://oss.deltares.nl/web/delft3d/>. – Назва з екрану (17.02.2016 р).
2. Delft3D-FLOW – Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flows and transport phenomena, including sediments [Електронний ресурс]: (посібник користувача гідродинамічної моделі Delft3D-FLOW) / Deltares systems // Delft, The Netherlands. – 2016. Режим доступу: http://oss.deltares.nl/documents/183920/185723/Delft3D-FLOW_User_Manual.pdf/. – Назва з екрану (17.02.2016 р).
3. Розенгурт М.Ш. Гидрология и перспективы реконструкции природных ресурсов Одесских лиманов: монография. – Киев: Наукова думка, 1974. – 224 с.
4. Тимченко В.М. Эколого-гидрологические исследования водоемов Северо-Западного Причерноморья: монография. – К.: Наук. думка, 1990. – 240 с.
5. Актуальные проблемы лиманов северо-западного Причерноморья: монография / Под ред. Ю.С. Тучковенко, Е.Д. Гопченко // Гопченко Е.Д. Оценка многолетних изменений составляющих водного баланса Куяльницького лимана и рекомендации по сохранению его природных ресурсов / Е.Д. Гопченко, О.Н. Гриб. – Одесса: ТЭС, 2011. – С. 149-168.
6. Капочкин Б.Б. К вопросу о состоянии Куяльницького лимана / Б.Б. Капочкин, Ж.В. Исакова, М.И. Исаков // Вестник Гидрометцентра Черного и Азовского морей.

- 2011. – №1 (2). – С. 118-136.
7. Адобовский В.В. Особенности современного гидролого-гидрохимического режима Куяльницького лимана и прогнозная оценка его составляющих в условиях возможного пополнения водоема морскими и пресными водами / В.В. Адобовский, Ю.И. Богатова // Український гідрометеорологічний журнал. – 2013. – № 13 – С. 127-137.
8. Эннан А.А. Причины и последствия деградации Куяльницького лимана (Северо-западное Причерноморье, Украина) / А.А. Эннан, И.И. Шихалеев, Г.Н. Шихалеева, В.В. Адобовский, А.Н. Кирушкина // Вісник ОНУ. Хімія. – 2014. – том 19, вип. 3(51). – С. 60-69.
9. Оцінка можливого альтернативного наповнення Куяльницького лиману водами Чорного моря, річки Дністер й інших лиманів і водних об'єктів: Звіт з НДР заключний (наук. кер.: Ю.С. Тучковенко), ДР № 0112U007605, Од. держ. еколог. ун-т. – Одеса, 2012. – С. 149-157 с.
10. Ivanov V.A., Tuchkovenko Yu.S. *Applied mathematical water-quality modeling of shelf marine ecosystems*. Sevastopol, Marine Hydrophysical Institute-Odessa State Environmental University, 2008, 295 p.
11. Burchard H., Baumert H. On the performance of a mixed layer model based on the k-ε turbulence closure. *Journal of Geophysical Research (C5)*, 1995, no. 100, pp. 8523-8540.
12. Millero Frank J., Poisson Alain, Chen Chen Tung, Bradshaw Alvin L., Schleicher K. Background papers and supporting data on the International Equation of State of Seawater. *Unesco technical papers in marine science*, 38, 1980, Publ: 1981; 192 p.
13. Gill Adrian E. *Atmosphere-Ocean Dynamics. International Geophysics Series*, Academic Press, 1982, vol.30. 680 p.
14. Lane A. The heat balance of the North Sea. *Tech. Rep. 8*, Proudman Oceanographic Laboratory, 1989, pp. 243, 254.
15. Wu Jin. The sea surface is aerodynamically rough even under light winds. *Boundary layer Meteorology*, 1994, no. 69, pp.149-58.
16. Chow Ven Te. *Open-Channel Hydraulics*. McGraw-Hill, New York, 1959, 680 p.
17. Окубо А. Эмпирическая зависимость коэффициента горизонтальной диффузии в океане от масштаба явления / А. Окубо, Р.В. Озмидов // ФАО, 1970, т.VI, №5. – С. 534-536.
18. Simon A.J., Kent E.C., Taylor P.K. *The Southampton Oceanography Centre (SOC) Ocean-Atmosphere Heat, Momentum and Freshwater Flux Atlas*. Tech. rept. Southampton Oceanography Centre, 1999, 59 p.
19. Гриб О.М. Историчні відомості про штучне поповнення Куяльницького лиману водами інших водойм // Матер. Всеукр. наук.-практ. конф. «Лимани північно-західного Причерномор'я: сучасний гідроекологічний стан; проблеми водного та екологічного менеджменту, рекомендації щодо їх вирішення». – Одеса: ОДЕКУ, 2014 р. – С. 61-63.

