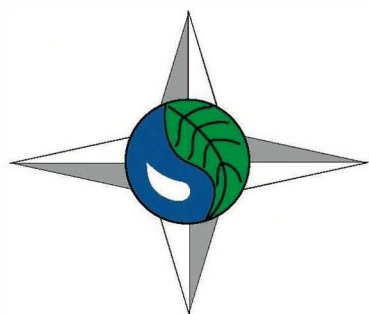


ISSN 2311-0902 (print)
ISSN 2616-7271 (online)



Номер 28
Issue 28

2021

УКРАЇНСЬКИЙ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ

Ukrainian Hydrometeorological Journal

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Ministry of Education and Science of Ukraine

ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Odessa State Environmental University

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

Ukrains'kij Gidrometeorologičnij Žurnal

Ukrainian Hydrometeorological journal

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

Scientific Journal

Друкується 2 рази на рік

Issued: 2 times a year

Заснований у 2005 р.

Founded in 2005 y.

№ 28, 2021

Одеса

Одеський державний екологічний університет

2021

Головний редактор

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

Заступники головного редактора

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

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

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

Члени редакційної колегії

А. А. Бакланов, д-р фіз.-мат. наук, проф. метеорології, геофізики,
ст. наук. співроб. Датьського метеорологічного інституту; асоційований
проф. Інституту Нільса Бора Копенгагенського університету (Данія);
М. А. Берлінський, д-р геогр. наук, проф., зав. кафедри океанології та
морського природокористування ОДЕКУ; **В. В. Гребін**, д-р геогр.
наук, проф. кафедри гідрології та гідроекології Київського
національного університету ім. Тараса Шевченка; **Д. В. Лукашов**, д-р
біол. наук, проф. кафедри екології та охорони навколишнього
середовища, зав. кафедри екології та зоології Київського національного
університету ім. Тараса Шевченка; **О. Макарінський**, PhD в географії,
пров. наук. співроб., Австралійський інститут морських наук,
дослідницький центр "Арафура-Тімор" (Австралія); **Д. Макарінська**,
PhD у геофізиці, Служба якості води/Відділ водних ресурсів,
Департамент екології та природних ресурсів (Австралія);
О. В. Мудрак, д-р с.-г. наук, проф., зав. кафедри екології, природничих
та математичних наук КЗВО "Вінницька академія безперервної освіти";
В. А. Овчарук, д-р геогр. наук, доцент, директор
Гідрометеорологічного інституту ОДЕКУ; **А. М. Польовий**, д-р геогр.
наук, проф., зав. кафедри агрометеорології та агроєкології ОДЕКУ;
І. Г. Семенова, д-р геогр. наук, доцент, проф. кафедри військової
підготовки ОДЕКУ; **С. М. Степаненко**, д-р фіз.-мат. наук, проф.,
ректор ОДЕКУ; **М. М. Федоряк**, д-р біол. наук, проф. та зав. кафедри
екології та біомоніторингу Чернівецького національного університету
ім. Юрія Федьковича; **А. В. Чугай**, д-р техн. наук, декан
природоохоронного факультету ОДЕКУ; **Ж. Р. Шахірзанова**, д-р
геогр. наук, проф., зав. кафедри гідрології суші ОДЕКУ.

Редактор англomовних текстів

А. В. Іванченко, канд. філол. наук, доц. каф. іноземних мов ОДЕКУ.

Відповідальний секретар

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

“Український гідрометеорологічний журнал” є спеціалізованим науковим виданням, в якому публікуються результати фундаментальних та прикладних наукових досліджень у напрямках “Гідрометеорологія” (метеорологія і кліматологія; агрометеорологія; гідрологія суші, водні ресурси, гідрохімія; океанологія), “Конструктивна географія і раціональне використання природних ресурсів” спеціальності «Науки про Землю» та «Екологічні аспекти природокористування» спеціальності «Екологія» з метою інформування про сучасні наукові досягнення українських та зарубіжних дослідників, розвитку вищої освіти, оприлюднення результатів наукових досліджень з теоретичних та прикладних аспектів вирішення актуальних проблем у відповідних або суміжних областях науки. Журнал призначений для науковців, науково-педагогічних працівників закладів вищої освіти, студентів, аспірантів та докторантів, фахівців у галузі природничих наук за спеціальностями «Науки про Землю» та «Екологія».

Ukrainian Hydrometeorological Journal is a specialized scientific periodical that publishes the original results of fundamental and applied research in the following fields: ‘Hydrometeorology’ (Meteorology and Climatology; Agricultural Meteorology; Hydrology, Water Resources, Hydrochemistry; Oceanography), ‘Constructive Geography and Rational Use of Natural Resources’ of the specialty ‘Earth Sciences’, and ‘Environmental Aspects of Nature Management’ of the specialty ‘Ecology’. The objective of the Journal consists in presenting the information on modern scientific achievements of Ukrainian and foreign researchers, promoting the development of higher education, and publishing the original research works on theoretical and applied aspects of solving the topical problems in respective and closely-related areas of science.

The Journal is intended for use by scientists, academic staff of higher education institutions, students, postgraduate students, researchers and experts in the sphere of the Natural Sciences' specialties such as ‘Earth Sciences’ and ‘Ecology’.



В процесі підготовки номера до друку було використано Систему виявлення збігів / ідентичності / схожості UNICHECK для пошуку текстового збігу

Editor-in-Chief

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

Deputies of Editor-in-Chief

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

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

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

Members of the Editorial Board

Alexander A. Baklanov, D. Sc. in Physics and Mathematics, Prof. of
Meteorology, Geophysics, Senior Scientist / Project Leader at Danish
Meteorological Institute, Research Department; Adjoint Professor at the Niels
Bohr Institute of the University of Copenhagen, Denmark;
Mykola A. Berlinskyi, D. Sc. in Geography, Prof., Head of the Department
of Oceanography and Marine Nature Management of OSENU, Ukraine;
Angelina V. Chugai, D.Sc. in Technology, Dean of Nature Protection
Faculty of OSENU, Ukraine; **Mariia M. Fedoriak**, D.Sc. in Biology, Prof.
and Head of the Department of Ecology and Biomonitoring of Yuriy
Fedkovych Chernivtsi National University, Ukraine; **Vasyl V. Grebin**,
D. Sc. in Geography, Prof. of the Department of Hydrology and
Hydroecology of Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine;
Dmitriy V. Lukashov, D.Sc. in Biology, Prof. of the Department of Ecology
and Environmental Protection, Head of the Department of Ecology and
Zoology of Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine; **Oleg
Makarynskyi**, PhD in Geography, Lead Researcher, Australian Institute of
Marine Science, Arafura Timor Research Facility, Australia; **Dina
Makarynska**, PhD in Geophysics, Aquatic Health Unit / Water Resources
Division, Department of Environment and Natural Resources, Australia;
Oleksandr V. Mudrak, D.Sc. in Agriculture, Prof., Head of the
Department of Ecology, Nature and Mathematic Sciences of Vinnytsia
Academy of Continuing Education, Ukraine; **Valeriya A. Ovcharuk**, D. Sc.
in Geography, Assoc. Prof., Director of the Hydrometeorological Institute
of OSENU, Ukraine; **Anatolii M. Polovyi**, D. Sc. in Geography, Prof., Head
of the Department of Agrometeorology and Agroecology of OSENU, Ukraine;
Inna Semenova, D. Sc. in Geography, Assoc. Prof., Prof. of the Department
of Military Training of OSENU, Ukraine; **Zhanetta R. Shakhirzanova**,
D. Sc. in Geography, Prof., Head of the Department of Land Hydrology of
OSENU, Ukraine; **Sergiy M. Stepanenko**, D. Sc. in Physics and
Mathematics, Prof., Rector of OSENU, Ukraine.

Editor of texts in English

Andrii Ivanchenko, PhD in Philology, Assoc. Prof. of the Department of Foreign
Languages, OSENU, Ukraine

Executive Secretary

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

ЗМІСТ

CONTENTS

Метеорологія і кліматологія

Meteorology and Climatology

Дворецька І. В., Савенець М. В., Уманець А. П.
Оновлені кліматичні норми загального вмісту озону над територією України

Федонюк В. В., Федонюк М. А., Павлусь А. М.
Дослідження грозової активності на Волині та в Україні за даними онлайн-ресурсу Blitzortung

Хохлов В. М., Серга Е. М., Недострелова Л. В.
Об'єктивний вибір симуляції з ансамблю регіональних кліматичних моделей

Гідрологія суші, водні ресурси, гідрохімія

Hydrology, Water Resources, Hydrochemistry

Залізник Я. І. Оцінка якості вод за інтегральним показником забруднення у річках басейну Південного Бугу в межах Вінницької області

Лобода Н. С., Козлов М. О., Катинська І. В.
Оцінка змін водних ресурсів Гірського Дністра у XXI сторіччі за сценарієм RCP8.5 на основі моделі «клімат-стік»

Океанологія

Oceanography

Ель Хадрі Ю., Берлінський М. А., Волков Д. Ю., Сліже М. О.
Мінливість термохалінного режиму вод Мексиканської затоки у 2005-2017 роках

Екологічні аспекти природокористування

Environmental Aspects of Nature Management

Мудрак О. В., Мудрак Г. В., Щерблюк А. Л.
Науково-методичні і практичні засади оцінювання ключових територій екомережі Східного Поділля за основними критеріями їх формування

- 5 *Dvoretzka I. V., Savenets M. V., Umanets A. P.* Updated total ozone climate normals over the territory of Ukraine
- 16 *Fedoniuk V. V., Fedoniuk M. A., Pavlus A. M.* Study of thunderstorm activity in Volyn Region and in Ukraine using the data of Blitzortung online resource
- 29 *Khokhlov V., Serga E., Nedostrelova L.* Objective selection of model run from regional climate models ensemble

- 37 *Zalizniak Ya. I.* Water quality assessment of the rivers of the Southern Buh Basin within Vinnytsia Region as per integral indicator of pollution
- 48 *Loboda N. S., Kozlov M. O., Katynska I. V.* Evaluation of water resources changes of the Mountain Dniester in 20th century following the RCP8.5 scenario and based on the "climate-runoff" model

- 65 *El Hadri Yu., Berlinsky N. A., Volkov D. Yu., Slizhe M. O.* Variability of thermohaline regime of sea water of the Gulf of Mexico in 2005-2017

- 77 *Mudrak O. V., Mudrak G. V., Shcherbliuk A. L.* Scientific-methodical and practical principles for assessment of the key territories of the Eastern Podillya's econetwork based on the main criteria of their formation

- Приходько В. Ю., Сафранов Т. А., Шанина Т. П. 92
Особливості міграції біогенних елементів при комплексній утилізації біоорганічної складової твердих побутових відходів
Prykhodko V. Yu., Safranov T. A., Shanina T. P. Peculiarities of biogenic elements migration in case of complex utilization of bioorganic component of municipal solid waste
- Степова О. В., Корнішина А. В. Дослідження шумового навантаження центральної частини міста Полтава від автомобільного транспорту 100
Stepova O. V., Kornishyna A. V. Research of road transport noise load in the central part of the City of Poltava
- Хоменко О. М., Єгорова О. В., Мислюк О. О. 111
Аналіз сорбційної здатності природних сорбентів по відношенню до водних розчинів сполук важких металів
Khomenko O. M., Yehorova O. V., Mysliuk O. O. Analysis of sorption capacity of natural sorbents in relation to aqueous solutions of heavy metal compounds
- Чугай А. В., Лавров Т. В., Боровська Г. О., Чернякова О. І. 120
Аналіз забруднення атмосферного повітря м. Одеса із застосуванням даних автоматизованих спостережень
Chugai A. V., Lavrov T. V., Borovska H. O., Chernyakova O. I. Analysis of air pollution in the City of Odesa using automated observation data
- Яковлев Є. О., Сплодитель А. О., Чумаченко С. М. 129
Оцінка еколого-геохімічного стану поверхневих вод Донбасу
Yakovliev Ye. O., Splodytel A. O., Chumachenko S. M. Evaluation of the ecological and geochemical state of surface water in Donbas

УДК: 551.510.534

ОБНОВЛЕНІ КЛІМАТИЧНІ НОРМИ ЗАГАЛЬНОГО ВМІСТУ ОЗОНУ НАД ТЕРИТОРІЄЮ УКРАЇНИ

І. В. Дворецька, М. В. Савенець, А. П. Уманець

Український гідрометеорологічний інститут ДСНС
України та НАН України, пр. Науки, 37, 03028, Київ, Україна,
dvoretska@uhmi.org.ua, <https://orcid.org/0000-0002-3625-4630>
savenetsm@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9429-6209>

У статті представлено результати аналізу просторово-часового розподілу оновлених кліматичних норм загального вмісту озону (ЗВО) для періоду 1991–2020 рр. Досліджено зміни, що відбулися з моменту останнього обрахунку кліматичних норм ЗВО для періоду 1981–2010 рр. Використовуючи дані щоденних супутникових спостережень приладів TOMS та OMI, обчислено середні багаторічні значення, кліматичні норми для кожного дня року, амплітуди, фази та коефіцієнти детермінації сезонних коливань ЗВО над територією України. Із залученням даних реаналізу NCEP/ NCAR встановлено зв'язок змін ЗВО зі змінами меридіональної складової вітру нижньої стратосфери. У дослідженнях показано наявність областей вищого/ нижчого ЗВО, які дещо порушують закономірності широтного розподілу. До їх формування призводить більша повторюваність адвекції повітря із нетиповим вмістом озону для розташування території України, переважно у період із січня до березня. Наведено типовий часовий розподіл кліматичних норм ЗВО, що варіюють від 285 одиниць Добсона (о.Д.) до 375 о.Д.; статистичні закономірності розподілу відхилень та повторюваність появи екстремально високих/ низьких значень ЗВО. У статті наголошено на малій варіативності ЗВО над територією України. Досліджено особливості просторового розподілу амплітуд сезонних коливань, що знаходяться в межах 42–46 о.Д., та періодів настання максимальних значень, що припадає на 19–30 березня залежно від регіону. Виявлено, що з моменту останнього оновлення кліматичних норм ЗВО зменшився в усі місяці року, а максимальне зменшення досягає 8 о.Д. у зимовий сезон. При цьому не спостерігається зростання повторюваності перевищення високих рівнів ультрафіолетового опромінення. Зміни ЗВО пов'язані, в першу чергу, із зсувом показників меридіональної складової вітру у бік від'ємних значень, що відображає зростання повторюваності виносу повітря із північною складовою. Наголошено на комплексності змін ЗВО у досліджуваний період та неузгодженості таких змін із циркуляційним фактором у літній сезон.

Ключові слова: загальний вміст озону; циркуляція Брюера-Добсона; сезонність; відхилення; адвекція; кліматична норма.

1. ВСТУП

Серед хімічних складових атмосферного повітря роль озону є унікальною: його підвищені концентрації у стратосфері формують озоновий шар, що забезпечує поглинання жорсткого ультрафіолетового (УФ) випромінювання [1,2]. Сформувавшись як стабільна ланка атмосфери, озоновий шар дозволяє існувати живим організмам на поверхні Землі [3,4], а також багато у чому визначає термічний режим стратосфери [5]. Як результат, стратосферний озон є хімічною складовою, за якою проводиться постійний моніторинг та дослідження.

Розуміння варіацій загального вмісту озону (ЗВО) в атмосфері та виявлення часових тенденцій потребує наявності уявлень про типовий стан

озонового шару над тією чи іншою територією, що можна описати середньостатистичними показниками. З точки зору кліматології найбільш зручним є використання середніх багаторічних значень ЗВО, що можуть вважатися кліматичною нормою. Загальноприйнятим в кліматології залишається використання 30-річного осереднення метеорологічних величин, що потребує уточнення значень кожне десятиріччя [6]. Таким чином, із закінченням 2020 року постала потреба у перерахунку кліматичних норм ЗВО за новий 30-річний період з 1991 до 2020 рр., які прийдуть на заміну середніх багаторічних значень 1981–2010 рр. Географічне розташування України робить актуальним і прогнозування ЗВО, що необхідне для визначення появи небезпечних

рівнів УФ опромінення та вчасного оповіщення громадськості [7,8], особливо під час туристичного сезону [9]. Ці завдання також вимагають наявності оновлених кліматичних норм для території України.

Пояснення змін кліматичних норм ЗВО потребує детального аналізу інших характеристик просторово-часового розподілу, так як у різні сезони озоновий шар над територією України формується під дією різних переважаючих природних процесів. У помірних широтах мінливість ЗВО залежить від двох основних факторів: фотохімічного утворення/руйнування та динамічних механізмів [1,10]. Основний внесок у стратосфері справляють сезонні процеси, що впливають на фотохімічні реакції утворення та руйнування озону [10]. На висотах вище 30 км вміст озону переважно залежить від фотохімічних реакцій; зі зменшенням висоти у стратосфері зростає роль динамічного фактору [1,11]. На відміну від хімічних реакцій, динамічний механізм не впливає прямо на руйнування озону, а лише перерозподіляє його у просторі [1,10,11].

Над територією України найбільших варіацій ЗВО зазнає у січні – березні [12-16], причинами яких є посилення меридіонального переносу через циркуляцію Брюера-Добсона [13,17] та значна повторюваність адвекції збагаченого озonom повітря на висотах із півночі, що сприяє формуванню двох максимумів вертикального розподілу ЗВО [18,19]. Подальше зменшення ЗВО у теплий період року більшою мірою залежить від дії фотохімічних процесів у зв'язку із послабленням інтенсивності циркуляції Брюера-Добсона [1,11,17]. Моніторинг у теплий період надзвичайно важливий у зв'язку із ймовірністю появи небезпечних рівнів УФ опромінення.

Метою даної роботи є встановлення закономірностей просторово-часового розподілу оновлених кліматичних норм ЗВО за період 1991–2020 рр., та дослідження змін, що відбулися з моменту їх останнього розрахунку для періоду 1981–2010 рр.

2. ВИХІДНІ ДАНІ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Розрахунок кліматичних норм ЗВО для території України за 1991–2020 рр. потребує наявності відповідних рядів спостережень, що характеризуватимуться повнотою, просторовим покриттям та однорідністю даних. Такі умови можуть бути забезпечені використанням супутникових спостережень за допомогою приладів Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) та Ozone

Monitoring Instrument (OMI) [20]. Дослідження на основі даних супутникових спостережень для території України показали збереження однорідності вибірок та можливість їх використання [14,15,21,22].

За період з 1991 до 2020 рр. дані супутникових приладів TOMS та OMI надходили з чотирьох різних супутників. Таким чином, загальна вибірка сформована на основі наступних послідовних рядів спостережень із щоденними даними:

1. 1991–1993 рр. – супутник NASA/NOAA Nimbus-7 з приладом TOMS на борту [23]. Просторова роздільна здатність: 1.25° довготи на 1.00° широти;

2. 1996 – 2004 рр. – супутник NASA Earth Probe з приладом TOMS на борту [24]. Просторова роздільна здатність: 1.25° довготи на 1.00° широти;

3. 2004 – 2020 рр. – супутник Aura з приладом OMI на борту [25]. Просторова роздільна здатність: 1.00° довготи на 1.00° широти.

Кліматичні норми ЗВО розраховано для обласних центрів України, як це використовувалося і раніше під час проведення щодобового контролю стану озонового шару над територією України, з метою обчислення відхилень від норми [18,19]. Відповідно, формувалися вибірки із щоденними значеннями для географічних координат кожного обласного центру, де значення ЗВО відповідало квадрату (розміром $1.25^\circ \times 1.00^\circ$ або $1.00^\circ \times 1.00^\circ$ залежно від приладу), куди потрапляв обласний центр.

Кліматичні норми ЗВО (\overline{Oz}_t) розраховані для кожного дня року (t) та відображають середнє багаторічне значення. Воно обчислено як сума значущих гармонік сезонного ходу [26]

$$\overline{Oz}_t = \overline{Oz} + \sum_{k=1}^n A_k \cos(\omega_k t - \varphi_k)$$

де k – номер значущої гармоніки (n – загальне число значущих гармонік); \overline{Oz} – середнє значення вибірки; A_k – амплітуда гармоніки; ω_k – частота гармоніки ($\omega_k = 2\pi/T_k$; T_k – період гармоніки); φ_k – фаза гармоніки. Амплітуда гармоніки (A_k) відображає максимальнє відхилення \overline{Oz}_t від \overline{Oz} . Фаза гармоніки (φ_k) вказує на час появи максимального відхилення. Для першої гармоніки в середньому відображає період

з найбільшими значеннями ЗВО протягом року; для інших гармонік – період максимального прояву процесу, що впливає на формування гармоніки.

Для аналізу чіткості прояву сезонних мінливості ЗВО, використано коефіцієнт детермінації (R^2), що являє собою відношення дисперсії кліматичних норм ЗВО ($D_{O_{ст}}$) до дисперсії фактичних значень ЗВО ($D_{O_{ст}}$)

$$R^2 = \frac{D_{O_{ст}}}{D_{O_{ст}}}$$

З використанням t -критерію Стьюдента на рівні $\alpha=0.05$ перевірено значущість гармонік.

Аналіз змін середніх показників метеорологічних характеристик у нижній стратосфері за 1991–2020 рр. у порівнянні з 1981–2010 рр. здійснено за допомогою реаналізу National Centers for Environmental Prediction/ National Center for Atmospheric Research (NCEP/ NCAR) [27]. Репрезентативним рівнем обрано стандартну ізобаричну поверхню 30 гПа. Аналіз змін проведено для швидкості вітру, зональної складової вітру, меридіональної складової вітру, температури повітря, висоти ізобаричного рівня 30 гПа. Проте, у процесі обробки даних у нижній стратосфері виявлено зміни тільки для складових вітру, тому у подальшому використано виключно ці характеристики.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ

Для території України середні багаторічні значення ЗВО за період 1991–2020 рр. складають 327–330 одиниць Добсона (о.Д.). Однорідність просторового розподілу ЗВО пояснюється досить малою площею України відповідно до просторового масштабу процесів, які визначають формування озонового шару. Прослідковується дещо нижчий ЗВО (327 о.Д.) над західною частиною території України та незначне збільшення концентрацій (до 329–330 о.Д.) над центром та північним-сходом (рис. 1).

Дещо нижчі/вищі середні багаторічні значення ЗВО узагальнено відображають території з більшою повторюваністю короткострокової (до кількох діб) адвекції повітряних мас у верхній тропосфері – нижній стратосфері з нижчими/вищими концентраціями озону. Так, з річного ходу кліматичних норм ЗВО (рис. 2) видно, що найбільші різниці між заходом (на прикладі м. Львів) та сходом (на прикладі м. Луганськ) спостерігаються в період найвищих

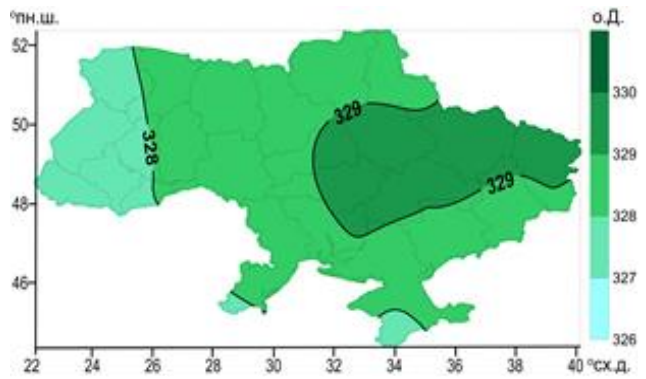


Рис. 1 – Просторовий розподіл середніх багаторічних значень ЗВО за 1991–2020 рр.

Fig.1 – The spatial distribution of total ozone multiyear average values for the period 1991–2020

концентрацій озону з січня до початку березня. У цей час високі значення ЗВО спостерігаються на північ від України, які досягають максимумів поблизу стратосферного полярного вихору. Це є результатом найбільш інтенсивної циркуляції Брюера-Добсона через т.з. «верхню» гілку (в англійській літературі «deep branch» [17]) у зимовій півкулі, яка активно транспортує озон із тропічних широт. Протягом цього періоду відмічається висока повторюваність адвекції збагачених озоном повітряних мас із північного-сходу, що впливають на формування більш високого ЗВО над східною і північно-східною частинами території України. Формування менших значень ЗВО над західними районами території України, найімовірніше пов'язано із двома факторами. Перший – менша повторюваність надходження збагачених озоном повітряних мас. Другий – деяке посилення меридіональних процесів у нижній стратосфері навесні за досліджуваній період. Так, значення меридіональної складової вітру на ізобаричному рівні 30 гПа за період 1991–2020 рр. над помірними широтами території Європи зменшились на 1–2 м/с. Причому на заході – північному-заході спостерігається зсув значень меридіональної складової вітру саме у бік від'ємних показників, що означає більшу повторюваність виносу повітряних мас із півночі, які вже у цей період року характеризуються меншим ЗВО.

З рис. 2 чітко видно збереження типового річного ходу ЗВО над територією України, з найвищим ЗВО у лютому–березні, поступовим зменшенням вмісту, що досягає мінімальних значень у жовтні. Формування подібної сезонної мінливості виникає через поєднання циркуляційних процесів у стратосфері та фактору фотохімічного утворення/руйнування озону.

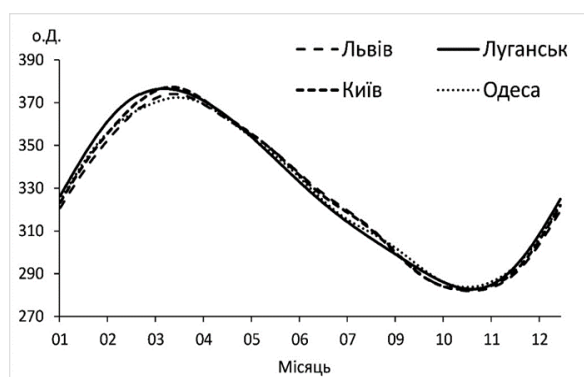


Рис. 2 – Річний хід кліматичних норм ЗВО за 1991–2020 рр.
Fig. 2 – Annual cycle of total ozone climate normal for the period 1991–2020

Вищі значення ЗВО спостерігаються протягом холодного сезону року у зв'язку із найбільш інтенсивною циркуляцією Брюера-Добсона, що призводить до формування максимального ЗВО у кінці лютого – на початку березня. Мінімуми ж вмісту формуються у період різкого зменшення фотохімічного утворення озону через зменшення надходження сонячної радіації та при слабкому перенесенні озону із тропічних широт з циркуляцією Брюера-Добсона.

Тривалість періоду поступового зменшення ЗВО в цілому охоплює 8 місяців. Найчастіше з листопада починається збільшення ЗВО, що триває 4 місяці. Період зростання вмісту озону в атмосфері характеризується більш різкими змінами значень, ніж протягом періоду поступового зменшення. Для цілей щодобового моніторингу та визначення небезпечності рівнів УФ опромінення важливим є період з травня до серпня. У цей час кліматичні норми ЗВО зменшуються з 340 о.Д. до 300 о.Д. Кількість сонячної радіації, що надходить в цей час до земної поверхні найбільша, а тому будь-які короткострокові від'ємні відхилення від норми вмісту озону за відсутності хмарності потребують особливої уваги через можливе зростання УФ-індексу до небезпечних для здоров'я рівнів.

Незважаючи на те, що протягом лютого–березня кліматичні норми ЗВО перевищують 360 о.Д., недовготривалість такого періоду призводить до того, що ці значення не потрапляють в межі 25–75% центилів (рис. 3). Кліматичні норми ЗВО у жовтні – на початку листопада також виходять за вказані межі. Це свідчить про достатню високу роль сезонних факторів формування озону в порівнянні з більш короткостроковими процесами, що впливають на флуктуації ЗВО. Для території України типовими значення

ми, що потрапляють в межі 25–75% є 295–355 о.Д. Медіанні значення знаходяться близько 325 о.Д.

Значення ЗВО, що перевищують 450 о.Д. та є нижчими за 210 о.Д. можна вважати викидами (значення, що суттєво відмінне від загальної вибірки), проте за досліджуваний період подібні відхилення не були помилковими та дійсно мали місце. Усі вони стали результатом адвекції повітряних мас з екстремально високим/низьким ЗВО, що, зазвичай, тривали не більше 2–3 діб.

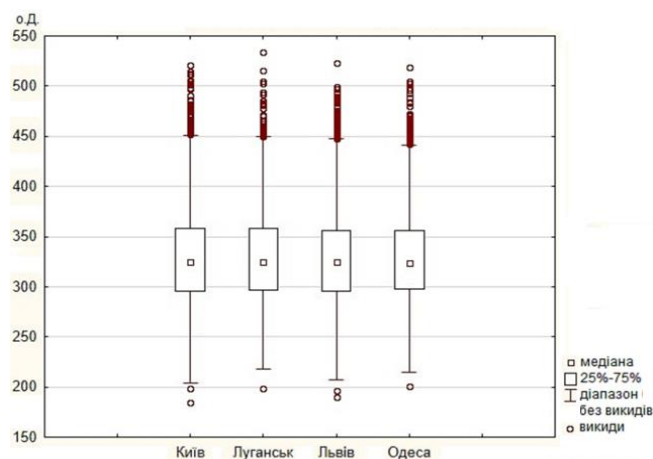


Рис. 3 – Діаграма розмаху ЗВО для Києва (північ), Луганська (схід), Львова (захід) та Одеси (південь)

Fig. 3 – Box-Whisker plot for total ozone over Kyiv (north), Luhansk (east), Lviv (west) and Odesa (south)

У статистичному розподілі подібні екстремальні відхилення знаходяться за межею 2.75σ для додатних та -2.25σ для від'ємних відхилень. В цілому, для розподілу ЗВО над територією України характерна незначна права (додатна) асиметрія (рис. 4), тобто переважає повторюваність додатних відхилень.

Близько 50% усіх значень ЗВО над територією України не виходять за межі $\pm 0.5\sigma$; а в інтервал $\pm 1.0\sigma$ потрапляє близько 85% значень. Така кількість значень в межах $\pm 1.0\sigma$ значно більше, ніж це є характерним для переважної більшості величин у природі, для яких можливо апроксимувати закономірності розподілу Гаусса. Тобто, озоновий шар у помірних широтах можна вважати досить маловаріативним у порівнянні з іншими компонентами атмосфери. Більш того, відхилення, що перевищують $\pm 1.5\sigma$ (частка яких лише близько 5%) переважно спостерігаються лише протягом січня – березня, коли динамічний фактор формування озонового шару набуває максимального впливу у північній півкулі.

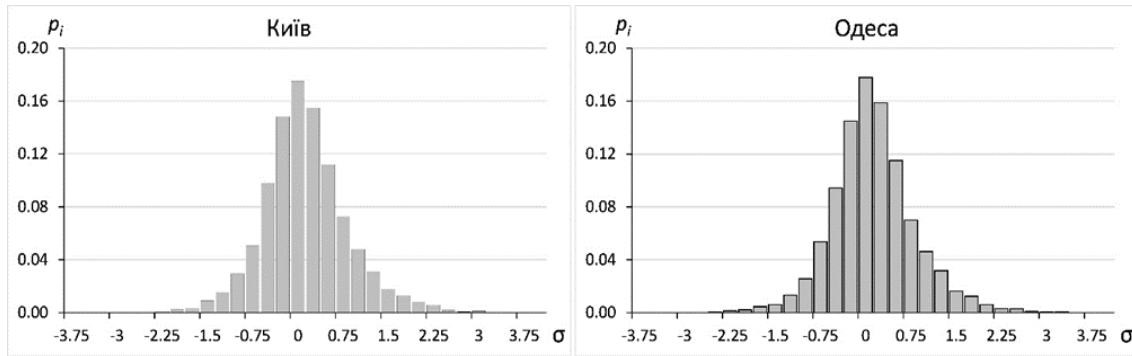


Рис. 4 – Статистичний розподіл відхилень ЗВО

Fig.4 – The statistical distribution of total ozone deviations

Кліматичні норми ЗВО за період 1991–2020 рр. зменшилися у порівнянні з попереднім оновленням за 1981–2010 рр. (рис. 5а). В залежності від регіону, ЗВО зменшився від -4.8 о.Д. до -5.4 о.Д. з найсуттєвішими змінами на сході України. За часовим розподілом зміни кліматичних норм ЗВО (рис. 6) видно, що зменшення спостерігається в усі місяці року. Враховуючи сезонність дії переважаючих факторів формування озонового шару у помірних широтах, що проявляються у різні місяці, причинами подібного зменшення не може бути дія лише одного визначеного фактору. Неузгодженість зменшення просторового розподілу кліматичних норм ЗВО зі зменшенням амплітуди першої (визначальної для формування сезонної мінливості) гармоніки (рис. 5б) також свідчить про комплексність та складність змін, що відбулися.

Для пояснення можливих причин зменшення ЗВО та амплітуди сезонних коливань, необхідно зауважити дві важливі деталі. Перша з них – це відсутність значущих змін R^2 сезонної мінливості, навіть за умови значущого, хоча і незначного,

зменшення амплітуди. Друга – це відсутність зсуву фаз, тобто збереження періоду настання найвищих значень ЗВО у році. Ці закономірності вказують на те, що зменшення ЗВО, найімовірніше, не пов'язане зі змінами сезонної мінливості, тобто зі змінами інтенсивності циркуляції Брюера-Добсона та балансу між фотохімічних утворенням/ руйнуванням озону (так як саме ці два фактори визначають чіткість прояву сезонних коливань та настання максимумів ЗВО).

Серед змін метеорологічних величин, що зазнали найбільшого впливу у нижній стратосфері у 1991–2020 рр. в порівнянні з 1981–2010 рр. стали зміни компонент вітру, зокрема зсув у бік від'ємних значень меридіональної складової вітру приблизно на 1–2 м/с. Найбільшого прояву вони набули над Північною Європою та захопили західну й північно-західну частини території України. У сезонному ході, найбільшу роль у вказаних змінах відіграють весняні місяці. Зсув меридіональної складової вітру у бік від'ємних значень означає зростання повторюваності адвекції повітря із північною складовою у нижній стратосфері.

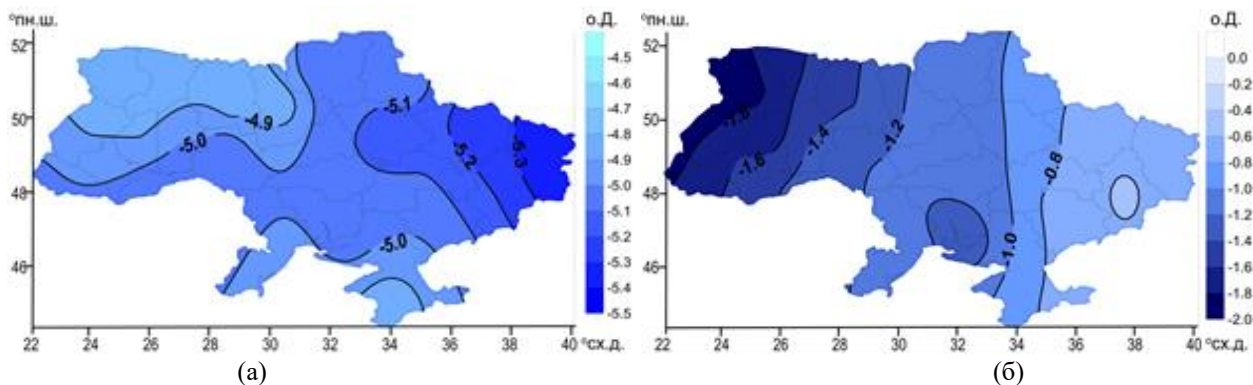


Рис. 5 – Просторовий розподіл зміни кліматичних норм ЗВО (а) та амплітуди першої гармоніки (б) у 1991-2020 рр. відносно 1981-2010 рр.

Fig. 5 – Spatial distribution of total ozone climate normal changes (a) and the first harmonic amplitude (b) in 1991-2020 relatively 1981-2010

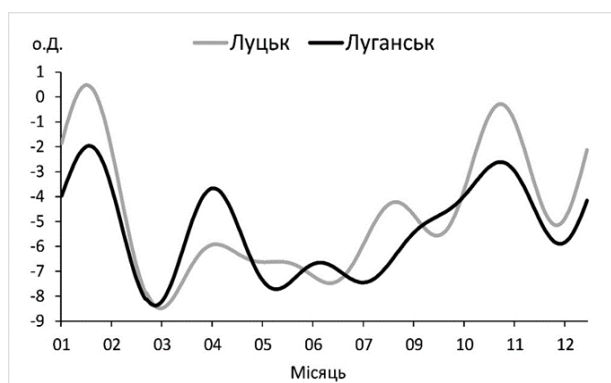


Рис. 6 – Часовий розподіл зміни кліматичних норм ЗВО у 1991-2020 рр. відносно 1981-2010 рр.

Fig. 6 – Temporal distribution of total ozone climate normal changes in 1991-2020 relatively 1981-2020

Подібні зміни циркуляції, враховуючи період їх найбільш значного прояву (березень – травень), потенційно можуть бути причиною зменшення амплітуд ЗВО. Зміни амплітуд, у свою чергу, сильніше проявляються на північному-заході території України, та послаблюються у напрямку на схід та південний схід (рис. 5б). На відміну від адвекції повітря із північного-сходу, де ЗВО залишається високим значно довший час, надходження повітря із північного-заходу, зазвичай, приносить нижчі концентрації озону. Збільшення повторюваності меридіональних потоків і надходження повітря з нижчим ЗВО із північного-заходу, що надалі поширюється зональними потоками, може нівелювати надходження озону із півдня з циркуляцією Брюера-Добсона (яка, до того ж, починає поступово слабшати). Ці процеси можуть призвести як до деякого зменшення ЗВО над західною частиною території України, так і до зменшення амплітуди річних коливань, так як типові високі значення ЗВО частіше стають ближчими до медіанних значень.

Проте, наведені зміни меридіональної складової вітру та їх вплив не можуть пояснити літнє зменшення ЗВО до 8 о.Д. (рис. 6), а також зменшення кліматичних норм на сході території України (рис. 5а). За досліджуваний період не виявлено значних циркуляційних змін у нижній стратосфері, що могли вплинути на східні регіони України, тобто, найімовірніше, повторюваність виходу збагачених озоном повітряних мас не змінилася. Проте, область найбільшого зменшення ЗВО на території України (рис. 5а) співпадає з областю найвищих значень кліматичних норм (рис. 1). Цілком можливим є прояв загального зменшення ЗВО, що у свою чергу, призводить до надходження повітряним мас з північно-

го сходу з нижчим ЗВО. Влітку провідна роль у варіаціях ЗВО в помірних широтах належить процесам фотохімічного утворення/руйнування озону. Виявлення причин літнього зменшення ЗВО потребує окремого розширеного дослідження, що повинне базуватися на аналізі вмісту аерозольних складових, нітрогено-, хлоро-, та водневомісних сполук у стратосфері, наявності достатньої кількості вільного атомарного кисню, та моделювання хімічних процесів з урахуванням тропосферно-стратосферного обміну.

Чіткість прояву сезонних коливань в межах України мало відрізняється залежно від території. Загалом, сезонна мінливість пояснює від 49% до 56% дисперсії ЗВО (рис. 7). Незважаючи на те, що амплітуди першої гармоніки (визначальної у формуванні сезонної мінливості) характеризується чіткою широтною зміною (рис. 8а), R^2 у просторовому розподілі набуває довготної залежності.

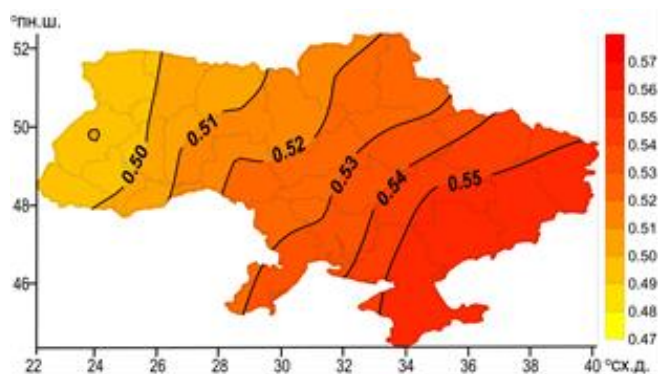


Рис. 7 – Просторовий розподіл коефіцієнту детермінації (R^2) сезонного ходу ЗВО

Fig.7 – Spatial distribution of the determination coefficient (R^2) for total ozone seasonal variability

Чим південніше у помірних широтах розташований регіон, тим стабільніше над ним озоновий шар. Це виникає в результаті постійного надходження сонячної радіації протягом року та, відповідно, стабільнішого перебігу процесів фотохімічного утворення озону. У напрямку на північ посилюються сезонні контрасти надходження сонячної радіації та відмінності в інтенсивності циркуляційних процесів (Брюера-Добсона, стратосферний полярний вихор). Як результат, тривалість періоду між максимальним та мінімальним вмістом озону на півдні значно менша, ніж на півночі. Отже, амплітуди сезонної мінливості будуть зростати у напрямку з півдня на північ, що і прослідковується для території України (рис. 8а). В цілому, амплітуди першої гармоніки варіюють від 42.0 о.Д.

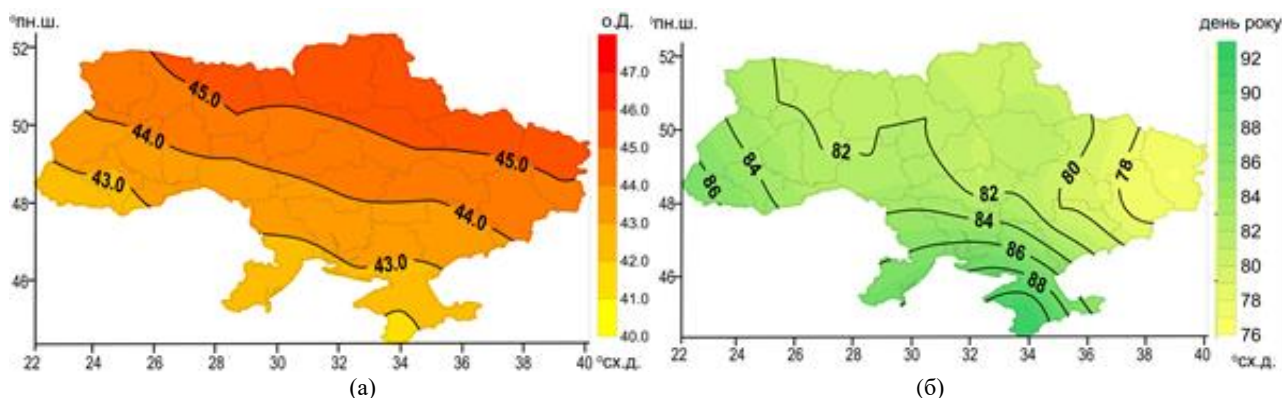


Рис. 8 – Просторовий розподіл амплітуди (а) та фази (б) першої гармоніки сезонного ходу ЗВО за 1991–2020 рр.

Fig. 8 – Spatial distribution of the first harmonic amplitude (a) and phase (b) for total ozone seasonal variability in 1991-2020

на крайньому півдні території України до 46.0 о.Д. на півночі.

Зазвичай, за однакової дисперсії у часових рядах, чим вища амплітуда гармонік сезонного ходу, тим краще проявляється сезонна мінливість, тобто вищий R^2 . Значну роль відіграють флуктуації, що погіршують прояв сезонних особливостей. У випадку ЗВО, амплітуди на південь від території України нижчі, проте і відхиленя від норми значно менше. Натомість, у північніших широтах вищі амплітуди, проте сильно збільшується повторюваність короткострокових флуктуацій ЗВО, що можуть значним чином відхилятися від норми. Це і призводить до того, що R^2 сезонної мінливості зменшується у напрямку на північ та не узгоджується із просторовим розподілом амплітуди. Широтна залежність розподілу R^2 сезонності ЗВО порушується особливістю циркуляції у стратосфері над територією України. Західна складова вітру взимку найчастіше приносить високий ЗВО, тоді як східна складова влітку – низький ЗВО. Саме різниця у концентраціях озону в різні сезони сприяє порушенню широтного розподілу R^2 . Як результат, найкраще сезонна мінливість ЗВО над територією України проявляється на південному-сході, найгірше – на заході та північному-заході (рис. 7).

Фази першої гармоніки відповідають часу настання максимальних значень ЗВО, і для території України знаходяться в межах 78–89 день року (рис. 8б). Тобто, найвищий ЗВО спостерігається в період з 19 до 30 березня. Так як накопичення озону відбувається на північ від території України (біля південної межі стратосферного полярного вихору), настання максимумів ЗВО там спостерігається раніше. Зсув фаз на більш пізній період відбувається у напрямку на південь.

4. ОБГОВОРЕННЯ

Оновлення кліматичних норм для території України показало, що розглядаючи незначні просторові масштаби (відносно півкулі, зокрема), починають прослідковуватись порушення широтного розподілу кліматичних норм ЗВО та ряду узагальнених характеристик сезонної мінливості. І хоча широтна залежність розподілу ЗВО є найбільш типовою ознакою над територією України [12], усе ж висока повторюваність тих чи інших циркуляційних процесів може сформувати локальні осередки високого/низького ЗВО, що не згладжуються навіть в масштабах кліматичного періоду.

Вже було досліджено появу т.з. улоговини ЗВО на заході території України та утворення т.з. гребня на півночі та у центрі в окремі місяці [16,28]. У нашій роботі отримано підтвердження формування подібних особливостей, в основі яких лежать динамічні фактори. Значну роль при цьому відіграє саме адвекція повітряних мас із високим ЗВО. У [13] показано, що зростання амплітуди сезонної мінливості відбувається саме за рахунок максимальних рівнів ЗВО, при цьому роль надходження збагаченого озonom повітря є провідною, що відбувається за рахунок меридіональних процесів. Обчислення характеристик гармонік сезонного ходу ЗВО показало також порушення широтного залежності розподілу коефіцієнтів детермінації та фази.

Варто звернути увагу на зменшення кліматичних норм ЗВО у порівнянні з попереднім оновленням. Загалом, зменшення ЗВО над територією України діагностовано і раніше [12], у тому числі з наголошенням на коливальний характер подібних змін [14,29]. Проведені дослідження показали, що зменшення ЗВО відбувається більшою мірою за рахунок зменшення повторюва-

ності аномально високих значень у період з лютого до березня. В усі місяці року розподіл ЗВО мало відхиляється від середніх багаторічних значень та не несе небезпеки у вигляді збільшення повторюваності появи високих значень УФ-індексу над територією України. Більш того, практично відсутні негативні аномальні відхилення ЗВО, що можуть нести потенційну загрозу високих значень УФ-індексу влітку. Тим не менше, аналіз тенденцій зміни ЗВО над територією України варто вважати актуальною темою для майбутніх досліджень.

Проведені дослідження вказали на ряд проблемних питань, вирішити які можливо за допомогою моделювання із залученням хіміко-метеорологічних моделей. Серед відкритих питань особливої уваги потребує пояснення причин зменшення ЗВО влітку, коли провідну роль відіграють процеси фотохімічного руйнування/утворення озону. З використанням методів моделювання вдалося дослідити причини неочікуваного зменшення ЗВО у тропічних широтах [30]. При цьому, наголошується про можливу роль N_2O у збільшенні кількості реакцій руйнування озону. Схожі механізми можуть мати місце і у помірних широтах, а тому потребують залучення до досліджень даних аерозолі у стратосфері, а також нітрогено- та хлоровмістних сполук, причому з обов'язковим урахуванням процесів їх природного надходження.