REFERENCES

1. Deltares, 2016. *Delft3D 4.01 Suite*. Available through: Delft3D Open Source Community <<http://oss.deltares.nl/web/delft3d/>> [Accessed 17 February 2016].
2. Deltares, 2014. *Delft3D-FLOW – Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flows and transport phenomena, including sediments, User Manual, Hydro-Morphodynamics, Version 3.15.34158*. [pdf] Delft, The Netherlands: Deltares systems. Available at:

- <http://oss.deltares.nl/documents/183920/185723/Delft3D-FLOW_User_Manual.pdf> [Accessed 17 February 2016].
3. Rozengurt M.Sh. *Gidrologiya i perspektivy rekonstruktsii prirodnykh resursov Odesskikh limanov* [Hydrology and Prospects for Natural Resources Rearrangement in the Lagoons of the Odessa Region]. Kiev: Naukova dumka, 1974, 224 pp. (in Russian).
 4. Timchenko V.M. *Ekologo-gidrologicheskie issledovaniya vodoemov Severo-Zapadnogo Prichernomor'ya* [Environmental and Hydrological Researches into the Water Bodies in the North-Western Black Sea Region]. Kyiv: Naukova Dumka, Institute of Hydrobiology of NASU, 1990, 240 p. (in Russian).
 5. Gopchenko E.D., Gryb O.M. Otsenka mnogoletnikh izmeneniy sostavlyayushchikh vodnogo balansu Kuyal'nitskogo limana i rekomendatsii po sokhraneniyu ego prirodnykh resursov [Assessment of the annually variations in the components of the water balance of the Kuyalnytskyi Lyman lagoon and recommendations for its natural resources conservation] *Aktual'nye problemy limanov severo-zapadnogo Pri-chernomor'ya* [Topical problems of lagoons of the North-Western Black Sea Region]. (Eds: Tuchkovenko Yu.S., Gopchenko E.D.). Odessa: TES, OSENU, 2011, pp. 149-168.
 6. Kapochkin B.B., Isakova J.V., Isakov M.I. K voprosu o sostoyanii Kuyal'nitskogo limana [On the matter of the Kuyalnytskyi Lyman lagoon condition] *Vestnik Gidromettsentra Chernogo i Azovskogo morey – Bulletin of Hydrometeorological Center of the Black and Azov Seas*, 2011, no. 1 (2), pp. 118-136 (in Russian).
 7. Adobovskiy V.V., Bogatova Yu.I. Osobennosti sovremen-nogo gidrologo-gidrokhimicheskogo rezhima Kuyal'nitskogo limana i prognoznaya otsenka ego sostavlyayushchikh v usloviyakh voz-mozhnogo popolneniya vodoema morskimi i presnymi vodami [Aspects of the modern hydrological and hydrochemical regime of the Kuyalnytskyi Liman lagoon and prognostic assessment of its components under conditions of possible reservoir replenishment with sea and free-salinated waters]. *Ukr. gidrometeorol. ž. – Ukrainian Hydrometeorological Journal*, 2013, no. 13, pp. 127-137 (in Russian).
 8. Ennan A.A., Shykhalyeyev I.I., Shykhalyeyeva G. N., Adobovsky V.V., Kiryushkina A. N. Prichiny i posledstviya degradatsii Kuyal'nitskogo limana (Severo-zapadnoe Prichernomor'e, Ukraina) [Effects of Kuyalnik estuary degradation (Northwest Black Sea Region, Ukraine)]. *Visnyk Odes'kogo nacional'nogo universy'tetu. Khimiya. – Odesa National University Herald. Chemistry*, 2014. vol. 19, no 3(51), pp. 60-69 (in Russian).
 9. Tuchkovenko Yu.S. (scient. chief). *Otsinka mozhyvoho alternatyvnoho napovnennia Kuyalnytskoho lymanu vodamy Chornoho moria, richky Dnister y inshykh lymaniv i vodnykh ob'ektiv* [Assessment of possible alternate filling of the Kuyalnytskyi Lyman lagoon with waters of the Black Sea, the Dnister River and another lagoons and water bodies]. Final Report, No. 0112U007605, Odessa, OSENU, 2012, pp. 149-157 (in Ukrainian).
 10. Ivanov V.A., Tuchkovenko Yu.S. *Applied mathematical water-quality modeling of shelf marine ecosystems*. Sevastopol, Marine Hydrophysical Institute-Odessa State Environmental University, 2008, 295 p.
 11. Burchard H., Baumert H. On the performance of a mixed layer model based on the k-ε turbulence closure. *Journal of Geophysical Research (C5)*, 1995, no. 100, pp. 8523-8540.
 12. Millero Frank J., Poisson Alain, Chen Chen Tung, Bradshaw Alvin L., Schleicher K. Background papers and supporting data on the International Equation of State of Seawater. *Unesco technical papers in marine science*, 38, 1980, Publ: 1981; 192 p.
 13. Gill Adrian E. *Atmosphere-Ocean Dynamics. International Geophysics Series*, Academic Press, 1982, vol.30. 680 p.
 14. Lane A. The heat balance of the North Sea. *Tech. Rep. 8*, Proudman Oceanographic Laboratory, 1989, pp. 243, 254.
 15. Wu Jin. The sea surface is aerodynamically rough even under light winds. *Boundary layer Meteorology*, 1994, no. 69, pp.149-58.
 16. Chow Ven Te. *Open-Channel Hydraulics*. McGraw-Hill, New York, 1959, 680 p.
 17. Okubo A., Ozmidov R.V. Empirical dependence of the coefficient of horizontal turbulent diffusion in the ocean on the scale of the phenomenon in question, *Oceanology*, 1970, No. 6, pp. 308-309.
 18. Simon A.J., Kent E.C., Taylor P.K. *The Southampton Oceanography Centre (SOC) Ocean-Atmosphere Heat, Momentum and Freshwater Flux Atlas*. Tech. rept. Southampton Oceanography Centre, 1999, 59 p.
 19. Hryb O.M. Istorychni vidomosti pro shtuchne popovnennia Kuyalnytskoho lymanu vodamy inshykh vodoim [Historical information about induced replenishment of the Kuyalnytskyi Lyman lagoon with waters of another reservoirs]. Mater. Vseukr. nauk.-prakt. konf. "Lymany pivnichno-zakhidnoho Prychornomor'ia: suchasnyi hidroekologichni stan; problemy vodnoho ta ekolohichnoho menedzhmentu, rekomendatsii shchodo yikh vyrishennia" [Proc. All-Ukr. Scientif.-Pract. Conf. "Lagoons of the North-Western Black Sea Region: modern hydroecological conditions; problems of water and environmental management, recommendations for their resolving"]. Odesa. OSENU, 2014. pp. 61-63 (in Ukrainian).