5. ВИСНОВКИ

Обчислено оновлені кліматичні норми ЗВО для періоду 1991–2020 рр., які стануть актуальними на найближче десятиріччя. Однорідність просторового розподілу середніх багаторічних значень ЗВО над територією України порушується наявністю області нижчих значень на заході (327 о.Д.) та області вищих значень на сході – північному-сході (330 о.Д.). Їх формування відбувається переважно за рахунок циркуляційних процесів у лютому – березні та пов'язане із більшою повторюваністю виносу повітряних мас з вищим/нижчим ЗВО у нижній стратосфері. Кліматичні норми ЗВО варіюють від 285 о.Д. до 375 о.Д. з максимальним вмістом в період з 19 до 30 березня, залежно від території. На півночі найвищі значення ЗВО формуються раніше, ніж на півдні. Амплітуди сезонної мінливості ЗВО складають 42–46 о.Д. зі збільшенням значень у напрямку на північ, що пов'язане із посиленням сезонних контрастів надходження сонячної радіації та відмінності в інтенсивності циркуляційних процесів зимового та літнього півріччя.

В межах $\pm 0.5\sigma$ знаходиться близько 50% усіх значень ЗВО над територією України; а в межах $\pm 1.0\sigma$ – 85% значень, що вказує на маловаріативність озонового шару над територією України. Основна частина відхилень більше $\pm 1.5\sigma$ припадає на січень–березень, тобто в період найбільш інтенсивної циркуляції Брюера-Добсона, а також повторюваності адвекції повітря із півночі, де ЗВО суттєво відрізняється від типового для території України.

З моменту останнього оновлення кліматичних норм, ЗВО зазнав деякого зменшення в усі місяці року, максимальне з яких досягає 8 о.Д., а також зменшення амплітуд на $-4.8\dots-5.4$ о.Д., що частково пов'язане зі зміною меридіональної складової вітру у нижній стратосфері, особливо у весняний період. Проте, відкритими питаннями залишаються причини зменшення ЗВО у літній сезон, коли роль циркуляційних факторів формування вмісту ЗВО найменша.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Dessler A. The Chemistry and Physics of Stratospheric Ozone. International Geophysics Series. Academic Press, 2005. 255 p.
2. Fabian P., Dameris M. Ozone in the Atmosphere: Basic Principles, Natural and Human Impacts. Springer, 2014. 144 p.
3. Cockell C. S., Raven J. A. Ozone and life on the Archaean Earth. *Philosophical Transactions of The Royal Society. A Mathematical Physical and Engineering Sciences*. 2007. 365 (1856). Pp. 1889-1901.
4. Tevini M. UV-B radiation and ozone depletion. Effects on humans, animals, microorganisms and materials. Lewis Publishers, 1993. 256 p.
5. An influence of solar spectral variations on radiative forcing of climate / Haigh J. D. et al. *Nature*. 2010. 467. Pp. 696–699
6. WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals. URL:https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4166 (Accessed: 13 January 2021)
7. Savenets M., Dvoretzka I., Kruchenitskiy G. The method for prediction of total ozone and ultraviolet radiation over Ukraine based on satellite data. *EUMETSAT Meteorological Satellite Conference 2016*, 26–30 September. Darmstadt, Germany, 2016.
8. Дворецька І. В., Сидоренко А. В. Прогноз загального вмісту озону над територією України. *Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту*. 2012. Вип. 261. С. 106-116
9. Савенець М. В. Особливості використання інформації щодо загального вмісту озону для цілей розвитку санаторно-курортної галузі України. *Вплив кліматичних змін на просторовий розвиток території Землі: наслідки та шляхи вирішення*: матеріали II Міжнародної наук.-практ. конф., 13-14 червня. Херсон, 2019. С. 163-165
10. Нерушев А. Ф. Воздействие интенсивных атмосферных вихрей на озоновый слой Земли. Санкт-Петербург: Гидрометеоздат, 2003. 224 с.

11. Rosenlof K. H. Seasonal cycle of the residual mean meridional circulation in the stratosphere. *Journal of Geophysical Research*. 1995. 100. Pp. 5173–5191.
12. Могильчак В. Ю., Міліневський Г. П. Варіації загального вмісту озону в атмосфері над територією України. *Космічна наука і технологія*. 2017. Т. 23(2). С. 41–47.
13. Євтушевський О. М. Довготна залежність сезонних змін загального вмісту озону в середньоширотній атмосфері північної півкулі. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. 2014. № 3. С. 49–58
14. Калініна І. В. Кліматичні норми загального вмісту озону. *Фізична географія та геоморфологія*. 2005. № 48. С. 257–263
15. Дворецька І. В. Особливості динаміки загального вмісту озону в сучасний період. *Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту*. 2012. Вип. 262. С.257–271
16. Марченко С. П., Бургаз О. А. Статистична структура полів загального вмісту озону над територією України / VI Всеукраїнський з'їзд екологів: матеріали конф., 21–22 вересня. Одеса, 2017. С. 92
17. Butchart N. The Brewer-Dobson circulation. *Reviews of Geophysics*. 2014. 52. Pp. 157–184.
18. Огляд стану озонового шару та рівня ультрафіолетового опромінення над територією України у 2018 році / Дворецька І. В., Савенець М. В., Уманець А. П. та ін. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2019. №23. С.34–41. <https://doi.org/10.31481/uhmj.23.2019.04>
19. Стан озонового шару та рівня ультрафіолетового опромінення над територією України у 2019 році/ Савенець М. В., Дворецька І. В., Уманець А. П. та ін. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2020. №25. С. 53–62. <https://doi.org/10.31481/uhmj.25.2020.05>
20. NASA Ozone Watch. Images, data, and information for atmospheric ozone. URL: <https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov> (Accessed: 15 January 2021)
21. Grytsai A., Milinevsky G. SCIAMACHY/ Envisat, OMI/Aura, and ground-based total ozone measurements over Kyiv-Goloseyev station. *International Journal of Remote Sensing*. 2013. 34(15). Pp. 5611–5622
22. Комісар К. М., Кривобок О. А. Система оперативного моніторингу за станом озонового шару над територією України за супутниковими даними. *Географія та туризм*. 2014. Вип. 28. С. 255–262
23. Nimbus 7 data. URL: <https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/data/nimbus7/> (Accessed: 15 January 2021)
24. Earth Probe data. URL: <https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/data/eptoms/> (Accessed: 15 January 2021)
25. OMI data. URL: <https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/data/omi/Y2004/> (Accessed: 15 January 2021)
26. Doran H. E., Quilkey J. J. Harmonic Analysis of Seasonal Data: Some Important Properties. *American Journal of Agricultural Economics*. 1972. 54. Pp. 646–651.
27. NCEP/ NCAR Reanalysis. URL: <https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html> (Accessed: 22 January 2021)
28. Бургаз О. А. Просторово-часова динаміка полів загального вмісту озону над територією України. *Молодий науковець*. 2016. №10(37). С.31–36.
29. Никифоров А. В., Никифорова М. П. Анализ современной пространственно-временной изменчивости общего содержания озона над Карпатским регионом. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія "Екологія"*. 2010. №893. С.30–40
30. Dynamically controlled ozone decline in the tropical mid-stratosphere observed by SCIAMACHY / Galytska E. et al. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2019. 19. Pp. 767–783

REFERENCES

1. Dessler, A. (2005). *The Chemistry and Physics of Stratospheric Ozone. International Geophysics Series*. Academic Press.
2. Fabian, P. & Dameris, M. (2014). *Ozone in the Atmosphere: Basic Principles, Natural and Human Impacts*. Springer.
3. Cockell, C.S. & Raven, J.A. (2007). Ozone and life on the Archaean Earth. *Philosophical Transactions of The Royal Society. A Mathematical Physical and Engineering Sciences*, 365(1856), pp. 1889–1901.
4. Tevini, M. (1993). *UV-B radiation and ozone depletion. Effects on humans, animals, microorganisms and materials*. Lewis Publishers
5. Haigh, J.D., Winning, A.R., Toumi, R. et al. (2010). An influence of solar spectral variations on radiative forcing of climate. *Nature*, 467, pp. 696–699
6. *WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals*. Available at: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4166 (Accessed: 13.01.2021)
7. Savenets, M., Dvoretzka, I. & Kruchenitskiy, G. (2016). The method for prediction of total ozone and ultraviolet radiation over Ukraine based on satellite data. *EUMETSAT Meteorological Satellite Conference 2016*, 26–30 September, Darmstadt, Germany.
8. Dvoretzka, I.V. & Sydorenko, A.V. (2012). [The forecast of total ozone over the territory of Ukraine]. *Naukovi pratsi Ukrainkoho naukovo-doslidnoho hidrometeorolohichnoho instytutu [Scientific reports of the Ukrainian Scientific-Research Hydrometeorological Institute]*, 261, pp. 106–116. (in Ukr.)
9. Savenets, M.V. (2019). [The features of total ozone information usage for the purpose of the sanatorium and resort industry in Ukraine]. *Materialy II mizhnarodnoi naukovo-practychnoi konferentsii "Vplyv klimatychnuh zmin na prostorovyi rozvytok terytoriyi Zemli : naslidky ta shliakhy vyrishennia" [Proceedings of the 2th International Science and Practical Conference "Impact of climate change on spatial development of Earth's territories: implications and solutions"]*, 13–14 June. Kherson, pp. 163–165. (in Ukr.)
10. Nerushev, A.N. (2003). *Vozdeistvie intensivnyh atmosferynyh vihrey na ozonovyi sloi Zemli [The impact of intense atmospheric perturbations on the Earths' ozone layer]*. Sankt-Peterburg: Gidrometeoizdat. (in Russ.)
11. Rosenlof, K.H. (1995). Seasonal cycle of the residual mean meridional circulation in the stratosphere. *Journal of Geophysical Research*, 100, pp. 5173–5191.
12. Mogylichak, V.Y. & Milinevskiy, G.P. (2017). [Variations of total ozone in the atmosphere over the territory of Ukraine]. *Kosmichna nauka i tehnologia [Space Science and Technology]*, 23(2), pp. 41–47. (in Ukr.)
13. Yevtushevskiy, O.M. (2014). [Longitudinal Dependence of Seasonal Changes of Total Ozone Content in the Northern Midlatitudinal Atmosphere]. *Ukrainskyi zhurnal dystantsiinoho zonduvannia Zemli [Ukrainian Journal of Remote Sensing]*, 3, 49–58 (in Ukr.)
14. Kalinina, I.V. (2005). [Climate normal of total ozone content]. *Fizychna heohrafiya ta heomorfolohia [Physical Geography and Geomorphology]*, 48, 257–263. (in Ukr.)
15. Dvoretzka, I.V. (2012). [Features of total ozone dynamics in the modern period]. *Naukovi pratsi Ukrainkoho naukovo-doslidnoho hidrometeorolohichnoho instytutu [Scientific reports of the Ukrainian Scientific-Research Hydrometeorological Institute]*, 262, 257–271 (in Ukr.)

16. Marchenko, S.P. & Burgaz, O.A. (2017). [Statistical structure of total ozone fields over the territory of Ukraine]. *VI Vseukrainskyi z'izd ekologiv [6th All-Ukrainian Meeting of Ecologists]*, 21-22 September. Odesa, p. 92. (in Ukr.)
17. Butchart, N. (2014). The Brewer-Dobson circulation. *Reviews of Geophysics*, (52), 157–184.
18. Dvoretzka, I.V., Savenets, M.V., Umanets, A.P. et al. (2019). [Examination of the ozone layer condition and level of ultraviolet irradiation within the territory of Ukraine in 2018]. *Ukraïns'kij gidrometeorologičnij žurnal [Ukrainian hydrometeorological journal]*, (23), pp. 34-41. <https://doi.org/10.31481/uhmj.23.2019.04> (in Ukr.)
19. Savenets, M.V., Dvoretzka, I.V., Umanets, A.P. et al. (2020). [Ozone layer state and level of ultraviolet irradiance over the territory of Ukraine in 2019]. *Ukraïns'kij gidrometeorologičnij žurnal [Ukrainian hydrometeorological journal]*, (25), pp. 53-62. <https://doi.org/10.31481/uhmj.25.2020.05> (in Ukr.)
20. NASA Ozone Watch. Images, data, and information for atmospheric ozone. Available at: <https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov> (Accessed: 15.01.2021)
21. Grytsai, A. & Milinevsky, G. (2013). SCIAMACHY/Envisat, OMI/ Aura, and ground-based total ozone measurements over Kyiv-Goloseyev station. *International Journal of Remote Sensing*, 34(15), pp. 5611-5622
22. Komisar, K.M. & Kryvobok, O.A. (2014). [The system of operational monitoring for the ozone layer state over the territory of Ukraine using satellite data]. *Heohrafiya i turizm [Geography and Tourism]*, (28), pp. 255-262 (in Ukr.)
23. Nimbus 7 data. Available at: <https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/data/nimbus7/> (Accessed: 15.01.2021)
24. Earth Probe data. Available at: <https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/data/eptoms/> (Accessed: 15.01.2021)
25. OMI data. Available at: <https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/data/omi/Y2004/> (Accessed: 15.01.2021)
26. Doran, H.E. & Quilkey, J.J. (1972). Harmonic Analysis of Seasonal Data: Some Important Properties. *American Journal of Agricultural Economics*, (54), pp. 646-651.
27. NCEP/ NCAR Reanalysis. Available at: <https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html> (Accessed: 22.01.2021)
28. Burgaz, O.A. (2016). [Spatio-temporal dynamics of total ozone fields above territory of Ukraine]. *Molodyi naukovec [Young Scientist]*, 10, pp. 31-36. (in Ukr.)
29. Nikiforov, A.V. & Nikiforova, M.P. (2010). [Analysis of the current spatio-temporal variability of the total ozone over the Carpathian region]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universitetu imeni V.N. Karazina. Seria "Ekologia" [Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University Series "Ecology"]*, (893), pp. 30-40. (in Russ.)
30. Galytska, E. et al. (2019). Dynamically controlled ozone decline in the tropical mid-stratosphere observed by SCIAMACHY. *Atmospheric Chemistry and Physics*, (19), pp. 767–783.

UPDATED TOTAL OZONE CLIMATE NORMALS OVER THE TERRITORY OF UKRAINE

I. V. Dvoretzka, M. V. Savenets, A. P. Umanets

*Ukrainian Hydrometeorological Institute, 37, Nauky Pr., 03028 Kyiv, Ukraine,
dvoretzka@uhmi.org.ua, <https://orcid.org/0000-0002-3625-4630>
savenetsm@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9429-6209>*

The study presents the results of analysis of spatiotemporal distribution of updated total ozone climate normals for the period of 1991–2020. It analyzes the changes since the last total ozone climate normals estimate conducted for the period of 1981–2010. The daily data retrieved using TOMS and OMI satellite instruments over the territory of Ukraine allowed calculation of multiyear average values, climate normals for each day of the year, amplitudes, phases and determination coefficients for total ozone seasonal variations. Use of the NCEP/NCAR reanalysis data allowed establishment of the relation between total ozone and meridional wind changes in the lower stratosphere. The research shows the existence of the regions with higher/lower total ozone content that are not in line with the characteristics of latitudinal distribution. They are formed due to more frequent recurrence of air advection with ozone content that is not typical for the Ukrainian territory, mostly from January to March. The study describes a typical temporal distribution of the total ozone climate normals varying from 285 to 375 Dobson units (D.u.) and analyzes the statistic patterns of deviations distribution and recurrence of extremely high/low total ozone content. The paper emphasizes a small variation of total ozone over the territory of Ukraine. The authors also researched the features of spatial distribution of seasonal variation amplitudes varying within the range of 42–46 D.u. and the specifics of maximum values periods observed from 19 to 30 of March, depending on a region. It was established that, since the previous update of the climate normals, the total ozone decreased for all months with its maximum decrease of about 8 D.u. in winter. However, no increase of recurrence of ultraviolet radiation high levels was observed. Total ozone changes are mainly associated with shifts of meridional wind values to negative ones. This process indicates the increase of recurrence of air advection from the north.

The paper also emphasizes the complexness of total ozone changes during the period of research and the lack of consistency of such changes with the circulation factor of summer months.

Keywords: total ozone content; Brewer-Dobson circulation; seasonality; deviation; advection; climate normal.

ОБНОВЛЕННЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ НОРМЫ ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ОЗОНА НАД ТЕРРИТОРИЕЙ УКРАИНЫ

И. В. Дворецкая, М. В. Савенец, А. П. Уманец

*Украинский гидрометеорологический институт ГСЧС
Украины и НАН Украины, пр. Науки, 37, 03028, Киев, Украина,
dvoretska@uhmi.org.ua, <https://orcid.org/0000-0002-3625-4630>
savenetsm@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9429-6209>*

В статье представлены результаты анализа пространственно-временного распределения обновленных климатических норм общего содержания озона (ОСО) за 1991–2020 гг. Исследованы изменения, которые произошли с момента последнего расчета климатических норм ОСО для периода 1981–2010 гг. Используя данные ежедневных спутниковых наблюдений приборов TOMS и OMI, рассчитаны средние многолетние значения, климатические нормы для каждого дня года, амплитуды, фазы и коэффициенты детерминации сезонных колебаний ОСО над территорией Украины. С привлечением данных реанализа NCEP/ NCAR обнаружена связь изменений ОСО с изменениями меридиональной составляющей ветра нижней стратосферы. В исследованиях показано наличие областей более высокого/ низкого ОСО, которые нарушают особенности широтного распределения. К их формированию приводит большая повторяемость адвекции воздуха с нетипичным содержанием озона для расположения территории Украины, в основном в период с января до марта. Приведено типичное распределение климатических норм ОСО, которые варьируются от 285 единиц Добсона (е.Д.) до 375 е.Д.; статистические закономерности распределения отклонений и повторяемость появления экстремально высоких/ низких значений ОСО. В статье акцентировано внимание на незначительной вариативности ОСО над территорией Украины. Исследованы особенности пространственного распределения амплитуд сезонных колебаний, которые варьируют в пределах 42–46 е.Д., и периодов наступления максимальных значений, который наблюдается с 19 по 30 марта в зависимости от региона. Выявлено, что с момента последнего обновления климатических норм ОСО уменьшился во все месяцы года, а максимальное уменьшение достигает 8 е.Д. в зимний сезон. При этом не наблюдается увеличение повторяемости превышения высоких уровней ультрафиолетового облучения. Изменения ОСО связаны, в первую очередь, со сдвигом показателей меридиональной составляющей ветра в сторону отрицательных значений, что отображает рост повторяемости выноса воздуха с северной составляющей. Подчеркнута комплексность изменений ОСО в исследуемый период, и несогласованность таких изменений с циркуляционным фактором в летний сезон.

Ключевые слова: общее содержание озона; циркуляция Брюера-Добсона; сезонность; отклонения; адвекция; климатическая норма

*Подання до редакції: 11. 06. 2021
Надходження остаточної версії: 26. 10. 2021
Публікація статті: 26. 11. 2021*

УДК: 551.58

ДОСЛІДЖЕННЯ ГРОЗОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ НА ВОЛИНІ ТА В УКРАЇНІ ЗА ДАНИМИ ОНЛАЙН-РЕСУРСУ BLITZORTUNG

В. В. Федонюк¹, М. А. Федонюк¹, А. М. Павлусь²

¹Луцький національний технічний університет,

75, Львівська, 43018 Луцьк, Україна, ecolutsk@gmail.com

²Волинський національний університет імені Лесі Українки,

13, пр. Волі, 43025 Луцьк, Україна, nesvishandriu@gmail.com

У статті представлено результати статистичного та графічного аналізу показників грозової діяльності в Україні та у межах Волинської області, зокрема, на основі дослідження архіву динамічних карт онлайн-ресурсу Blitzortung.org (Блискавка і гроза в режимі реального часу). Описано принципи і результати роботи співтовариства власників та користувачів датчиків грозопеленгації Blitzortung.org, представлено розроблений алгоритм методики роботи з динамічними картами даного ресурсу.

Регіональний аналіз архівних карт на сайті Blitzortung.org за 2008-2019 рр. для території Волинської області дозволив встановити, що у динаміці грозової діяльності відбулися наступні зміни: більш як удвічі зросла загальна кількість днів з грозою (в середньому з 30 до 68,3 днів); зросло число гроз у квітні (раніше це було рідкісним явищем); суттєво зросла кількість гроз у травні, за окремі роки число травневих днів із грозою досягає показників літніх місяців (червня та липня); більшість гроз мають фронтальне походження, грозові фронти приходять із заходу, північного та південного заходу; кількість фронтальних гроз має тенденцію до зростання, що свідчить про збільшення нестійкості атмосфери та числа стихійних метеорологічних явищ, пов'язаних з цією нестійкістю; середня місячна кількість грозових днів на Волині також зросла для усіх без винятку місяців року.

Аналіз грозової активності в межах усієї України у період 2018-2019 рр. показав наявність чітких регіональних особливостей та відмінностей. Збільшення грозової активності спостерігається в Західному (на 50-100 %) і Південному (на 15-50 %) регіонах країни, частково – на Півночі. На Сході України число днів з грозою близьке до показників кліматичної норми. Водночас, аналіз потребує уточнення та деталізації по всій мережі метеорологічних станцій України, дані яких можуть бути порівняні з результатами дослідження архівних динамічних карт сайту Blitzortung.org.

Ключові слова: гроза; грозова активність; число днів з грозою; онлайн-ресурс Blitzortung.org

1. ВСТУП

Кліматичні зміни останніх десятиліть спричиняють активізацію стихійних метеорологічних явищ та процесів, про що неодноразово зазначалося в наукових розвідках вітчизняних та зарубіжних фахівців, зокрема, у працях Allen J. T., Doswell C. A., Sharp A., Осадчого В.І., Бабіченко В. М. та інших авторів [1,2,3,4]. До таких небезпечних явищ, зокрема, відносяться грози. Україна також зазнає змін у типовому перебігові метеорологічних процесів, і вивчення їх характеру, регіональних особливостей – це важливе наукове завдання. Саме воно визначило мету даної роботи: проаналізувати зміни, що відбуваються останнім часом у динаміці гроз в Україні, в цілому, та на теренах Волинської області, зокрема. Грози часто приносять величезну шкоду окремим галузям господарювання, інколи вони разом із супутніми явищами (блискавки,

шквали, смерчі) можуть становити загрозу життю людини, тому дослідження змін в грозовій активності у наш час має велику значущість і актуальність.

Аналіз динаміки грозової активності на теренах України ускладнюється тим, що лише невелика частина території нашої держави охоплена інструментальним грозопеленгуванням. На переважній більшості метеорологічних станцій фіксація гроз здійснюється «візуально-слуховим методом». Новизна даного дослідження зумовлена тим, що воно проводилося на основі аналізу архівних карт грозопеленгації онлайн-ресурсу Blitzortung.org [5]. Відповідно до поставленої мети основними завданнями роботи було визначено: 1) дослідження змін в динаміці та повторюваності грозових явищ на території Волинської області протягом періоду 2008 – 2019 рр.; 2) аналіз грозової діяльності в межах території України на протязі 2018-2019 рр.

Об'єктом дослідження є грози, що поширюються на території України та Волині. Предметом дослідження є вивчення показників грозової діяльності в Україні і на Волині та аналіз виявлених тенденцій і змін у грозовій активності.

2. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Вивчення гроз було розпочате давно, починаючи від класичних праць Б.Франкліна і М. Ломоносова і до Я. І. Френкеля, І. С. Стекольниковою, А. С. Алізаде, Є. К. Федорова, В. І. Єрмакова, В. І. Арабаджи, С. М. Гальперіна, В. В. Бургс-Дорфа, В. Д. Степаненко, Н. С. Шишкіна та багатьох інших дослідників [6,7,8]. Грози в межах території України та її окремих регіонів, їх утворення, динаміка та поширення були складовим елементом дослідження клімату України в цілому [9,10], також вони вивчалися як одне із стихійних метеорологічних явищ [4,11,12,13,14,15]. Формування та динаміку грозових явищ в наш час на території України досліджували у своїх працях В. І. Осадчий, В. М. Бабіченко, Т. Є. Данова, Ю. М. Мацук, В. О. Балабух, О. Л. Казаков, Л. В. Недострелова, В. В. Недострелов, В. В. Чумаченко, І. М. Шербань, А. В. Ганчук, Т. М. Заболоцька, В. М. Підгурська, Т. М. Шпиталь, Н. І. Грачова, В. В. Кузнецова, Л. Н. Романенко, Л. П. Самаріна та інші автори [4,12,13,14,16,17,18,19,20]. Динаміку гроз у ХХ ст. та на початку ХХІ ст. на Волині було проаналізовано у роботах Бабіченко В.М., Зузук Ф.В., Тарасюк Н.А., Тарасюка Ф.П. [21,22].

Як було встановлено у працях попередніх авторів, на більшій частині України протягом року в середньому відмічається 25-30 днів з грозою. В цілому спостерігається тенденція до зростання кількості гроз з півночі на південь, але не завжди все так однозначно. Найбільше днів з грозою фіксується в Карпатах і Прикарпатті (до 40 днів), ст. Селятин на Буковині вважається самим грозовим місцем в Україні (до 45 днів з грозою в рік). Дещо менша кількість гроз спостерігається на Азово-Чорноморському узбережжі (15-20), по долинах великих річок, в прибережній смузі великих водосховищ [4,9,10].

Грози в Україні спостерігаються в теплий період року, з квітня по вересень, найбільше їх буває влітку (червень-липень), але в степу та у Кримських горах максимум припадає на червень, а в зоні мішаних лісів, лісостепу, на Донецькому кряжі та в Українських Карпатах максимум – в липні. Дуже рідко грози спостерігаються в березні, жовтні, листопаді. Повторюваність їх в

Україні у ці місяці, як правило, менша одиниці. Ще більш рідкісне явище – зимові грози, які спостерігаються в середньому не частіше як 1 раз на 10 років.

За походженням грози поділяються на фронтальні та внутрішньомасові. Грозова діяльність визначається процесами атмосферної циркуляції, а також у значній мірі місцевими фізико-географічними умовами: рельєфом місцевості, близькістю до великих водойм [9,10].

3. ОПИС МАТЕРІАЛІВ ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

При виконанні дослідження використовувалися як загальнонаукові, так і спеціальні методи. Серед загальнонаукових методів застосовано аналітичний, порівняльно-оціночний, картографічний, математично-статистичний (при обробці архівів динамічних карт ресурсу Blitzortung.org та одержаних проміжних результатів). Серед спеціальних методів дослідження використано методи комп'ютерного аналізу та моделювання метеорологічних процесів та явищ.

Методика проведених досліджень. Для аналізу частоти виникнення гроз в останні десятиліття нами було використано можливості інтернет-співтовариства власників портативних радіогрозопеленгаторів Blitzortung та оприлюднених у відкритому доступі архів карт грозової діяльності та динаміки грозових явищ на сайті цього проекту [5]. Було опрацьовано для Волинської області наявні в архіві сайту Blitzortung.org динамічні карти гроз за період 2008 – 2019 рр. Для усієї території України аналіз здійснено за період 2018 – 2019 рр.

Було розроблено методику роботи з онлайн-та архівними картами грозопеленгації (рис. 1) цього ресурсу [23]. Сервіс «Карти в реальному часі» відображає наявність зафіксованих блискавок на поточний момент. У розділі «Архівні дані» розміщено архів карт з 2008 р. В меню ліворуч можна вибрати потрібну територію. У верхньому лівому кутку є градація гроз за часом їх виникнення. Так, грози, які були зафіксовані в останні 20 хв., позначаються світлим/білим кольором, а ті, що виникли 2 год тому – темним/червоним. Діаграма зліва унизу на карті – це частота появи блискавок за останні 2 год. Цифри на ній - число блискавок протягом минулих 2 год. Чим колір стовпчика темніший - тим ці блискавки більш давні за часом їх виникнення. Білий колір стовпчика діаграми - це блискавки, що виникли за останні 20 хв [5,23].

Зауважимо, що до цієї мережі приєднуються не тільки приватні особи-волонтери, а й окремі



Рис. 1 – Приклади роботи з динамічними картами ресурсу Blitzortung.org
 Fig. 1 – Examples of working with dynamic maps on the Blitzortung.org

офіційні метеорологічні станції у європейських країнах.

Для оцінки точності та достовірності отриманих нами результатів було здійснено порівняльну оцінку архівних даних інтернет-ресурсу Blitzortung.org з архівними даними гідрометеорологічних станцій (приклад наведено у табл. 1). Для порівняння були вибрані роки із найбільш репрезентативними даними. Одержані числові показники більш як на 80 % співпадають із архівними даними державної гідрометеорологічної мережі, але потребує подальшого дослідження точності даних самого ресурсу Blitzortung щодо грозової активності на території України.

Для порівняння з одержаними результатами використовувалися дані щодо показників кліматичної норми середнього річного числа гроз та максимального річного числа гроз, які представлені у Кліматичному кадастрі України [9] та похідних довідкових джерел.

4. ОТРИМАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

У наш час активного розвитку інформаційних технологій з'являються новітні методи спостереження за природними процесами, у тому числі – в онлайн-режимі. Прикладом є робота інтернет-сайту Blitzortung.org, що набув великої популярності за кордоном, але ще недостатньо популярний в Україні. Метою проекту "Blitzortung.org" [5] було створення мережі стан-

цій для високоточного виявлення локацій розрядів блискавок у Європі та у світі. Мережа онлайн-виявлення грозових розрядів складається з численних приймальних станцій – фіксаторів блискавки, що розташовуються на відстані приблизно 50-250 км. Ці станції-давачі в режимі реального часу передають сигнали на центральний сервер обробки даних. Точні позиції грозових розрядів визначаються методом радіопеленгування. На сайті відображається електричний розряд, який був запеленгований щонайменше 4 антенами. Сенсор-передавач, який фіксує електромагнітні розряди, може встановити будь-хто. Саме волонтери – добровольці, що встановлюють такі сенсори, становлять основну частину передавальної мережі даного ресурсу.

"Blitzortung" - це співтовариство власників станцій, що передають свої дані на центральний сервер, програмістів-добровольців, які розробляють алгоритми для відображення грозових розрядів на картах, а також техніків, що підтримують роботу системи. Учасники отримують вільний доступ до всіх архівів та баз даних, що формуються співтовариством (у вільному доступі – обмежений архів). Карти грозових розрядів у режимі реального часу є у вільному доступі, а нещодавно на сайті з'явився і архів даних [5]. В Україні на сьогодні є активними станції Blitzortung у Львові, Вінниці, Києві, Харкові, Луцьку, Бережанах та у Закарпатській області (https://www.blitzortung.org/uk/station_list.php).

Таблиця 1 – Порівняльна оцінка числа днів із грозою, виявлених за допомогою ресурсу Blitzortung, із офіційними даними по метеостанції Луцьк

Table 1 - Comparative estimate of the number of days with thunderstorms detected by the resource Blitzortung, with the official data on the weather station Lutsk

Джерело даних	Рік спостережень				
	2010	2011	2012	2013	2014
	Число днів із грозою				
Blitzortung.org, динамічні карти	97	73	65	57	68
Архівна інформація ст. Луцьк	78	58	56	48	57
Співпадіння показників, %	80,4	79,5	86,2	84,2	83,8

Таблиця 2 – Число днів з грозою на Волині протягом 2008-2019 рр.

Table 2 – Number of days with a thunderstorm in Volyn region during 2008-2019

Число днів з грозою на Волині протягом 2008-2019 рр.													
Місяць	Рік спостережень												Середнє число днів з грозою
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
Березень	—	—	1	—	1	—	—	2	1	4	2	-	0,9
Квітень	4	2	7	8	6	3	10	8	11	4	6	6	6,25
Травень	5	8	21	11	11	12	15	12	19	10	8	14	12,1
Червень	13	15	17	16	14	19	11	12	16	10	16	14	14,1
Липень	16	21	22	20	18	12	12	18	18	14	21	19	17,5
Серпень	3	12	23	12	11	6	17	7	10	11	17	9	11,5
Вересень	1	8	6	5	2	3	3	5	1	6	10	4	4,5
Жовтень	—	2	—	1	2	2	—	1	1	—	-	2	0,9
Листопад	—	1	—	—	—	—	—	2	—	—	-	-	0,25
Всього, рік	42	67	97	73	65	57	68	67	77	59	80	68	68,3
Норма	Кліматична норма – 30 днів з грозою												

Дальність роботи сенсорів залежить переважно від типу антени та місця встановлення та може становити від 30-40км до 2-4тис. км. В сусідніх з Україною державах датчиків досить багато (в Польщі їх, наприклад, понад 60), тому мережа Blitzortung може бути досить репрезентативна для території нашої країни.

Проведене дослідження можна умовно розбити на два етапи: 1) аналіз динаміки грозової активності в межах території Волинської області за період 2008 – 2019 рр; 2) аналіз динаміки грозової активності в межах України за період 2018-2019 рр. Зупинимось на отриманих результатах докладніше.

1 етап. Сумарні результати аналізу динаміки грозових явищ на території Волинської області за 2008-2019 рр. відображено в табл. 2.

Аналіз отриманих результатів свідчить про те, що кількість гроз за останнє десятиліття значно зросла і вдвічі перевищує кліматичну норму. Якщо в ХХ ст. в середньому за рік спостерігалось 30-40 днів із грозою, то цей показник за 2008-2019 рр. склав 68,3 днів. Найбільша кіль-

кість днів з грозою характерна для літніх місяців (червень-липень). За останні роки число грозових днів збільшилось і для квітня-травня (в середньому з 2-5 днів за кліматичною нормою, до 6-12 на початку ХХІ ст.). Також раз на 5-6 років фіксуються грози в листопаді. На рис. 2 представлено діаграму динаміки днів із грозою за досліджуваний період.

Отже, на початку ХХІ ст. кількість гроз на Волині суттєво збільшилась. У 2010 році спостерігався максимум – 97 днів із грозою, після чого грозова активність дещо знизилась, але з 2014 р. знову почала підвищуватись і у 2018 р., для прикладу, було зафіксовано 80 днів із грозою. За останній досліджений рік (2019 р.) кількість днів з грозою склала для Волині 68 днів, що перевищує кліматичну норму більш як у 2 рази.

Окремо було проаналізовано співвідношення між типами гроз за походженням (рис. 3). Отримано такі результати: більшість гроз – фронтального походження, які формуються за межами області.



Рис. 2 – Діаграма річної кількості днів із грозою на території Волинської області за 2008-2019 рр. та порівняння з кліматичною нормою

Fig. 2 – Diagram of the annual number of days with a thunderstorm in the Volyn Region for 2008-2019 and comparison with the climatic norm

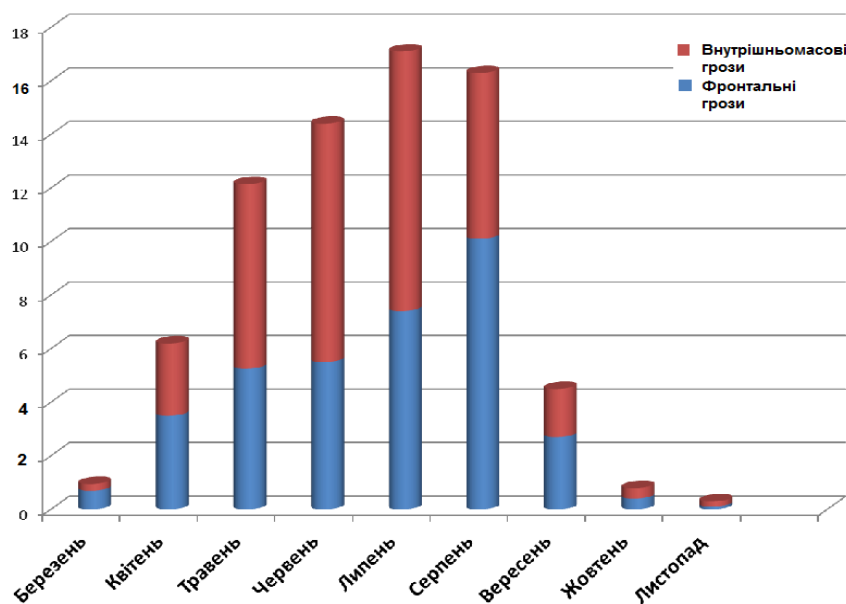


Рис. 3 – Середнє співвідношення внутрішньомасових та фронтальних гроз на території Волинської області протягом 2008-2019 рр. по місяцях року

Fig. 3 – The average ratio of intramass and frontal thunderstorms in the Volyn region during 2008-2019 by months of the year

Максимальна кількість внутрішньомасових гроз на Волині відмічена у найтепліші місяці (червень-липень), коли повітря добре прогріте, і температурні контрасти достатні для формування потужних конвективних хмар. Весняні грози переважно теж фронтальні, адже навесні повітря недостатньо прогрівається для формування внутрішньомасових гроз, осередків купчасто-дощових хмар, які приходять з фронтами з заходу, північного, південного заходу, рідко з півно-

чі та сходу. Восени на Волині формуються окремі локальні грозові явища.

Аналіз кількості днів з грозою в окремі місяці року (див. рис. 4) показав, що середня місячна кількість грозових днів на Волині дорівнює або навіть перевищує максимальну місячну кількість днів з грозою, що фіксувалася згідно кліматичної норми. Ця тенденція стосується усіх без винятку місяців року, в яких були грози. Багато гроз відмічається у квітні (раніше квітневі грози

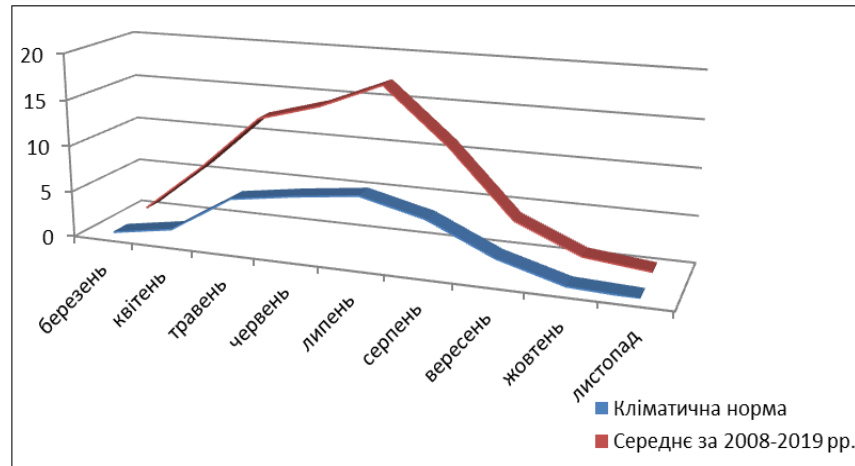


Рис.4. – Графіки середньої місячної кількості днів з грозою на території Волинської області протягом 2008-2019 рр. та за даними кліматичної норми

Fig. 4 – Average monthly number of days with thunderstorm in the Volyn region during 2008-2019 and according to climatic norms

були досить рідкісним явищем). Суттєво зросла кількість гроз у травні, і за деякі роки число травневих днів із грозою досягає показників літніх місяців. Зимові грози продовжують бути рідкісним явищем, проте відмічено тенденцію збільшення їх числа (від 1-2 випадків на 10 років до 1 на 5 років). Отже, регіональний аналіз архівних карт на сайті *Blitzortung.org* за 2008-2019 рр. для території Волині засвідчив, що у динаміці грозової діяльності відбулися наступні зміни: більш як удвічі зросла загальна кількість днів з грозою (в середньому з 30 до 68,3 днів); суттєво зросла кількість весняних гроз; більшість гроз мають фронтальне походження, грозові фронти приходять в основному із заходу, північного та південного заходу; кількість фронтальних гроз має тенденцію до зростання; припускаємо, що остання тенденція є свідченням збільшення числа атмосферних фронтів, які проходять через досліджувану територію у теплий період року та числа стихійних метеорологічних явищ, пов'язаних з цією активністю; середня місячна кількість грозових днів на Волині теж зросла для усіх без винятку місяців року.

2 етап. Результати проведеного регіонального аналізу динаміки гроз в межах Волинської області спонукали до розширення дослідження на територію всієї України. Як період дослідження було обрано 2018 – 2019 рр., оскільки саме починаючи з 2018 р. зросла кількість датчиків мережі *Blitzortung.org* на території України. Порівняння числа днів з грозою у 2018-2019 рр. проводилося по областях нашої країни з такими показниками, що наводяться в Кліматичному кадастрі України, як: а) середнє річне число днів з грозою; б) максимальне річне число днів з гро-

зою за багаторічний період.

При аналізі архівних карт грозопеленгації для території всієї України, з врахуванням того, що площа дослідження була досить значною, а порівняння, за даними Кліматичного кадастру, можливо було зробити тільки з даними конкретних метеорологічних станцій, ми орієнтувалися на оцінку числа гроз в районі, наближеному до обласного центру. Адже в кожному обласному центрі є метеостанція і на ній ведеться офіційна статистика числа днів з грозою, середнього та максимального. Тобто, наприклад, середнє число днів з грозою для Вінницької області визначалося по ст. Вінниця, для Волинської – по ст. Луцьк і т.д. Результати визначення кількості днів з грозою у всіх областях України протягом 2018-2019 рр. за архівними картами ресурсу *Blitzortung.org* представлені в таблиці 3.

На рис. 5 та рис. 6 представлено діаграми, що дозволяють наочно порівняти число днів з грозою в Україні за 2018 – 2019 рр. з середнім багаторічним числом (рис. 5) та максимальним багаторічним числом (рис. 6).

Аналіз даних табл. 3 та діаграми на рис. 5 засвідчує, що кількість гроз на території України на початку XXI ст. досить помітно змінилася, але ці зміни відрізняються по регіонах. Суттєве збільшення спостерігається у Західному і, частково, Центральному регіоні (західніше осі Вінниця-Київ-Чернігів). Число днів з грозою в таких областях, як Закарпатська, Львівська, Івано-Франківська, Чернівецька, Тернопільська, Волинська, Рівненська, Житомирська, Хмельницька, Вінницька, Київська та Чернігівська зросло у 1,5-2 рази в порівнянні з кліматичною нормою. Менш помітне збільшення відмічається у Пів-

денному регіоні (Кіровоградська, Дніпропетровська, Запорізька, Одеська, Миколаївська, Херсонська обл., АР Крим) – на 15-50 %, а в Східному регіоні (Сумська, Полтавська, Харківська, Донецька, Луганська обл.) число грозових днів було в межах кліматичної норми. Зростання грозової активності в окремих регіонах України (зокрема, на Півдні та на Заході) на початку ХХІ ст. відмічали у своїх працях також і інші автори [4,16,17].

Оскільки аналіз проводився лише за 2 роки,

то одержані результати було порівняно з максимальними показниками за попередній багаторічний період, для оцінки «аномальності» грозової активності саме у 2018-2019 рр.

На рис. 7 представлена сумарна діаграма середнього числа днів з грозою в Україні за період 2018-2019 рр., визначеного як середнє арифметичне для всіх областей (обласних центрів) за кожен рік. Як бачимо, кліматична норма по кількості днів з грозою перевищена для України в ці роки на 25-30 %.

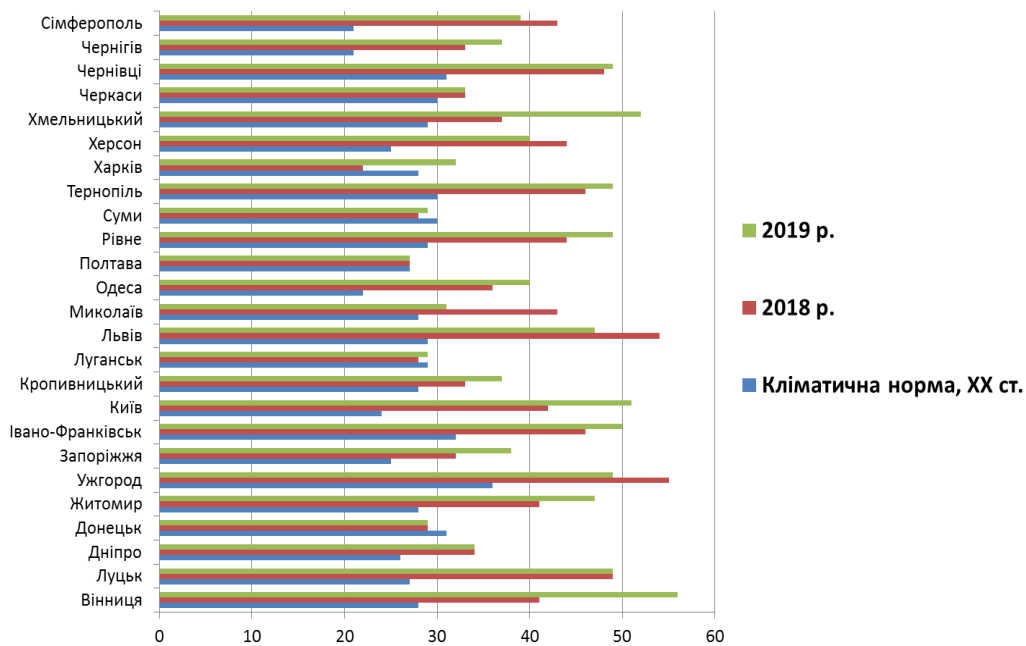


Рис. 5. – Річне число днів з грозою в регіонах України у 2018-2019 рр. у порівнянні з кліматичною нормою

Fig. 5 – Annual number of days with a thunderstorm in the regions of Ukraine in 2018-2019 in comparison with the climatic norm

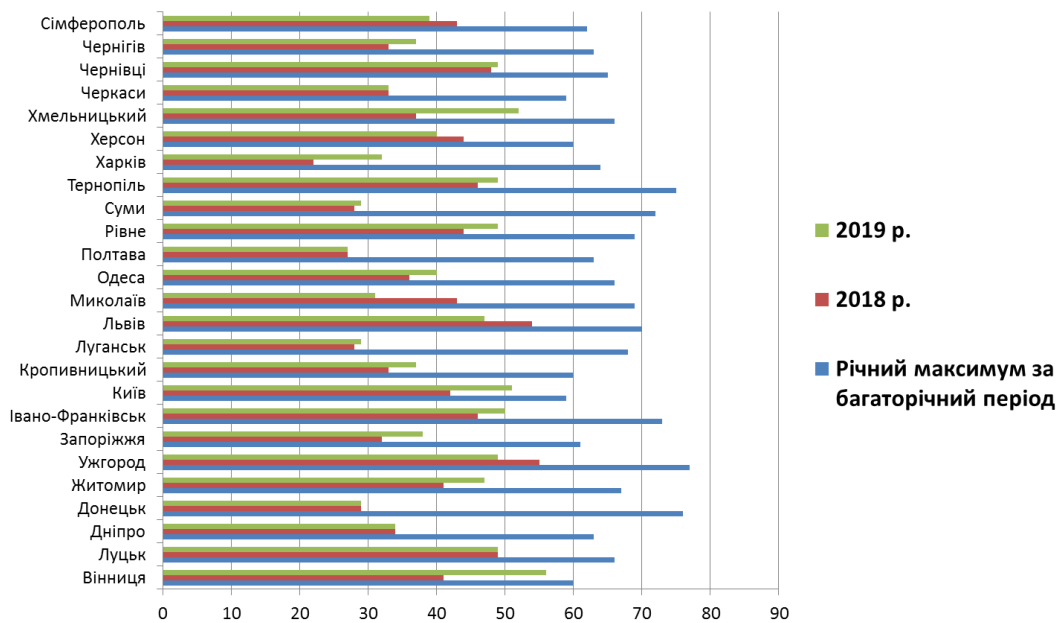


Рис. 6 – Річне число днів з грозою в регіонах України у 2018-2019 рр. у порівнянні з максимальним за кліматичною нормою

Fig. 6 – The annual number of days with a thunderstorm in the regions of Ukraine in 2018-2019 compared to the maximum climatic norm

Як свідчать дані табл.4 та рис. 6, багаторічний річний максимум числа днів з грозою по жодній станції не був перевищений (у Вінниці і в Києві показник 2019 р. наближався до нього).