RESULTS OF THE NUMERICAL MODELLING OF INTRA-ANNUAL VARIABILITY OF CHARACTERISTICS OF THE HYDROLOGICAL REGIME OF THE KUYALNIK LIMAN LAGOON

Yu.S. Tuchkovenko, Doctor of Geographical Sciences,
D.V. Kushnir

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

In order to solve the problems of diagnosis and forecast of spatial-temporal variability of hydrological characteristics of the Kuyalnik Liman (water level, salinity and temperature) which

cause chemical and biological processes occurring therein, and, therefore, affect the properties of brine and therapeutic mud, a non-stationary 3D numerical hydrothermodynamic model Delft3D-FLOW was applied.

The model can be applied for research of the features and forecasting of spatial-temporal variability of hydrological characteristics of the Kuyalnik Liman under the influence of natural and anthropogenic factors forming its hydrological regime. Such opportunity is also indicated by the results of adaptation of the model to the Kuyalnik Liman conditions and its validation that are specified in this work.

The important role of accounting of small streams flowing into the liman and accurate setting of intensity of storm rainfall during modelling is also shown. It is found that at the time of storm winds with longitudinal directions in relation to the liman's water surface, the difference of watermarks in its northern and southern parts may reach 0.35-0.4 m.

Keywords: the Kuyalnik Liman, hydrological regime, hydrodynamic modelling.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВНУТРИГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА КУЯЛЬНИЦКОГО ЛИМАНА

Ю.С. Тучковенко, д.геогр.н.,
Д.В. Кушнир

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

Для решения задачи диагноза и прогноза пространственно-временной изменчивости гидрологических характеристик Куяльницкого лимана (уровня, солености, температуры воды), которые обуславливают химические и биологические процессы в нем, и, таким образом, влияют на свойства рапы и лечебных грязей, применена нестационарная трехмерная численная гидротермодинамическая модель Delft3D-FLOW. Приведенные в работе результаты адаптации к условиям Куяльницкого лимана и верификации модели свидетельствуют о возможности ее использования для исследования особенностей и прогнозирования пространственно-временной изменчивости гидрологических характеристик Куяльницкого лимана под влиянием природных и антропогенных факторов, формирующих его гидрологический режим. Показана важная роль учета при моделировании малых водотоков, которые впадают в лиман, и точного задания интенсивности ливневых атмосферных осадков. Определено, что при штормовых ветрах продольных по отношению к акватории лимана, разница отметок уровня воды в северной и южной его частях может достигать 0,35-0,4 м.

Ключевые слова: Куяльницкий лиман, гидрологический режим, гидродинамическое моделирование.

Дата першого подання: 05.03.2016

Дата надходження остаточної версії: 10.05.2016

Дата публікації статті: 04.07.2016