Отже, можна констатувати, що 2018-2019 рр. не були винятково аномальними для метеостанцій України за динамікою грозової активності, а відображали тенденцію, принаймні, останніх років (яка детально проаналізована для Волин-

ської області на 1 етапі дослідження). На картах (рис. 8 та рис. 9) наочно представлені виявлені регіональні відмінності грозової активності, описані вище.

Оцінка динаміки місячних значень кількості днів з грозою в цілому підтверджує всі тенденції, виявлені на прикладі Волинської області (зростання числа весняних та осінніх гроз, збільшення числа травневих гроз до рівня літніх

Таблиця 3 – Кількість днів з грозою в Україні у 2018-2019 рр. у порівнянні з нормою
Table 3 – The number of days with a thunderstorm in Ukraine in 2018-2019 compared to the norm

Область	Кліматична норма, середнє число днів з грозою, рік	Кліматична норма, максимальне число днів з грозою, рік	2018	2019
Вінницька	28	60	41	56
Волинська	27	66	49	49
Дніпропетровська	26	63	34	34
Донецька	31	76	29	29
Житомирська	28	67	41	47
Закарпатська	36	77	55	49
Запорізька	25	61	32	38
Івано-Франківська	32	73	46	50
Київська	24	59	42	51
Кіровоградська	28	60	33	37
Луганська	29	68	28	29
Львівська	29	70	54	47
Миколаївська	28	69	43	31
Одеська	22	66	36	40
Полтавська	27	63	27	27
Рівненська	29	69	44	49
Сумська	30	72	28	29
Тернопільська	30	75	46	49
Харківська	28	64	22	32
Херсонська	25	60	44	40
Хмельницька	29	66	37	52
Черкаська	30	59	33	33
Чернівецька	31	65	48	49
Чернігівська	21	63	33	37
АР Крим	21	62	43	39
Україна, середнє	27,8	66,1	38,7	41,0

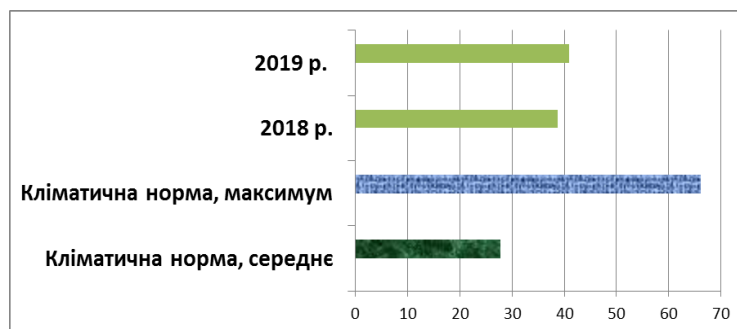


Рис. 7 – Сумарна діаграма середнього числа днів з грозою в Україні у 2018-2019 рр.
Fig. 7 – Summary diagram of the average number of days with a thunderstorm in Ukraine in 2018-2019

місяців). Зазначимо, що за досліджуваний період найбільш грозовими містами України були: Вінниця і Тернопіль в травні 2018 р. (18 і 17 днів з грозою), Миколаїв та Херсон у липні 2019 р. (20 та 19 днів з грозою). Максимальна річна кількість днів з грозою була у 2018 р. у Вінниці (56

днів), а у 2019 р. – в Ужгороді (55 днів).

За результатами проведеного дослідження було побудовано дві картодіаграми (рис. 8 та рис. 9), що показують розподіл числа днів з грозою на території України у 2018-2019 рр.

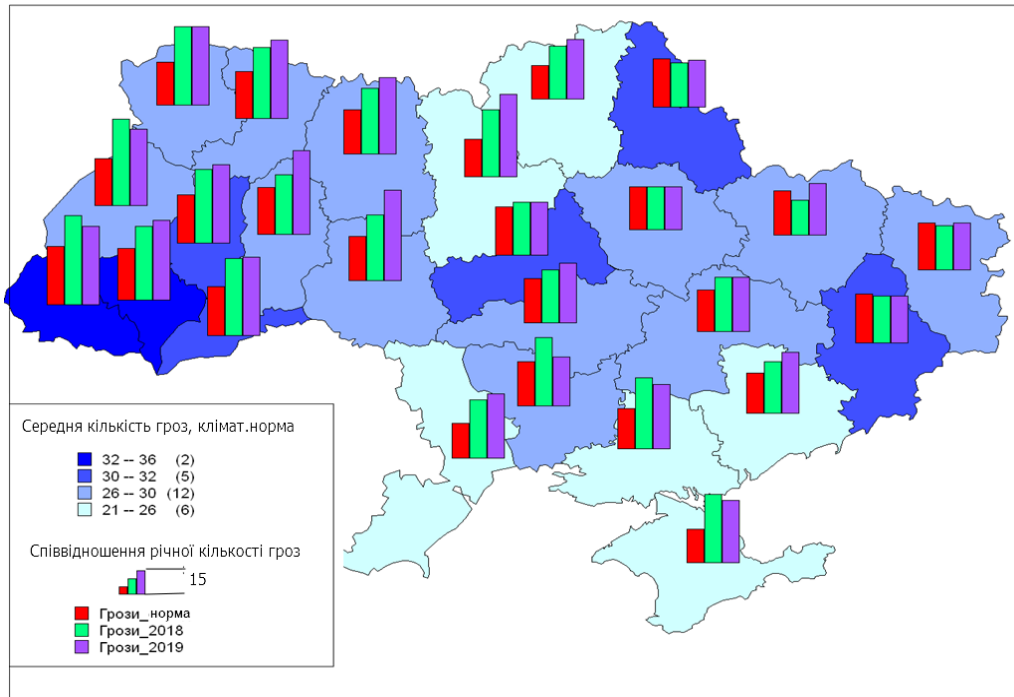


Рис. 8 – Картодіаграма розподілу річного числа днів з грозою в Україні у 2018-2019 рр. в порівнянні з їх середнім числом за кліматичною нормою

Fig. 8 – Map diagram of the distribution of the annual number of days with a thunderstorm in Ukraine in 2018-2019 compared to their average number on climatic norm

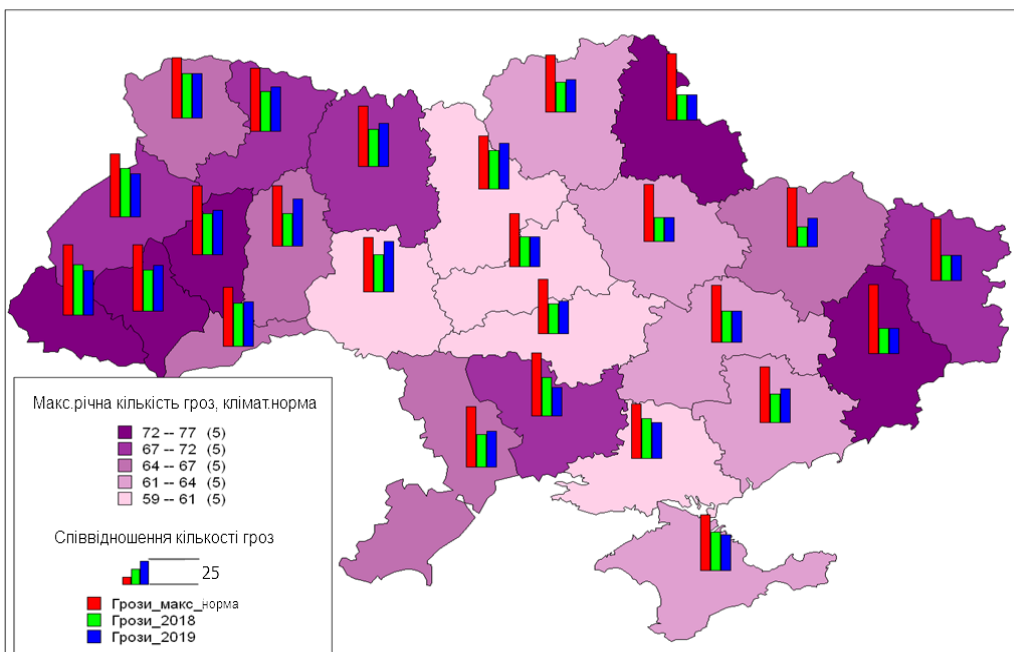


Рис. 9 – Картодіаграма розподілу річного числа днів з грозою в Україні у 2018-2019 рр. в порівнянні з їх максимальним числом за кліматичною нормою

Fig. 9 – Map diagram of the distribution of the annual number of days with a thunderstorm in Ukraine in 2018-2019 compared to their maximum number on climatic norm

в порівнянні з кліматичною нормою (рис. 8) та у порівнянні з багаторічним абсолютним максимумом (рис.9).

Наприкінці відмітимо: аналіз грозової активності для Волинської області (етап 1) проводився для всієї території області. В той час як аналіз гроз в межах України (етап 2) проводився на прикладі обласних центрів і порівнювався з даними відповідної метеостанції. Аналіз показників, отриманих на першому етапі дослідження, засвідчив, що для Волинської області протягом досліджуваного періоду річне число днів з грозою перевищує їх число для метеостанції Луцьк (обласний центр) на 30-40 % практично щороку, у той час як показники кліматичної норми річного числа днів з грозою в межах області та річного числа днів з грозою для ст. Луцьк відрізняються тільки на 10 %. Це також є свідченням значного зростання грозової активності в регіоні у останні десятиліття.

5. ВИСНОВКИ

Отже, проаналізувавши грозову активність в Україні у період 2018-2019 рр., бачимо, що вона має регіональні особливості. Інтенсифікація гроз спостерігається в Західному (на 50-100 %) і Південному (на 15-50 %) регіонах країни, частково – на Півночі. На Сході число днів з грозою близьке до показників кліматичної норми. Водночас, аналіз потребує уточнення та деталізації по всій мережі метеостанцій України, дані яких можуть бути порівняні з результатами дослідження архівних карт сайту Blitzortung.org.

Після проведених досліджень та статистичного аналізу грозової діяльності в Україні та на Волині за допомогою архівних карт грозопеленгації на сайті Blitzortung.org можна зробити наступні **висновки**:

1. Встановлено, що середня частота виникнення гроз в межах Волинської області за період 2008-2019 рр. (68 днів), порівняно із кліматичною нормою (30-40 днів), зросла в 1,5-2 рази. Суттєве зростання грозової активності добре узгоджується з ознаками кліматичних змін у зв'язку з глобальним потеплінням, що відмічаються багатьма вченими для помірних широт: це активізація стихійних явищ у зв'язку з підвищеною нестійкістю атмосферної стратифікації.

2. Встановлено, що кількість гроз на території України на початку ХХІ ст. також змінилася, але ці зміни різняться по регіонах: суттєве збільшення спостерігається у Західному регіоні і, частково, Центральному регіоні (західніше осі

Вінниця-Київ-Чернігів), менш помітне збільшення відмічається у Південному регіоні (Кіровоградська, Дніпропетровська, Запорізька, Одеська, Миколаївська, Херсонська області АР Крим), а в Східному регіоні (Сумська, Полтавська, Харківська, Донецька, Луганська області) кількість грозових днів зберігається в межах кліматичної норми. Зростання грозової активності на Заході та на Півдні України узгоджується з характером кліматичних змін у помірних широтах, зокрема, із зростанням температури повітря та нестійкості повітряних мас. Водночас відсутність помітного збільшення числа днів з грозою на сході України, як можна припустити, пов'язана із ослабленням інтенсивності фронтальних конвективних явищ та кількості самих атмосферних фронтів, що досягають цієї території, рухаючись з заходу на схід.

3. Для детальнішого аналізу регіональних відмінностей та динаміки на початку ХХІ ст. грозової активності на території України, варто продовжити дослідження для більш тривалого часового періоду.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Doswell III, C. A. Societal impacts of severe thunderstorms and tornadoes: Lessons learned and implications for Europe. *Atmospheric Research*. 2003. Vol. 67. Pp. 135-152.
2. Allen J. T. (2018). Climate change and severe thunderstorms. In Oxford research encyclopedia of climate science. URL: <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190228620.013.62> (Accessed: 15.07.2021)
3. Sharp A. (2008). Assessing risk from meteorological phenomena using limited and biased databases. *Australian journal of emergency management*. 2008. № 23(4). Pp. 9-13.
4. Стихійні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя (1986 – 2005 рр.) / за ред. В. М. Ліпінського, В. І. Осадчого, В. М. Бабіченко. Київ : Ніка-Центр. 2006. 312 с.
5. Блискавка і гроза в реальному часі. URL : https://www.blitzortung.org/uk/live_lightning_maps.php (Accessed 11.05.2021)
6. Арабаджи В. И. Гроза и грозовые процессы. Минск : БГУ. 1960. 120 с.
7. Гальперин С. М., Степаненко В. Д. Радиотехнические методы исследования гроз. Ленинград : Гидрометеиздат, 1983. 246 с.
8. Ермаков В. И., Стожков Ю. И. Физика грозных облаков. Москва : ФИАН, 2004. 139 с.
9. Клімат України / за ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. Київ : Вид-во Равського. 2003. 343 с.
10. Кліматичний Кадастр України (електронна версія) / Державна гідрометеорологічна служба; УкрНДГМІ; Центральна Геофізична Обсерваторія. Київ, 2006.
11. Прох Л. З. Исследование ураганов, бурь, смерчей и шквалов Украины. Обнинск: ВНИИГМИ – МЦД. 1979. № 32. 177 с.

12. Казаков О. Л. Стихийні метеорологічні явища на Україні. *Вестник гидрометцентра ЧАМ*. 2010. №1(11). С.53 – 66.
13. Дослідження радіолокаційних характеристик небезпечних явищ погоди на території України / Грачова Н. І., Кузнецова В. В., Романенко Л. Н., Самаріна Л. П. *Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту*. 2015. № 267. С. 38 – 45.
14. Осадчий В. І., Бабіченко В. М. Динаміка стихійних метеорологічних явищ в Україні. *Український географічний журнал*. 2012. № 4. С. 8–13.
15. Балабух В. А. Межгодовая изменчивость интенсивности конвекции в Украине. *Глобальные и региональные изменения климата* / под ред. Осадчего В. И. Киев : Ника-Центр. 2011. С.150-159.
16. Мацук Ю. М. Зміни грозової активності на території України в ХХ та на початку ХХІ ст. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2013. № 39. С. 147–151.
17. Мацук Ю. М., Данова Т. Є. Тривалі та інтенсивні грози над Карпатами. *Науковий вісник СХУ імені Лесі Українки*. 2013. № 16. С. 55–61.
18. Недострелова Л. В., Чумаченко В. В. Часовий розподіл гроз на АМСЦ Одеса на початку ХХІ століття. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2021. 27. С. 16–23. <https://doi.org/10.31481/uhmj.27.2021.02>
19. Заболоцька Т. М., Підгурська В. М., Шпиталь Т. М. Грозова діяльність на території України. *Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту*. 2007. № 256. С. 92-98.
20. Щербань І. М., Ганчук А. В. Динаміка повторюваності гроз на півночі України. *Фізична географія та геоморфологія*. 2016. № 2. С. 83-88.
21. Клімат Луцка / под ред. Бабіченко В. Н., Зузука Ф. В. Ленинград : Гидрометеиздат. 1988. 180 с.
22. Тарасюк Н. А., Тарасюк Ф. П. Режим зволоження та хмарності північного сходу Волинського Полісся. *Природа Західного Полісся та прилеглих територій : збірник наукових праць Волинського національного університету імені Лесі Українки*. 2009. № 6. С. 17–27.
23. Федонюк В. В., Павлусь А. М. Аналіз динаміки грозових явищ на Волині протягом останнього десятиріччя. *Сучасна наука та освіта Волині: збірник матеріалів науково-практичної конференції*, 22.11.2018 р., м. Волод.-Волинський. 2018. С.249 – 251.
- Ukr.)
5. *Blyskavka i hroza v realnomu chasi [Lightning and Thunderstorms in Real Time]*. Available at: https://www.blitzortung.org/uk/live_lightning_maps.php (Accessed 11.05.2021)
6. Arabadzhyy, V.Y. (1960). *Groza i grozovye protsessy [Thunderstorm and thunderstorm processes]*. Minsk: BSU. (in Russ.)
7. Galperin, S.M. & Stepanenko, V.D. (1983). *Radiotekhnicheskie metody issledovaniia groz. [Radiotechnical methods of investigation of thunderstorms]* Leningrad: Gydrometeooyzdat. (in Russ.)
8. Ermakov, V.I. & Stozhkov, Yu.I. (2004). *Fizika grozovykh oblakov [Physics of thunderclouds]*. Moscow : LPI RAS. (in Russ.)
9. Lipinsky, V.M., Dyachuk, V.A. & Babichenko, V.M. (eds). (2003). *Klimat Ukrainy [Climate in the Ukraine]*. Kyiv: Rayevskyy Publ. (in Ukr.)
10. *Klimatychnyi Kadastr Ukrainy (elektronna versiya) [Climatic cadastre of Ukraine]*. (2006). State Hydrometeorological Service of Ukraine; Ukrainian Hydrometeorological Institute UHMI, Central geophysical observatory named after Boris Sreznovsky. Kyiv. (in Ukr.)
11. Prokh, L.Z. (1979). *Issledovanie uraganov, bur, smerchey i shkvalov Ukrainy [Study of hurricanes, storms, tornadoes and squalls in Ukraine]*. Obnynsk: ARIHMI-WDC, № 32. (in Russ.)
12. Kazakov, O.L. (2010). *Stykhiini meteorolohichni yavyscha na Ukraini [Extreme weather events in Ukraine]*. *Vestnik gidromettsentra ChAM [Bulletin of the hydrometeorological center of the Black and Azov seas]*, 1(11), pp.53–66. (in Ukr.)
13. Grachova, N.I. et al. (2015). *Doslidzhennia radiolokatsiinykh kharakterystyk nebezpechnykh yavysch pohody na terytorii Ukrainy [The researches of dangerous radiolocation characteristics weather phenomena on the territory of Ukraine]*. *Naukovi pratsi Ukrainskoho naukovodoslidnoho hidrometeorolohichnoho instytutu [Scientific works of the Ukrainian Research Hydrometeorological Institute]*, 267, pp. 38–45. (in Ukr.)
14. Osadchyy, V.I. & Babichenko, V.M. (2012). *Dynamika stykhiinykh meteorolohichnykh yavyschch v Ukraini [Dynamics of adverse meteorological phenomena in Ukraine]*. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal [Ukrainian geographical journal]*, 4, pp. 8–13. (in Ukr.)
15. Balabukh, V.A. (2011). *Mezhgodovaya izmenchivost intensivnosti konvektsiyi v Ukraine [Interannual variability of convection intensity in Ukraine]*. In: Osadchyy, V.I. (ed.) *Globalnye i regionalnye izmeneniya klimata [Global and regional climate changes]*. Kiev : Nika-Tsentr, pp.150-159. (in Russ.)
16. Matsuk, Yu.M. (2013). *Zminy hrozovoi aktyvnosti na terytorii Ukrainy v XX ta na pochatku XXI st. [Variations of thunderstorm patterns on the territory of Ukraine in the XX and at the beginning of the 21th century]* *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V.N. Karazina, seriya «Heolohiia. Heohrafiia. Ekolohiia» [Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series «Geology. Geography. Ecology»]*, 39, pp. 147–151. (in Ukr.)
17. Matsuk, Yu. M. & Danova, T.Ye. (2013). *Tryvali ta intensyvni hrozy nad Karpatamy [Prolonged and Intensive Thunderstorms Over the Carpathians]*. *Naukovyi visnyk SNU imeni Lesi Ukrainky [Scientific Bulletin of the Lesya Ukrainka EENU]*, 16, pp. 55–61. (in Ukr.)
18. Nedostrelova, L.V. & Chumachenko, V.V. (2021). *Chasovyi rozpodil hroz na AMSTs Odessa na pochatku XXI*

REFERENCES

1. Doswell III, C.A. (2003). Societal impacts of severe thunderstorms and tornadoes: Lessons learned and implications for Europe. *Atmospheric Research*, 67, pp. 135-152.
2. Allen, J.T. (2018). Climate change and severe thunderstorms. In *Oxford research encyclopedia of climate science*. Available at: <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190228620.013.62> (Accessed: 15.07.2021)
3. Sharp, A. (2008). Assessing risk from meteorological phenomena using limited and biased databases. *Australian journal of emergency management*, 2008, № 23(4), pp. 9-13.
4. Lipinsky, V.M., Osadchyy, V.I., & Babichenko, V.M. (2006). *Stykhiini meteorolohichni yavyscha na terytorii Ukrainy za ostannie dvadtsiatyrichchia (1986-2005 rr.) [Adverse weather events on the territory of Ukraine for the last twenty years (1986–2005)]*. Kyiv: Nika-Tsentr. (in Ukr.)

- stolittia [Time distribution of thunderstorms observed at Odesa AMSC at the beginning of the 21st century]. *Ukrains'kij gidrometeorologičnij žurnal [Ukrainian hydrometeorological journal]*, 27, pp. 16–23. <https://doi.org/10.31481/uhmj.27.2021.02> (in Ukr.)
19. Zabolotska, T.M., Pidhurska, V.M. & Shpytal, T.M. (2007). Hrozova diialnist na terytorii Ukrainy [Thunderstorm activity on the territory of Ukraine]. *Naukovi pratsi Ukrainського naukovo-doslidnogo hidrometeorolohichnogo instytutu [Scientific works of the Ukrainian Research Hydrometeorological Institute]*, 256, pp. 92-98. (in Ukr.)
20. Shcherban, I.M. & Ganchuk, A.V. (2016). Dynamika povtoriuvanosti hroz na pivnochi Ukrainy [Dynamics of thunderstorms repeatability in Northern Ukraine]. *Fizychna heohrafiia ta heomorfolohiia [Physical geography and geomorphology]*, 2, pp. 83-88. (in Ukr.)
21. Babychenko, V.N. & Zuzuk, F.V (eds). (1988). *Klimat Lutsk [Climate of Lutsk]*. Leningrad: Gidrometeoizdat. (in Russ.)
22. Tarasiuk, N.A. & Tarasiuk, F.P.(2009). Rezhym zvolozhennia ta khmarnosti pivnichnogo skhodu Volynskoho Polissia [Humidity and cloudiness regime in the northeast of Volyn Polissya]. *Pryroda Zakhidnogo Polissia ta prylehlykh terytorii : zbirnyk naukovykh prats Volynskoho natsionalnogo universytetu imeni Lesi Ukrainky [Nature of Western Polissya and adjacent territories: a collection of scientific works of Lesya Ukrainka Volyn National University]*, 6, pp. 17–27. (in Ukr.)
23. Fedoniuk, V.V. & Pavlus, A.M. (2018). Analiz dynamiky hrozovykh yavlyshch na Volyni protiahom ostannioho desiatoryrichchia [Analysis of the dynamics of thunderstorms in Volyn over the past 10 years]. *Zbirnyk materialiv naukovo-praktychnoi konferentsii "Suchasna nauka ta osvita Volyni" [Proceedings of the scientific-practical conference "Modern Science and Education of Volyn"]*. 22.11.2018, Volod.-Volynskiy, pp. 249 – 251. (in Ukr.)

STUDY OF THUNDERSTORM ACTIVITY IN VOLYN REGION AND IN UKRAINE USING THE DATA OF BLITZORTUNG ONLINE RESOURCE

V. V. Fedoniuk¹, M. A. Fedoniuk¹, A. M. Pavlus²

¹Lutsk National Technical University,
75, Lvivska St, 43018 Lutsk, Ukraine, ecolutsk@gmail.com

²Lesya Ukrainka National University of Volyn region,
13, Voli Av., 43025 Lutsk, Ukraine, nesvishandriiu@gmail.com

The article contains the results of statistical and graphical analysis of thunderstorm activity in Ukraine and within Volyn Region, in particular, following the study of the dynamic maps archive available at the online resource Blitzortung.org (lightnings and thunderstorms in real time). It describes the principles and results of activities of Blitzortung.org, a community of lightning direction sensors owners and users, and presents the developed algorithm of the methodology of reading dynamic maps available at this resource.

Regional analysis of the archival maps on the website Blitzortung.org for 2008-2019 for the territory of Volyn Region made it possible to establish the following changes of the thunderstorm activity dynamics: the total number of thunderstorm days more than doubled (from 30 to 68.3 days on average); the number of thunderstorms increased in April (it was a rare phenomenon earlier); the number of thunderstorms increased significantly in May, for some years the number of thunderstorm days in May reached certain summer months (June and July); most thunderstorms are of frontal origin, storm fronts come from the west, north and southwest. The number of frontal thunderstorms tends to increase, therefore indicating increased atmospheric instability and the number of natural meteorological phenomena associated with such instability; the average monthly number of thunderstorm days in Volyn Region also increased for all months of the year with no exception.

The analysis of storm activity within the whole territory of Ukraine during the period of 2018-2019 indicated the presence of clear regional features and differences. The increase in thunderstorm activity is observed in the western (50-100%) and southern (15-50%) regions of the country, and partly in the north. The number of thunderstorm days in the eastern part of Ukraine is close to the climatic normal. At the same time, the analysis needs to be clarified and detailed throughout the whole network of meteorological stations of Ukraine whose data can be compared with the results of the study of archival maps available at Blitzortung.org.

Keywords: thunderstorm, thunderstorm activity, number of thunderstorm days, online resource Blitzortung.org.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГРОЗОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ВОЛИНИ И В УКРАИНЕ ЗА ДАННЫМИ ОНЛАЙН-РЕСУРСА BLITZORTUNG

В. В. Федонюк¹, Н. А. Федонюк¹, А. М. Павлусь²

¹Луцкий национальный технический университет,

75, Львовская, 43018 Луцк, Украина, ecolutsk@gmail.com

²Волынский национальный университет имени Леси Украинки,

13, пр. Воли, 43025 Луцк, Украина, nesvishandriu@gmail.com

В работе представлено результаты статистического и графического анализа показателей грозовой деятельности в Украине и в пределах Волынской области, в частности, на основе исследования архива динамических карт онлайн-ресурса Blitzortung.org (молния и гроза в режиме реального времени). Описано принципы и результаты работы сообщества собственников и пользователей датчиков грозопеленгации Blitzortung.org, представлено разработанный алгоритм методики работы с динамическими картами данного ресурса.

Региональный анализ архивных карт на сайте Blitzortung.org за 2008 – 2019 гг. для территории Волынской области позволил констатировать, что в динамике грозовой активности произошли следующие изменения: более чем в два раза увеличилось общее число дней с грозой (в среднем с 30 дней до 68,3 дней); возросло число гроз в апреле (раньше они были очень редки); существенно возросло количество гроз в мае, в отдельные годы число майских гроз достигает показателей летних месяцев (июня и июля); большинство гроз имеют фронтальное происхождение, грозовые фронты приходят с запада, северо-запада и юго-запада. Количество фронтальных гроз имеет тенденцию к возрастанию, что свидетельствует об увеличении нестабильности атмосферы и числа стихийных метеорологических явлений, связанных с этой нестабильностью; среднее месячное число дней с грозой на Волини также увеличилось для всех без исключения месяцев года.

Анализ грозовой активности в пределах всей Украины на протяжении периода 2018-2019 гг. показал наличие видимых региональных особенностей и отличий. Увеличение грозовой активности наблюдается в Западном (на 50-100 %) и Южном (на 15-50 %) регионах страны, частично – на Севере. На Востоке Украины число дней с грозой практически не отличается от показателей климатической нормы. Вместе с тем, анализ требует уточнения и детализации в пределах всей сетки метеорологических станций Украины, исходные данные которых можно сравнить с результатами исследования архивных динамических карт сайта Blitzortung.org.

Ключевые слова: гроза; грозовая активность; число дней с грозой; онлайн-ресурс Blitzortung.org,

Подання до редакції : 31. 08. 2021

Надходження остаточної версії : 27. 10. 2021

Публікація статті : 26. 11. 2021

УДК: 551.582

ОБ'ЄКТИВНИЙ ВИБІР СИМУЛЯЦІЇ З АНСАМБЛЮ РЕГІОНАЛЬНИХ КЛІМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ

В. М. Хохлов, Е. М. Серга, Л. В. Недострелова

Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, khokhlovv@odeku.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0001-8315-8636>

У даній статті запропоновано методику визначення оптимальної симуляції з ансамблю регіональних кліматичних моделей стосовно північно-західного узбережжя Чорного моря.

Внаслідок змін клімату, які відзначаються на території України приблизно з кінця 80-х років ХХ століття, спостерігаються зміни у різноманітних природних об'єктах. Дослідження таких змін у майбутньому можливо тільки за допомогою симуляцій глобальних або регіональних кліматичних моделей, причому чим докладніше потрібно розглянути певний, часто невеликий за розмірами, природний об'єкт, тим меншим має бути крок просторової сітки кліматичної моделі.

На узбережжі північно-західної частини Чорного моря зміни клімату характеризуються зростанням посушливості клімату та відповідним зменшенням притоку прісних вод у прибережні лимани з їхніх водозбірних басейнів, внаслідок чого екосистеми цих лиманів чутливі та вразливі до змін клімату. Дослідження впливу змін клімату на ці природні об'єкти за допомогою чисельних моделей потребує вхідної гідрометеорологічної інформації у вузлах просторової сітки, відстань між якими має відповідати горизонтальним розмірам лиманів, тобто декілька кілометрів.

В цій статті при моделюванні прогностичних змін режиму температури й опадів використовувались дані за сценаріями RCP4.5 і RCP8.5 ансамблю з 14 симуляцій різними регіональними кліматичними моделями експерименту CORDEX. Для кожного вузла сітки та сценарію з ансамблю відбиралася одна єдина симуляція, яка якнайкраще відтворює річний хід температури, опадів та випаровування у порівнянні з середнім по ансамблю.

Не зважаючи на достатньо велику відстань між лиманами, методика дозволила відібрати єдину оптимальну симуляцію, за якою режим опадів весною та влітку і випаровування протягом усього року істотно відрізняється у південній та північній частині узбережжя розглянутого регіону. Ця симуляція добре відтворює взаємозалежність між температурою, опадами та випаровуванням у південній та північній частині північно-західної узбережжя Чорного моря.

Ключові слова: зміна клімату, CORDEX, температура, опади, випаровування

1. ВСТУП

В останні десятиріччя, починаючи з кінця 80-х років ХХ століття, на території України спостерігаються істотні зміни клімату (див., наприклад, [1, 2]). Вплив змін клімату у минулому на окремі природні об'єкти зазвичай досліджується з використанням наявних даних спостережень або даних ре-аналізів. Для дослідження майбутніх змін клімату єдиним джерелом інформації є симуляції глобальних або регіональних кліматичних моделей, причому їхнє певне застосування залежить від задачі, яка розглядається – чим докладніше потрібно розглянути певний, часто невеликий за розмірами, природний об'єкт, тим меншим має бути крок просторової сітки кліматичної моделі.

На узбережжі північно-західної частини Чорного моря зміни клімату характеризуються зростанням посушливості клімату та відповідним зменшенням притоку прісних вод у прибережні лимани з їх водозбірних басейнів [3]. Найбільш чутливими та вразливими до змін клімату є екосистеми лиманів, умовно названих «закритими» (в західній класифікації «choked» лагуни), які у теперішній час не мають постійного зв'язку з морем і епізодично з'єднуються з ним штучно створеними відкритими каналами або іншими водопровідними гідротехнічними спорудами.

Дослідження впливу змін клімату у майбутньому на ці природні об'єкти за допомогою чисельних моделей потребує вхідної гідрометеорологічної інформації у вузлах просторової сітки, відстань між якими має відповідати горизонта-

льним розмірам лиманів, тобто декілька кілометрів. Таким вимогам задовольняють результати моделювання майбутнього клімату ансамблем з 14 симуляцій різних моделей проекту CORDEX [4].

Застосування гідротермодинамічних моделей, наприклад [5], для оцінки майбутніх гідроекологічних характеристик лиманів північно-західної частини Чорного моря можна зробити або використовуючи як вхідну інформацію результати за усім ансамблем симуляцій, або відібравши результати однієї, «оптимальної», моделі з ансамблю за умови, що ця модель відповідає певним вимогам. Такою вимогою може бути, наприклад, її найбільша близькість до середнього по ансамблю симуляцій. Тобто, по суті така оптимальна симуляція є майже «осередненою», але поля гідрометеорологічних величин у ній будуть узгоджені між собою на відміну від неузгоджених полів після звичайного осереднення.

Таким чином, метою цієї статті є розробка методики визначення оптимальної симуляції з ансамблю регіональних кліматичних моделей стосовно північно-західного узбережжя Чорного моря.

2. ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ СИМУЛЯЦІЇ

2.1 Моделі проекту CORDEX

В цій роботі при моделюванні прогностичних змін режиму температури й опадів використовувались дані експерименту CORDEX – Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment, виконаного Всесвітньою програмою досліджень клімату для формування ансамблю прогностичних регіональних кліматичних моделей на всіх континентах в глобальному масштабі. Також CORDEX використовується для проектування клімату в регіональному масштабі, використовуючи статистичні та динамічні методи. Структура проектування клімату в межах CORDEX базується на новому наборі глобальних кліматичних моделей CMIP5.

Як вхідна інформація використовувались результати моделювання за проектом CORDEX для періоду 2021-2050 років. З чотирьох можливих сценаріїв брались два – RCP4.5 і RCP8.5 [6], для яких кількість симуляцій в ансамблі, які надавали інформацію з роздільною здатністю ~12,5 км у горизонтальній площині для Європи про середньомісячну приземну температуру повітря (T), швидкість вітру (V), питому вологість (q) і загальну кількість хмарності (N) та місячні суми опадів (P) і випаровування (E), становила

14 за 5 регіональними кліматичними моделями (табл. 1). Нагадаємо, що за сценаріями RCP4.5 і RCP8.5 передбачається збільшення радіаційного форсингу на 4,5 Вт/м² і 8,5 Вт/м² відповідно у порівнянні з передіндустріальною епохою.

В роботі [7] для сценарію RCP4.5 припускалася зміна характеру вологозабезпеченості території України у найближчі тридцять років і передбачалась велика ймовірність відсутності снігового покриву протягом усієї зими на півдні України внаслідок додатних температур. Також було показано, що майбутні місячні опади на півдні України мають тенденцію до збільшення в середньому на 20–40 мм протягом осені, зими та весни, а влітку очікується їх зменшення, причому за деякими моделями в липні та серпні опади будуть близькими до нуля, що є характерним для середземноморського клімату. У порівнянні з 1961–1990 роками, найменших змін знає середньомісячна температура повітря весною та восени (до 1 °С), тоді як збільшення температури влітку та взимку становитиме 2,5–3,5 °С. В Одесі, на відміну від сьогоднішнього, очікується додатна середньомісячна температура повітря протягом всього року, і тільки 25% симуляцій показують від'ємні середньомісячні мінімальні температури.

На рис. 1 показані вузли сітки моделей проекту CORDEX, для яких створювався архів даних про метеорологічні параметри. Відзначимо, що для моделі MPI сітка відрізняється від решти – її вузли зміщені на південний захід приблизно на 9 км.

2.2 Процедура відбору симуляції

Для кожного вузла сітки та сценарію з ансамблю відбирається одна єдина симуляція, яка якнайкраще відтворює річний хід T , P і E у порівнянні з середнім по ансамблю. Процедура відбору «оптимальної» симуляції для кожного вузла та сценарію є такою:

1. Для кожного місяця року ($m = 1 \div 12$) розраховуються середні за ансамблем симуляцій ($s = 1 \div 14$) середні за 30-тирічний період величини:

$$\bar{T}_m^a = \frac{1}{30} \sum_1^{30} \frac{1}{14} \sum_{s=1}^{14} T_{m,s},$$

$$\bar{P}_m^a = \frac{1}{30} \sum_1^{30} \frac{1}{14} \sum_{s=1}^{14} P_{m,s},$$

$$\bar{E}_m^a = \frac{1}{30} \sum_1^{30} \frac{1}{14} \sum_{s=1}^{14} E_{m,s}.$$

Таблиця 1 – Регіональні кліматичні моделі, результати яких використовуються у роботі
Table 1 – Regional climate models used in this study

Симуляція	Інститут	Регіональна модель	Глобальна модель
CLMcom1	Climate Limited-area Modelling Community	CLMcom-CCLM4-8-17 ¹	CNRM-CM5 ⁶
CLMcom2			ICHEC-EC-EARTH ⁷
CLMcom3			MOHC-HadGEM2-ES ⁸
CLMcom4			MPI-ESM-LR ⁹
DMI1	Danish Meteorological Institute	DMI-HIRHAM5 ²	ICHEC-EC-EARTH ⁷
DMI2			NCC-NorESM1-M ¹⁰
KNMI1	Royal Netherlands Meteorological Institute	KNMI-RACMO22E ³	ICHEC-EC-EARTH ⁷
KNMI2			MOHC-HadGEM2-ES ⁸
MPI	Max Planck Institute for Meteorology	MPI-CSC-REMO2009 ⁴	MPI-ESM-LR ⁹
SMHI1	Swedish Meteorological and Hydrological Institute	SMHI-RCA4 ⁵	CNRM-CM5 ⁶
SMHI2			ICHEC-EC-EARTH ⁷
SMHI3			IPSL-CM5A-MR ¹¹
SMHI4			MOHC-HadGEM2-ES ⁸
SMHI5			MPI-ESM-LR ⁹

Примітки:

- <https://wiki.coast.hzg.de/clmcom/clm-community-home-92864627.html>.
- <https://www.dmi.dk/fileadmin/Rapporter/TR/tr06-17.pdf>.
- <http://bibliotheek.knmi.nl/knmipubTR/TR302.pdf>.
- <https://www.remo-rcm.de/059966/index.php.en>.
- https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.90275!/Menu/general/extGroup/attachmentColHold/mainCol1/file/RMK_116.pdf.
- <http://www.umr-cnrm.fr/spip.php?article126&lang=en>.
- <https://www.ichec.ie/partnerships/state-supported/ec-earth-climate-simulations-irelands-contributions-cmip6>.
- <https://www.metoffice.gov.uk/research/approach/modelling-systems/unified-model/climate-models/hadgem2>.
- <https://mpimet.mpg.de/en/science/models/mpi-esm/>.
- <https://folk.uib.no/ngfhd/EarthClim/index.htm>.
- <http://cmc.ipsl.fr/ipsl-climate-models/ipsl-cm5/>.

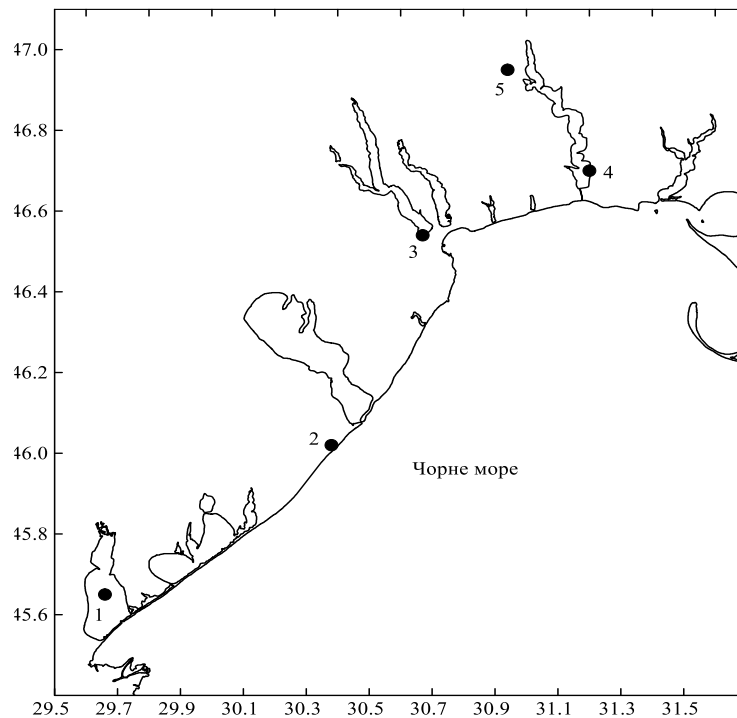


Рис. 1 – Розташування вузлів сітки моделей проекту CORDEX (чорні точки) на узбережжі північно-західної частини Чорного моря

Figure 1 – Grid points location for CORDEX models (black dots) in northwestern part of Black Sea coast

2. Для кожного місяця року розраховуються абсолютні відхилення для кожної симуляції:

$$\begin{aligned} T'_{m,s} &= |T_{m,s} - \bar{T}_m^a|, \\ P'_{m,s} &= |P_{m,s} - \bar{P}_m^a|, \\ E'_{m,s} &= |E_{m,s} - \bar{E}_m^a|. \end{aligned}$$

3. Шукаються максимальні значення $(T'_{m,s})_{\max}$, $(P'_{m,s})_{\max}$, $(E'_{m,s})_{\max}$ і розраховуються відносні відхилення:

$$\begin{aligned} T^r_{m,s} &= T'_{m,s} / (T'_{m,s})_{\max}, \\ P^r_{m,s} &= P'_{m,s} / (P'_{m,s})_{\max}, \\ E^r_{m,s} &= E'_{m,s} / (E'_{m,s})_{\max}. \end{aligned}$$

4. Для кожної симуляції розраховується сума середніх за рік відносних відхилень кожного з метеорологічних параметрів:

$$D_s = \frac{1}{12} \left(\sum_{m=1}^{12} T^r_{m,s} + \sum_{m=1}^{12} P^r_{m,s} + \sum_{m=1}^{12} E^r_{m,s} \right).$$

5. Кращою вважається симуляція з мінімальним значенням D_s .

3. РІЧНИЙ ХІД МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗА ОПТИМАЛЬНОЮ СИМУЛЯЦІЄЮ

Таблиця 2 містить результати розрахунку значень D_s по вузлах сітки, наведених на рис. 1, та сценаріях. За поданими в цій таблиці результатами можна зробити висновок, що симуляція CLMcom4 є найближчою (або, принаймні, другою за близькістю) до середнього по ансамблю симуляцій і саме тому вихідні результати цієї симуляції можна рекомендувати як вхідні параметри для моделювання гідрологічного та гідроекологічного режимів лиманів та їхніх водозборів у найближчому майбутньому.

На рис. 2–4 наведено річний хід різних метеорологічних параметрів за симуляцією CLMcom4 в різних районах Північно-західного Причорномор'я.

Річний хід температури повітря (рис. 2) у різних частинах досліджуваної території за сценаріями RCP4.5 й RCP8.5 показує певну схожість максимальних значень для всіх вузлів сітки – 24,0 °C в липні, другий максимум спостерігається в серпні і становить 23,0 °C. Мінімальні температури фіксуються у січні й грудні по обох сценаріях, але ці показники температури для

лиманів, що знаходяться на південному заході досліджуваної території, дещо більші, ніж для інших об'єктів. Наприклад, для лиманів Сасик і Будацький мінімальні температури в січні очікуються 4,0 °C, а для лиману Хаджибеївський – 1,0 °C, що розташований на північному заході регіону дослідження. Необхідно також зазначити, що мінімальні значення за сценаріями різняться: за RCP8.5 вони набувають значень на 1,0 °C менших, ніж за сценарієм RCP4.5 як у січні, так і в грудні.

Річний розподіл опадів (рис. 3) за обома сценаріями визначає максимум у листопаді в межах 56-60 мм за сценарієм RCP4.5 й 50-60 мм за сценарієм RCP8.5, причому найменші значення будуть спостерігатися на півночі Тилігульського лиману за обома сценаріями. Другий максимум кількості опадів у річному ході очікується в січні в межах 42-51 мм, але більші значення фіксуються за сценарієм RCP8.5. З рис. 3 видно, що у майбутньому хід опадів має і третій максимум, що очікується в березні-травні за сценарієм RCP4.5 і у травні-липні за RCP8.5. Мінімум опадів в обох траєкторіях визначено влітку: липень-серпень за RCP4.5 і серпень за RCP8.5. Мінімальна кількість опадів буде коливатися в межах від 15 до 22 мм, з найбільшими значеннями на півночі Тилігульського лиману.

Найбільша інтенсивність процесів випаровування (рис. 4) очікується на півдні узбережжя північно-західної частини Чорного моря, на лиманах Сасик і Будацький, з максимальними значеннями 140 мм в серпні і жовтні за сценарієм RCP4.5 і в серпні-вересні за RCP8.5. Мінімум випаровування визначено в квітні з кількістю 38-42 мм для обох траєкторій. Для Тилігульського лиману, тобто для півночі області дослідження, прогнозується максимальне випаровування у червні із значеннями 75-80 мм. Мінімум фіксується в грудні-січні і коливається в межах 10-12 мм. Найменші показники випаровування очікуються в центральній частині області, на лимані Хаджибеївський. Тут максимум виявлено в червні, який становить 60 мм. Мінімальне значення також прогнозується в грудні-січні і змінюється від 17 до 20 мм.

4. ВИСНОВКИ

Розглянута у цій статті методика відбору оптимальної симуляції є доволі простою, але дозволяє вибрати симуляцію по декількох, різних за абсолютною величиною, метеорологічних параметрах, наприклад, температурі та опадах, як це зроблено у попередньому розділі.

Відзначимо також, що у цій статті для відбору оптимальної моделі використовувались три метеорологічні параметри, але їх кількість може бути й більшою.

Не зважаючи на те, що відстань між лиманами є доволі великою (~180 км по прямій лінії між вузлами 1 і 5 на рис. 1), методика дозволила відібрати єдину оптимальну симуляцію. Скоріше за все це не може бути визначено однакови

фізико-географічними умовами для розглянутих природних об'єктів, тому що режим опадів весною та влітку відрізняється у південній та північній частині узбережжя розглянутого регіону (див. рис. 3). Ще більш істотно відрізняється режим випаровування (див. рис. 4) і його річний хід визначається не тільки режимом температури, а й опадів.

Таблиця 2 – Сума середніх за рік відносних відхилень D_s для різних вузлів сітки

Table 2 – Annual mean relative deviations sum, D_s , for different grid points

Симуляція	Вузол 1		Вузол 2		Вузол 3		Вузол 4		Вузол 5	
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
CLMcom1	0.570	0.515	0.519	0.549	0.751	0.678	0.726	0.635	0.714	0.693
CLMcom2	0.461	0.404	0.456	0.451	0.756	0.602	0.755	0.557	0.638	0.521
CLMcom3	0.970	0.960	0.969	1.100	1.237	1.228	1.102	1.173	1.094	1.172
CLMcom4	0.403	0.368	0.449	0.464	0.516	0.523	0.429	0.492	0.408	0.429
DMI1	0.794	0.888	0.836	0.938	0.850	0.768	0.667	0.541	0.642	0.594
DMI2	0.909	0.911	0.956	1.050	1.139	0.921	0.877	0.656	0.874	0.769
KNMI1	0.817	0.738	0.845	0.807	0.777	0.597	0.662	0.535	0.654	0.456
KNMI2	0.879	0.822	0.868	0.847	0.814	0.673	0.646	0.587	0.516	0.488
MPI	0.720	0.777	0.587	0.686	0.945	0.792	1.104	1.033	0.657	0.585
SMHI1	0.687	0.684	0.803	0.849	0.990	1.005	0.833	0.896	0.894	0.894
SMHI2	0.774	0.670	0.804	0.743	0.929	0.756	0.749	0.607	0.740	0.608
SMHI3	0.707	0.637	0.811	0.746	0.956	0.852	0.712	0.759	0.618	0.661
SMHI4	0.487	0.412	0.539	0.587	0.965	0.783	0.653	0.534	0.735	0.660
SMHI5	0.394	0.514	0.468	0.653	0.953	0.736	0.818	0.652	0.748	0.589

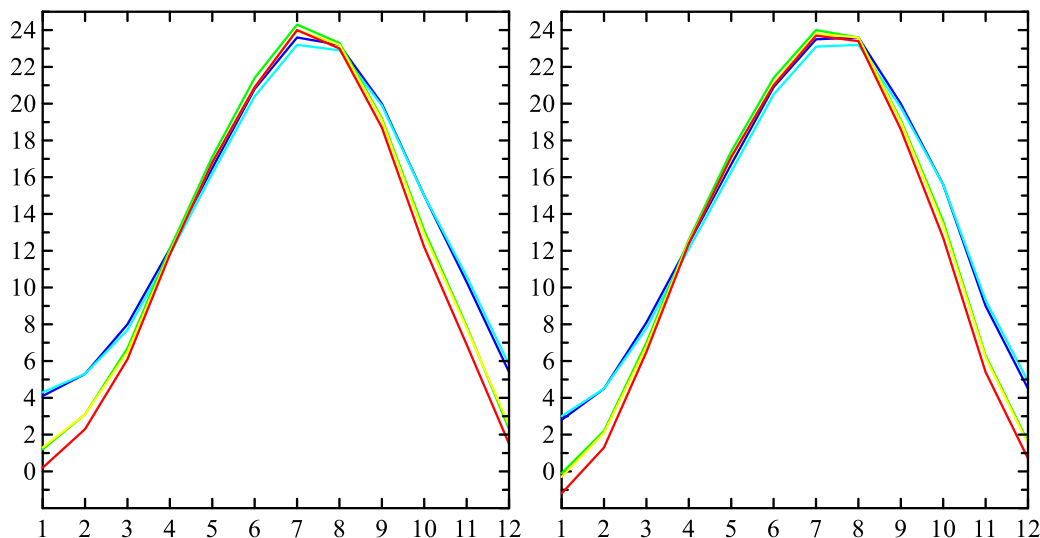


Рис. 2 – Річний хід температури (°C) у різних частинах Північно-західного Причорномор'я для сценаріїв RCP4.5 (ліва панель) та RCP8.5 (права панель)

(— Сасик, — Будакський, — Хаджибеївський, — Тилігульський-південь, — Тилігульський-північ)

Figure 2 – Intra-annual changes of air temperature (°C) in different parts of northwestern Black Sea coast for scenarios RCP4.5 (left) and RCP8.5 (right)

(— Sasyk, — Budakyskiy, — Khadzhibeivskiy, — Tyligulskiy-south, — Tyligulskiy-north)

Таким чином, результати відібраної оптимальної симуляції є узгодженими між собою і надалі можуть використовуватись як вхідна інформація до гідротермодинамічних моделей для оцінки майбутніх гідроекологічних характеристик лиманів.

Сама ж методика відбору оптимальної симуляції, беручи до уваги майбутні зміни клімату в Україні (наприклад, [8-10]), може використовуватись для інших аналогічних досліджень впливу змін клімату на природні об'єкти України.

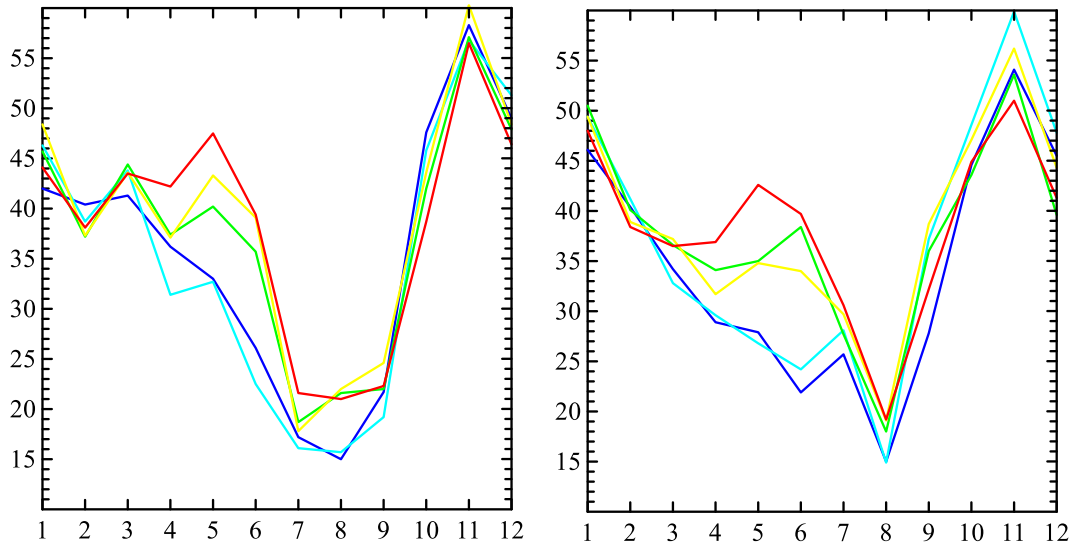


Рис. 3 – Річний хід опадів (мм) у різних частинах Північно-західного Причорномор'я для сценаріїв RCP4.5 (ліва панель) та RCP8.5 (права панель)
(— Сасик, — Будакський, — Хаджибеївський, — Тилігульський-південь, — Тилігульський-північ)

Figure 3 – Intra-annual changes of precipitation (mm) in different parts of northwestern Black Sea coast for scenarios RCP4.5 (left) and RCP8.5 (right)
(— Sasyk, — Budakyskiy, — Khadzhibeivskiy, — Tyligulskiy-south, — Tyligulskiy-north)

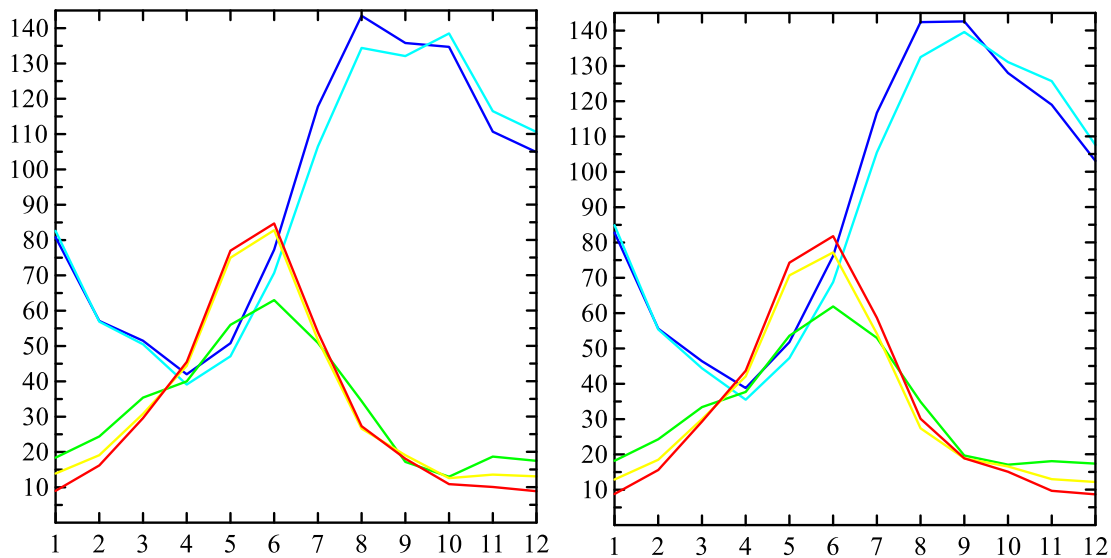


Рис. 4 – Річний хід випаровування (мм) у різних частинах Північно-західного Причорномор'я для сценаріїв RCP4.5 (ліва панель) та RCP8.5 (права панель)
(— Сасик, — Будакський, — Хаджибеївський, — Тилігульський-південь, — Тилігульський-північ)

Figure 4 – Intra-annual changes of evaporation (mm) in different parts of northwestern Black Sea coast for scenarios RCP4.5 (left) and RCP8.5 (right)
(— Sasyk, — Budakyskiy, — Khadzhibeivskiy, — Tyligulskiy-south, — Tyligulskiy-north)

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Хохлов В. Н. Количественное описание изменений климата Европы во второй половине XX века. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2007. № 2. С. 35-42.
2. Серга Е. М., Хохлов В. М., Недострелова Л. В. Сучасна динаміка показників основних кліматичних характеристик на станціях Північно-західного Причорномор'я. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2020. № 26. С. 37-49. <https://doi.org/10.31481/uhmj.26.2020.03>.
3. Tuchkovenko Y., Loboda N., Khokhlov V. The physio-geographical background and ecology of Tyligulskiy Liman Lagoon. *Coastal Lagoons in Europe. Integrated Water Resource Management* / Edited by Lillebø, A. I., Stålnacke, P., Gooch, G. D. London: IWA Publishing, 2018. Pp. 77-85.
4. EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research / Jacob D. et al. *Regional Environmental Change*. 2014. Vol. 14(2). Pp. 563-578. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2>
5. Кушнір Д. В., Тучковенко Ю. С. Модельовання мінливості гідрологічних характеристик водойми Сасик за різних варіантів її функціонування. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2020. № 26. С. 116-129. <https://doi.org/10.31481/uhmj.26.2020.10>.
6. The next generation of scenarios for climate change research and assessment / Moss R. H. et al. *Nature*. 2010. Vol. 463. Pp. 747-756.
7. Замфірова М. С., Хохлов В. М. Режим температури повітря та опадів в Україні в 2021-2050 роках за даними ансамблю моделей CORDEX. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2020. № 25. С. 17-27. <https://doi.org/10.31481/uhmj.25.2020.02>
8. Хохлов В. М., Єрмоленко Н. С. Майбутні зміни клімату та їх вплив на режим опадів та температури в Україні. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2015. № 16. С. 76-82. <https://doi.org/10.31481/uhmj.16.2015.10>.
9. Проекция изменения климатических средних показателей экстремальности термического режима к середине XXI века в Украине / Балабух В. А. и др. *Природопользование*. 2018. № 1. С. 97-113.
10. Проекції приземної температури та відносної вологості повітря в областях України до середини XXI ст. за даними ансамблів регіональних кліматичних моделей / Краковська С. В. та ін. *Геоінформатика*. 2018. № 3(67). С. 62-77.

REFERENCES

1. Khokhlov, V.N. (2007). [Quantitative description of European climate change during second half of 20th century]. *Ukrains'kij gidrometeorologičnij žurnal. [Ukrainian hydrometeorological journal]*, 2, pp. 35-42. (in Russ)
2. Serga, E.N., Khokhlov, V.M. & Nedostrelova, L.V. (2020). [Modern dynamics in main climate characteristics at sites of North-Western Black Sea coast]. *Ukrains'kij gidrometeorologičnij žurnal. [Ukrainian hydrometeorological journal]*, 26, pp. 37-49. <https://doi.org/10.31481/uhmj.26.2020.03>. (in Ukr)
3. Tuchkovenko, Y., Loboda, N. & Khokhlov, V. (2018). The physio-geographical background and ecology of Tyligulskiy Liman Lagoon. In: Lillebø, A. I., Stålnacke, P., Gooch, G.D. (eds.) *Coastal Lagoons in Europe. Integrated Water Resource Management*. London: IWA Publishing. Pp. 77-85.
4. Jacob, D. et al. (2014). EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*, 14(2), pp. 563-578. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2>.
5. Kushnir, D.V. & Tuchkovenko, Yu.S. (2020). [Modelling the variability of hydrological parameters of the Sasyk reservoir impoundment under various options of its operation]. *Ukrains'kij gidrometeorologičnij žurnal. [Ukrainian hydrometeorological journal]*, 26, pp. 116-129. <https://doi.org/10.31481/uhmj.26.2020.10>. (in Ukr)
6. Moss, R.H. et al. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463, pp. 747-756.
7. Zamfirova, M.S. & Khokhlov, V.M. (2020). [Air temperature and precipitation regime in Ukraine in 2021-2050 by CORDEX model ensemble]. *Ukrains'kij gidrometeorologičnij žurnal [Ukrainian hydrometeorological journal]*, 26, pp. 37-49. <https://doi.org/10.31481/uhmj.26.2020.03>. (in Ukr)
8. Khokhlov, V. & Yermolenko, N. (2015). [Future climate change and its impact on precipitation and temperature in Ukraine]. *Ukrains'kij gidrometeorologičnij žurnal. [Ukrainian hydrometeorological journal]*, 16, pp. 76-82. <https://doi.org/10.31481/uhmj.16.2015.10>. (in Ukr)
9. Balabukh, V. et al. (2018). [Projections of changes climatic mean and extreme parameters of thermal regime by the middle of the 21st century in Ukraine]. *Nature Management*, 1, pp. 97-113. (in Russ)
10. Krakovska, S.V. et al. (2018). [Projections of air temperature and relative humidity in Ukraine regions to the middle of the 21st century based on regional climate model ensembles]. *Geoinformatika [Geoinformatics]*, 3(67), pp. 62-77. (in Ukr).

OBJECTIVE SELECTION OF MODEL RUN FROM REGIONAL CLIMATE MODELS ENSEMBLE

V. Khokhlov, E. Serga, L. Neodstrelova

Odessa State Environmental University,
15, Lvivska St., 65016 Odesa, Ukraine, khokhlovv@odeku.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0001-8315-8636>

In this paper, a method was developed in relation to the north-western coast of the Black Sea in order to determine the optimal model run from regional climate models ensemble.

As a result of climate change, which has been observed since the late 1980s in Ukraine, various natural objects changes have been also transformed. The study of such changes in the future is possible only by using runs of global or regional climate models. Moreover, the step of the spatial grid in the climate model must be comparative with the spatial size of a natural object under study.

In the north-western coast of the Black Sea, climate change is characterized by increasing aridity of climate and a corresponding decrease in freshwater inflows into coastal lagoons from their catchments, making ecosystems of these lagoons sensitive and vulnerable to climate change. Using numerical models in order to study climate change impact on these natural objects requires input hydrometeorological information in the spatial grid points, the distance between which should correspond to the horizontal size of lagoons, i.e. several kilometers.

In this paper, data from the scenarios RCP4.5 and RCP8.5 of the ensemble from 14 model runs with different regional climatic models of the CORDEX project were used to simulate the future changes of the temperature and precipitation regime. For each grid point and scenario, a single simulation was selected from the ensemble, which best reproduces the intra-annual changes of temperature, precipitation, and evaporation compared to the ensemble means.

Despite the sufficiently large distance between the estuaries, the method allowed the selection of a single optimal model run, which shows the significant differences in spring and summer precipitation as well as year-around evaporation in the southern and northern parts of the northwestern coast of the region. This run well reproduces the relationship between temperature, precipitation, and evaporation in the southern and northern parts of the northwestern coast of the Black Sea.

Keywords: climate change, CORDEX, temperature, precipitation, evaporation

ОБЪЕКТИВНЫЙ ВЫБОР СИМУЛЯЦИИ ИЗ АНСАМБЛЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

В. Н. Хохлов, Э. Н. Серга, Л. В. Недострелова

*Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, khokhlovv@odeku.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0001-8315-8636>*

В данной работе разработана методика определения оптимальной симуляции из ансамбля региональных климатических моделей относительно северо-западного побережья Черного моря.

В результате изменений климата, которые отмечаются на территории Украины примерно с конца 80-х годов XX века, наблюдаются изменения в различных природных объектах. Исследование изменений в различных природных объектах как следствие изменений климата в будущем возможно только с помощью симуляций глобальных или региональных климатических моделей.

На северо-западном побережье Черного моря изменения климата характеризуются ростом засушливости климата и уменьшением притока пресных вод в прибрежные лиманы, в результате чего страдают экосистемы этих лиманов. Исследование влияния изменений климата на эти природные объекты с помощью численных моделей требует входной гидрометеорологической информации в узлах пространственной сетки, расстояние между которыми должно соответствовать горизонтальным размерам лиманов, то есть несколько километров.

В этой работе при моделировании будущих изменений режима температуры и осадков использовались данные по сценариям RCP4.5 и RCP8.5 ансамбля из 14 симуляций региональных климатических моделей эксперимента CORDEX. Для каждого узла сетки и сценария из ансамбля отбиралась одна единственная симуляция, которая наиболее близка к среднему по ансамблю годовому ходу температуры, осадков и испарения. Эта симуляция хорошо воспроизводит взаимозависимость между температурой, осадками и испарением в южной и северной части северо-западного побережья Черного моря.

Ключевые слова: изменение климата, CORDEX, температура, осадки, испарение.

*Подання до редакції : 20. 10. 2021
Надходження остаточної версії : 19. 11. 2021
Публікація статті : 26. 11. 2021*

УДК 556.043, PACS number: 556.043

ОЦІНКА ЯКОСТІ ВОД ЗА ІНТЕГРАЛЬНИМ ПОКАЗНИКОМ ЗАБРУДНЕННЯ У РІЧКАХ БАСЕЙНУ ПІВДЕННОГО БУГУ В МЕЖАХ ВІННИЦЬКОЇ ОБЛАСТІ

Я. І. Залізняк

Уманський національний університет садівництва,
вул. Інститутська, 1, корпус № 1, каб. 59, Умань, Україна, yana.bezusyak@gmail.com

Вінниччина є тим регіоном України, який з давніх часів і до сьогодні приваблює своєю природою людей та зазнає активних різнобічних господарських освоєнь. Особливо активно зазнають впливу з боку людини водні (аквальні) натуральні об'єкти – річки, озера, а також їх заплави і водозбори. Тому автором було виокремлено басейн річки Південного Бугу в межах Вінницької області для встановлення ступеня антропогенної трансформації безпосередньо у самій річці та з'ясувати стан її лівих приток.

У даній роботі висвітлено результати проведення польових та лабораторних досліджень хімічного та органолептичного стану води Південного Бугу та його приток. Дослідження басейну Південного Бугу проводилось в межах Вінницької області, оскільки вона є регіоном старого сільськогосподарського освоєння, а на її території знаходиться велика кількість підприємств різних галузей. Оскільки басейн займає велику площу Вінницької області, то доцільним було дослідити основні притоки Південного Бугу, які охоплюють головні райони, де вони протікають, та виокремити необхідні нам точки відбору проб.

На основі отриманих результатів автором було сформовано порівняння середніх концентрацій за різні сезонні періоди (літньо-осіння межень, зимова межень та весняна повінь) на пунктах спостережень з різними нормативами якості поверхневих вод відповідно до призначення (питні, рибогосподарські і культурно-побутового та рекреаційного призначення). За отриманими результатами встановлено, що якість поверхневих вод відповідно до нормативів належать до різного ступеня забруднення – від малого до катастрофічного, що потребує невідкладного втручання влади щодо покращення якості поверхневих вод. Поверхневі води басейну Південного Бугу зазнають забруднень визначеними хімічними речовинами, які потрапляють до них разом із стічними водами та стоками з прибережних зон. Тому підсумок досліджень виступає підґрунтям для формування заходів та пропозицій щодо покращення стану басейнової системи та геосистеми р. Південний Буг, що планується автором у перспективі.

Метою роботи є оцінка екологічного стану поверхневих вод, що є складовою загального статусу водних об'єктів, як і визначення їх хімічного статусу за концентраціями пріоритетних небезпечних забруднювальних речовин. В ході виконання роботи показано, що завдяки басейновому підходу можливо здійснити оцінку особливостей, які формують стік, визначають шляхи переносу та руху речовин як природного так і антропогенного походження. Так як поверхневі води є головними шляхами, через які здійснюється поширення забруднення у басейнах, то саме вони є індикаторами стану. Тому якість поверхневих вод залежить від рівня антропогенної змінності басейнової системи, що підтверджено автором при виконанні досліджень.

Ключові слова: геосистема; річковий басейн; Південний Буг; антропогенна трансформація; гідрохімічні дані; якість води.

1. ВСТУП

Господарська діяльність людини суттєво впливає на зменшення площ незайманих природних територій та ландшафтів. Наразі антропогенна діяльність активізувалася у напрямі трансформації річкових систем. Крім цього, враховуючи значну інтенсифікацію сучасного сільськогосподарства, одну з найбільших загроз для

геосистеми річки Південний Буг можуть являти ерозійні процеси [1]. Наразі виникла проблема у забезпеченні високої якості природних вод, зокрема води Південного Бугу та його ліві притоки (Снивода, Десна, Соб, Удич, Устя, Рудка) серйозно потерпають від викидів промислових підприємств [2].

Подільська височина, де розташований басейн Південного Бугу, сильно розчленована, основу її складають вапнякові породи, які формують ґрунти, які в подальшому використовуються в антропогенній діяльності: під вирощування цукрового буряка, пшениці, соняшника та багатьох інших культур. Для забезпечення зрошувальних та інших умов для отримання рослинної продукції активно використовуються поверхневі води.

Процеси урбанізації зумовлені зростанням різних галузей та зосередженням багатьох об'єктів забруднень, які зустрічаються в містах України та у Вінницькій області. Зокрема, надмірною стала зосередженість об'єктів промисловості на обмежених територіях. Висока забрудненість, незадовільність життєзабезпечення, швидкий приріст населення міст та збільшення їх територій призвели до того, що більшість поверхневих вод стали непридатними до використання. Вода за фізико-хімічними показниками, у більшості випадків, не відповідає нормам, що пов'язано зі скидами стічних вод у поверхневі водні об'єкти. Викиди забруднювальних речовин переважної більшості підприємств комунального господарства та промисловості суттєво перевищують гранично допустимий рівень. Найбільшими водоспоживачами в області в розрізі підприємств є КП «Вінницяоблводоканал» (м. Вінниця), яке використовує 23% від загального використання, ВП Ладижинська ТЕС (м.Ладижин) - 13% [3]. Крім цього, наявність сільськогосподарських угідь на притоках також відіграє велику роль у забрудненні. Під час польових досліджень було виявлено, що здебільшого на берегах річок здійснюють антропогенну діяльність без дотримання меж прибережних захисних смуг (на всіх районах дослідження). Як наслідок – забруднення водних ресурсів і порушення норм якості води. Наразі значна частина насосних станцій та насосних агрегатів, а також частина очисних споруд водопровідної мережі відпрацювали нормативний термін експлуатації. Багато водопровідних та каналізаційних мереж перебувають в аварійному стані [3].

Для оцінки масштабів впливу антропогенної діяльності на річкові системи, основу складають басейнові та системні підходи [4, 5]. Під час оцінки всіх чинників, які складають антропогенний вплив, то важливу роль приділяють зменшенню площ, а то й знищенню лісів, нераціональному веденню сільського господарства [6]. Річкові басейни можна розглядати як геосистеми різних ієрархічних рівнів. Останніми десятиріччями інтенсивно ведуться ландшафтні

екологічні дослідження басейнів річок. Даний фактор сприяє чітко визначеній функціональній єдності басейну, його територіальній визначеності, сприятливим умовам для організації експериментальних досліджень геосистем та інтерпретації їх результатів [7, 8]. На сьогоднішній день досить актуальним є басейновий підхід до вивчення процесів, які відбуваються в природному середовищі. Це необхідно для забезпечення збалансованості використання, охорони і відтворення водних ресурсів, запобігання порушення умов формування поверхневого стоку, що значною мірою зумовлюється станом поверхні водозабору [6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретичний базис та практичні методи, підходи щодо визначення та оцінювання антропогенного навантаження, стійкість геосистем тощо - даними розробками займалися такі науковці як П. Г. Шищенко [1], Г. І. Денисик [9, 10], А. Г. Ісаченко [11], М. Д. Гродзинський [12, 13], Л. Л. Малишева [14], а також ряд інших вітчизняних та зарубіжних вчених.

Шищенко П. Г. у своїй праці розглядав ступінь зростання природокористування та масштаби зростання даної проблеми.

Денисик Г. І. досліджував водні антропогенні ландшафти, зокрема і басейну Південного Бугу. Він встановив, що за рахунок інженерно-технічних втручань людини, а саме будівництво ГЕС, млинів, дамб тощо, – сформувався ландшафт, який складається з блокових систем, і так само як і природний – розвивається, але лише із втручанням людини. Прикладом є м. Хмільник та м. Вінниця, де докорінно змінена ландшафтна структура. При виконанні польових досліджень автором було зафіксовано такі «острови», де відбулося формування нового антропогенного ландшафту на місцях технічних втручань людини.

Ісаченко А. Г. та Малишева Л. Л. займалися вивченням польових досліджень та формуванням методів їх проведення. Гродзинський М. Д. у своїй праці зазначив особливості стійкості геосистем до антропогенного втручання. Зокрема, застосування прогнозування, нормування антропогенних навантажень, раціональної організації території для формування природоохоронних заходів.

Для оцінки якості поверхневих вод використовують методи і підходи, наведені у роботах [16-21]. Згідно методики [20, 21], характеристику якості водних об'єктів здійснюють за основою екологічної класифікації якості поверхневих вод, склад якої формують гідрофізичні, гідрохімічні,

бактеріологічні та гідробіологічні показники, які характеризують екологічний стан певних водних систем, зокрема системи річки Південний Буг. Для визначення якості вод обраний інтегральний показник якості, який враховує відібрані показники хімічного складу вод у відповідності із ваговими коефіцієнтами, більшість яких визначається експертно.

Аналіз даних публікацій показав, що теоретико-методичні основи геоecологічних досліджень є не в повній мірі вдосконаленими, адже дослідження та оцінювання змінених ландшафтів важливе не тільки з точки зору збереження природи, а й як місця проживання самої людини, так як воно дає змогу встановити співвідношення природної та антропогенної частин ландшафту [15]. Як наслідок, сучасна територіальна структура землекористування не відповідає вимогам збалансованого розвитку і нормам відновлення земельних ресурсів, так як антропогенний вплив у великій мірі перешкоджає процесам саморегуляції і самоорганізації природних комплексів [15]. Крім цього, виникають проблеми, пов'язані з важкістю дослідження та вивчення певного об'єкта при здійсненні геоecологічних досліджень. Це відбувається через велику кількість взаємопов'язаних елементів, які також потребують огляду та детальнішого вивчення. Потрібно також визначитися з основними показниками, які найоб'єктивніше відображають взаємодію природних та антропогенних факторів, що впливають на розвиток геосистеми та їх сучасний стан. Тому аналіз антропогенного впливу на геосистеми набуває все більшого значення для наукового обґрунтування раціонального використання природних ресурсів.

2. ОПИС МАТЕРІАЛІВ ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для проведення польових та лабораторних досліджень автором було використано: методики комплексних польових географічних досліджень (за З. Курловою) [16]; методики досліджень для правильної послідовності у виконанні досліджень біля водного об'єкту [17, 18]. Адже якість поверхневих вод басейну залежить від рівня антропогенної трансформації басейнової системи, що є головним критерієм оцінки якості об'єктів досліджень.

Відбір проб води проводили 4 рази на рік (під час повені – на підйомі; під час літньої межени – при найменшій витраті; восени перед льодоставом та під час зимової межени) згідно

методики «Моніторинг довкілля» [17].

Місце відбору проби води обирали відповідно до мети аналізу та з урахуванням характеру місцевості. Для запобігання впливу випадкових чинників особливу увагу звертали на притоки річки та джерела забруднення, які розміщені вище за течією від місця відбирання проби [17].

Для визначення забрудненості вод за хімічними показниками, які перевищили ГДК, було розраховано коефіцієнт забруднення χ за формулою [19]:

$$\chi = \Sigma [(N_i / C_{i,d})\varphi(i)] / \Sigma\varphi(i), \quad (1)$$

де N_i – значення показника забрудненості;

i – номер показника забрудненості в ранговій послідовності зі m показників; $C_{i,d}$ – норматив (ГДК) показника; $\varphi(i) = i / 2^{i-1}$ – вагова функція; $\Sigma\varphi(i)$ – приведена кількість показників [20].

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Гідрохімічна база даних сформована за 10 пунктами спостережень. Місця відбору проб наведені на рисунку 1. Характеристика річок наведена в таблиці 1, номери пунктів співпадають з їхніми назвами, кожний пункт висвітлює період спостережень, кількість проб, які відібрані у цей період та кількість визначень показників хімічного складу води.

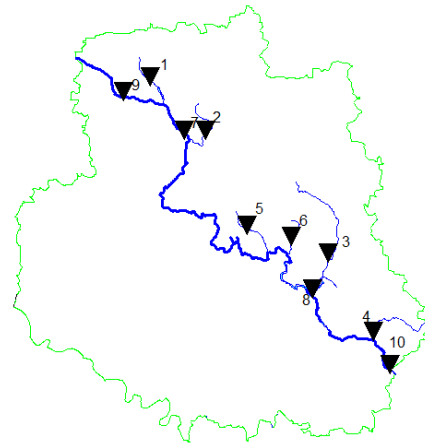


Рис. 1 – Місця відбору проб води

Fig.1 – Water sampling sites

Вихідну гідрохімічну інформацію за різний період по кожному пункту спостереження було сформовано відповідно до основних сезонів: весняної повені, літньо-осінньої та зимової межени (табл. 2-4). Це дало змогу виділити генетично однорідні сукупності, що характеризують

періоди з переважанням тих чи інших процесів формування хімічного складу річкових вод під впливом сезонних змін. Перевищення показників відмічено жирним шрифтом.

За рахунок сформованих за сезонами рядів гідрохімічних даних автором виводилися середні значення для таких груп компонентів хімічного складу вод:

1. Органолептичні показники (запах, забарвленість, каламутність).
2. Фізико-хімічні показники (водневий показник, жорсткість, БСК₅).
3. Хлориди, сульфати, мінералізація води.
4. Важкі метали (Fe, Cu, Mn).
5. Біогенні елементи (NO₂⁻, NO₃⁻, P_{заг}).

Таблиця 1 – Характеристика пунктів спостережень за гідрохімічним режимом річок басейну Південного Бугу

Table 1 – Characteristics of observation points for the hydrochemical regime of rivers of the Southern Bug basin

№ з/п	Річка	Пункт спостереження	Період спостереження	Кількість проб	Кількість показників хім. складу
1	Снивода	с. Мар'янівка	2019-2021 рр.	24	15
2	Десна	с. Збараж	2019-2021 рр.	24	15
3	Соб	с-ще. Ксаверівка	2019-2021 рр.	24	15
4	Удич	с. Хмарівка	2019-2021 рр.	24	15
5	Устя	с. Медвежа	2019-2021 рр.	24	15
6	Рудка	с. Ситківці	2019-2021 рр.	24	15
7	Південний Буг	м. Вінниця	2019-2021 рр.	48	15
8	Південний Буг	м. Ладжин	2019-2021 рр.	24	15
9	Південний Буг	м. Хмільник	2019-2021 рр.	24	15
10	Південний Буг	с. Ставки	2019-2021 рр.	24	15

Таблиця 2 – Характеристика досліджуваних річок басейну Південного Бугу за отриманими середніми значеннями гідрохімічних показників за весняну повінь з нормативами якості вод різних категорій*

Table 2 – Characteristics of the studied rivers of the Southern Bug basin according to the obtained average values of hydrochemical indicators for spring floods with water quality standards of different categories

Показник	Пункти спостережень										Нормативи якості вод		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Вода питна	Води культурно-побутового та рекреаційного призначення	Води рибогосподарського призначення
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
БСК ₅ , мг О ₂ /дм ³	5,6	6,1	3,1	4,3	3,5	3,5	4,9	4,3	6,2	4,3	<4	≤6 (при t=20)	2
Водневий показник, рН	7,49	7,53	7,6	7,66	7,6	6,54	7,6	7,42	7,2	7,6	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
Жорсткість, мг-екв/дм ³	4,15	4,7	3,8	6,29	6,9	6,23	6,75	6,2	5,6	5,1	7	7	7
Загальна мінералізація, мг/дм ³	310,3	306	411	440	439	606,3	355	311	338	602	1000	1000	1000
Запах, бали (t 20; 60)	3 ; 4	2 ; 3	1;2	1;2	0;1	2;2	1;3	2;4	1;1	2;3	2	2	2
Залізо, мг/дм ³	0,21	0,29	0,23	0,27	0,32	0,27	0,28	0,24	0,21	0,32	0,2	0,3	0,1
Каламутність, мг/дм ³	3,2	1,4	0,8	2,2	5,2	0,8	1,5	0,8	3,4	3,15	≤ 1	≤ 1	≤ 1
Колірність, градуси	8	25	17	32	22	6	23	7	25	20	≤20	≤20	≤20

Продовження табл. 2
Table 2 – Continued

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Мідь, мг/дм ³	0,05	0,08	0,06	0,06	0,015	0,08	0,09	0,07	0,002	0,013	1	1	1
Марганець, мг/дм ³	0,041	0,091	0,03	0,11	0,01	0,09	0,11	0,09	0,04	0,08	0,1	-	0,01
Азот нітратний, мг/дм ³	2,65	1,44	1,38	0,84	1,51	0,81	1,89	17,5	0,96	4,28	50	45	9
Азот нітритний, мг/дм ³	0,47	0,23	0,01	0,26	0,38	0,2	0,66	0,45	0,1	0,92	≤0,5	3,3	0,02
Сульфати, мг/дм ³	29,7	38,1	47,2	46	50,3	60,1	59,3	47,2	38,5	103,7	250	500	100
Фосфор, мг/дм ³	0,048	0,45	0,13	0,39	0,2	2,05	2,45	2,46	0,83	2,16	3,5	3,5	-
Хлориди, мг/дм ³	36,8	38,1	31,7	51,3	45,2	47,3	38,3	50,8	36,1	73,5	250	200	300

* - сформовано автором на основі власних результатів досліджень

Таблиця 3 – Характеристика досліджуваних річок басейну Південного Бугу за отриманими середніми значеннями гідрохімічних показників за літньо-осінню межень з нормативами якості вод різних категорій

Table 3 – Characteristics of the studied rivers of the Southern Bug basin according to the obtained average values of hydrochemical indicators for summer-autumn boundaries with water quality standards of different categories

Показник	Пункти спостережень										Нормативи якості вод		
											Вода питна	Води культурно-побутового та рекреаційного призначення	Води рибогосподарського призначення
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
БСК ₅ , мг О ₂ /дм ³	3,6	7	3,3	3,5	3,4	3,7	7,2	4,8	7,5	3,7	<4	≤6 (при t=20)	2
Водневий показник, рН	7,21	7,59	7,65	7,7	7,63	7,8	7,61	6,76	7,5	7,32	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
Жорсткість, мг-екв/дм ³	4,2	4,9	4,2	8,31	7,26	6,16	6,4	6,9	6,5	6,1	7	7	7
Загальна мінералізація, мг/дм ³	323,1	303,1	341	417,6	417	544,6	398	326	323	676	1000	1000	1000
Запах, бали (t 20; 60)	3;4	2;3	1;2	1;2	0;1	2;2	1;3	2;4	1;1	2;3	2	2	2
Залізо, мг/дм ³	0,2	0,27	0,18	0,22	0,27	0,27	0,28	0,25	0,19	0,28	0,2	0,3	0,1
Каламутність, мг/дм ³	3,2	1,4	0,8	2,2	5,2	0,8	1,5	0,8	3,4	3,15	≤1	≤1	≤1
Колірність, градуси	7	23	19	36	20	10	30	9	23	22	≤20	≤20	≤20
Мідь, мг/дм ³	0,04	0,03	0,04	0,04	0,013	0,01	0,01	0,06	0,002	0,007	1	1	1

Продовження табл. 3
Table 3 – Continued

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Марганець, мг/дм ³	0,042	0,11	0,04	0,1	0,021	0,08	0,07	0,07	0,01	0,07	0,1	-	0,01
Азот нітратний, мг/дм ³	2,24	1,19	1,32	0,55	1,38	0,85	1,79	16	0,86	3,73	50	45	9
Азот нітритний, мг/дм ³	0,35	0,34	0,013	0,21	0,24	0,18	0,68	0,5	0,04	0,94	≤0,5	3,3	0,02
Сульфати, мг/дм ³	28,9	33,8	46,3	40,62	44	53	42,35	45,8	34,7	58,3	250	500	100
Фосфор, мг/дм ³	0,054	0,41	0,24	0,42	0,21	1,86	1,84	2,34	0,84	2,15	3,5	3,5	-
Хлориди, мг/дм ³	40,1	31,7	32,9	52,6	38	41,9	32,2	45,6	38,8	74,8	250	200	300

* - сформовано автором на основі власних результатів досліджень

Таблиця 4 – Характеристика досліджуваних річок басейну Південного Бугу за отриманими середніми значеннями гідрохімічних показників за зиму межень з нормативами якості вод різних категорій *

Table 4 – Characteristics of the studied rivers of the Southern Bug basin according to the obtained average values of hydrochemical parameters for the winter limit with water quality standards of different categories

Показник	Пункти спостережень										Нормативи якості вод		
											Вода питна	Води культурно-побутового та рекреаційного призначення	Води рыбоос-подарського призначення
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
БСК ₅ , мг О ₂ /дм ³	8,2	3,5	3	3,1	3	3,3	4,5	5	5,3	3,1	<4	≤6 (при t=20)	2
Водневий показник, рН	7,18	7,;8	7,56	7,74	7,62	6,75	7,6	7,6	7,56	7,72	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
Жорсткість, мг-екв/дм ³	4	5,2	4,7	8,18	6,9	6,8	6,7	6,6	6,9	6,3	7	7	7
Загальна мінералізація, мг/дм ³	405	342,6	423	502	501	633	417	395	359	679	1000	1000	1000
Запах, бали (t 20; 60)	2;4	2;3	2;3	2;4	3;3	3;5	2;5	3;5	1;3	2;3	2	2	2
Залізо, мг/дм ³	0,24	0,25	0,2	0,19	0,29	0,23	0,24	0,26	0,22	0,28	0,2	0,3	0,1
Каламутність, мг/дм ³	3,1	1,5	0,9	2,4	5	0,83	1,6	0,73	3,45	3,1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
Колірність, градуси	9	26	19	40	25	8	26	11	28	28	≤20	≤20	≤20
Мідь, мг/дм ³	0,05	0,07	0,08	0,07	0,014	0,01	0,01	0,08	0,004	0,012	1	1	1
Марганець, мг/дм ³	0,036	0,07	0,045	0,11	0,028	0,1	0,1	0,09	0,03	0,09	0,1	-	0,01
Азот нітратний, мг/дм ³	3,9	1,7	1,6	0,99	1,64	1,19	2,7	18,6	1,11	4,48	50	45	9
Азот нітритний, мг/дм ³	0,32	0,18	0,014	0,4	0,38	0,26	0,7	0,61	0,13	1,12	≤0,5	3,3	0,02
Сульфати, мг/дм ³	30	43,4	50,6	50,3	58,6	62,5	71,2	68,4	43,8	141,2	250	500	100
Фосфор, мг/дм ³	0,062	0,48	0,27	0,51	0,26	1,84	2,9	2,55	0,95	2,32	3,5	3,5	-
Хлориди, мг/дм ³	45,5	39,2	40,4	72,3	47,7	59,8	41,1	59,3	43	87,8	250	200	300

* - сформовано автором на основі отриманих результатів досліджень

За формулою (1) нами було розраховано коефіцієнт забрудненості χ [19, 20]. Як основні приймаються такі показники забрудненості з відповідною ранговою послідовністю (i): БСК₅ (i = 1); NH₄⁺ (i = 2); нафтопродукти (i = 3); O₂ (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 забрудненості водного середовища (табл. 5). Розраховані значення перевищень ГДК наведені у таблиці 6.

пертно або за співвідношенням N_i / C_{i,d}. В залежності від значення коефіцієнта χ складено атестаційну шкалу по оцінці ступеня забрудненості водного середовища (табл. 5). Розраховані значення перевищень ГДК наведені у таблиці 6.

Таблиця 5 – Інтегральна оцінка ступеня забрудненості водного середовища

Table 5 – Integral assessment of the degree of pollution of the aquatic environment

Коефіцієнт забруднення вод χ	Якісна оцінка ступеня забрудненості
До 1,00	Нешкідлива (чиста)
1 – 1,99	Мала
2 – 2,99	Припустима
3 – 3,99	Істотна
4 – 5,00	Інтенсивна
Більш 5,00	Катастрофічна

Таблиця 6 – Інтегральна оцінка ступеня забрудненості водного середовища на досліджуваних річках за різними нормативами якості

Table 6 – Integral assessment of the degree of pollution of the aquatic environment on the studied rivers according to different quality standards

За нормативами якості поверхневих вод питних потреб		
Пункти спостережень	Коефіцієнт забруднення (χ)	Якісна оцінка ступеня забрудненості
р. Снивода (с. Мар'янівка)	2,83	Припустима
р. Десна (с. Збараж)	4,82	Інтенсивна
р. Соб (с-ще. Ксаверівка)	1,53	Мала
р. Удич (с. Хмарівка)	<1	Чиста
р. Устя (с. Медвежа)	1,94	Мала
р. Рудка (с. Ситківці)	4,62	Інтенсивна
р. Південний Буг (м. Вінниця)	3,11	Істотна
р. Південний Буг (м. Ладижин)	3,4	Істотна
р. Південний Буг (м. Хмільник)	3,1	Істотна
р. Південний Буг (с. Ставки)	5,08	Катастрофічна
За нормативами якості поверхневих вод рибогосподарського призначення		
Пункти спостережень	Коефіцієнт забруднення (χ)	Якісна оцінка ступеня забрудненості
р. Снивода (с. Мар'янівка)	2,13	Припустима
р. Десна (с. Збараж)	2,11	Припустима
р. Соб (с-ще. Ксаверівка)	1,66	Мала
р. Удич (с. Хмарівка)	3,95	Істотна
р. Устя (с. Медвежа)	1,95	Мала
р. Рудка (с. Ситківці)	8,26	Катастрофічна
р. Південний Буг (м. Вінниця)	6,63	Катастрофічна
р. Південний Буг (м. Ладижин)	8,43	Катастрофічна
р. Південний Буг (м. Хмільник)	2,12	Припустима
р. Південний Буг (с. Ставки)	5,08	Катастрофічна

Продовження табл. 6

Table 6 - Continued

За нормативами якості поверхневих вод культурно-побутового та рекреаційного призначення		
Пункти спостережень	Коефіцієнт забруднення (χ)	Якісна оцінка ступеня забрудненості
р. Снивода (с. Мар'янівка)	4,59	Інтенсивна
р. Десна (с. Збараж)	1,62	Мала
р. Соб (с-ще. Ксаверівка)	<1	Чиста
р. Удич (с. Хмарівка)	1,69	Мала
р. Устя (с. Медвежа)	3,87	Істотна
р. Рудка (с. Ситківці)	<1	Чиста
р. Південний Буг (м. Вінниця)	1,15	Мала
р. Південний Буг (м. Ладижин)	3,02	Істотна
р. Південний Буг (м. Хмільник)	1,23	Мала
р. Південний Буг (с. Ставки)	1,21	Мала

4. ВИСНОВОК

За результатами інтегральної оцінки ступеня забрудненості водного середовища, якість води у басейні р. Південний Буг, відповідно до рибогосподарських нормативів, оцінюється у чотирьох водозборах як катастрофічна (р. Рудка, р. Південний Буг (м. Вінниця), р. Південний Буг (м. Ладижин), р. Південний Буг (м. Хмільник), р. Південний Буг (с. Ставки)). Це пов'язано з тим, що створи відбору проб води охоплювали місця поблизу промислових підприємств та сільськогосподарських угідь. Зокрема, у м. Вінниця це КП «Вінницяоблводоканал», Сабарівська ГЕС, фабрика «Roshen» (біля фонтанів); у м. Ладижин - Ладижинська ТЕС та комбінат комунальних підприємств; у м. Хмільник – центр міста. У с. Ставки – річка протікає поблизу угідь. За рахунок цього води зазнають забруднення даними хімічними речовинами, які потрапляють до річок разом зі стічними водами та стоками з прибережних зон.

За питними нормативами води відносяться здебільшого до інтенсивного забруднення, подекуди до катастрофічного стану. Лише у річках Соб, Удич та Устя якісна оцінка ступеня забрудненості є малою.

За нормативами культурно-побутового та рекреаційного призначення води належать здебільшого до чистих та мало забруднених, але у двох місцях спостерігаємо інтенсивний ступінь забрудненості (р. Устя та р. Південний Буг (м. Ладижин)). У даних місцях отримані значення нам вказують на те, що води зазнають забруднення хімічними речовинами, які потрапляють до них з підприємств.

Зміна показників якості води може бути зумовлена акумуляцією забруднювальних речовин

на ділянках дослідження, зокрема поблизу сільськогосподарських угідь та недалеко від місць, де відбувається скид стічних вод.

Для того, щоб покращити стан басейну річки Південний Буг, потрібно розпочати упорядкування та охорону малих річок. Насамперед потрібно:

- реконструювати наявні чи побудувати нові очисні споруди, особливо на підприємствах, що розміщені на притоках р. Південний Буг;
- контролювати та повністю припинити неочищені скиди побутових вод приватними господарствами;
- приводити в належний стан прибережні водозахисні смуги та водозабірні території;
- дотримуватися чинного законодавства у галузі охорони водних об'єктів та природного середовища загалом [21].

В перспективі автор має на меті розробити просторову модель (з використанням ГІС), яка відобразить ступінь антропогенної трансформації басейнової системи річки Південний Буг за категоріями та класами якості вод за окремими блоками та групами гідрохімічних показників.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шищенко П. Г. Транскордонний регіон як об'єкт комплексного ландшафтознавчого вивчення проблем природокористування. *Український географічний журнал*. 2014. № 1. С. 65-67.
2. Штойко І. П. Антропогенний вплив на деградацію структури рівнинних та гірських річкових систем басейну Дніпра. *Проблеми гірського ландшафтознавства*. 2014. Вип. 1. С. 82-86.
3. Вінницьке регіональне управління водних ресурсів. Аналіз забезпечення водними ресурсами населення і галузей економіки 2015. URL: <https://buvrpb.davr.gov.ua/vodni-resursy/analiz->

- zabezpechennia-vodnymy-resursamy-naseleння-i-haluzei-ekonomiky (дата звернення: 8.08.2021).
4. Кирилюк О. В. Історія становлення басейнового підходу у географії та екологічному руслознавстві. *Наук. вісник Вінницьк. держ. пед. ун-ту ім. Михайла Коцюбинського. Серія: Географія*. Вип. 14. С. 40-47. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=F&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRNnatural/Nzvdpu_geogr (дата звернення: 1.10.2021).
 5. Ліхо О. А., Бондарчук І. А. Удосконалення методики оцінки екологічного стану басейнів малих річок: збірник матеріалів II Всеукраїнського з'їзду екологів з міжнародною участю. Вінниця, 2010. URL: <http://eco.com.ua/content/udoskonalennya-metodiki-otsinkiekologichnogo-ctanu-baseiniv-malikh-richok> (дата звернення: 26.09.2021).
 6. Басейн річки як геосистема. URL: <https://kegt-rshu.in.ua/images/dustan/avnpe4.pdf> (дата звернення: 26.08.2021).
 7. Глазовская М. А. Принципы классификации природных геосистем по устойчивости и техногенеза и прогнозное ландшафтно-геохимическое районирование. *Устойчивость геосистем*. Москва : Наука, 1983. С. 61-77.
 8. Нетробчук І. Оцінка антропогенного навантаження та екологічної збалансованості ландшафтів річкової долини верхньої Прип'яті в межах Волинської області. *Наук. вісн. Чернів. ун-ту. Чернівці. Географія*. 2012. Вип. 612-613. С. 133-137.
 9. Денисюк Г. І., Любченко В. Є. Простори Вінничинни. Вінниця: ЕкоБізнесЦентр, 1999. 96 с.
 10. Денисюк Г. І. Сучасні антропогенні ландшафти річища Південного Бугу. *Український географічний журнал*. 2011. С. 33-37.
 11. Исаченко Г. А. Методы полевых ландшафтных исследований и ландшафтно-экологическое картографирование. СПб: Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 1999. 112 с.
 12. Основи ландшафтно-екології / Гродзинський М. Д., Давиденко В. А., Білявський Г. О. та ін. Київ : Либідь, 2007. 224 с.
 13. Гродзинський М. Д. Стійкість геосистем до антропогенних навантажень. Київ: Лікей, 1995. 233 с.
 14. Малишева Л. Л. Методи геоекологічних досліджень. Київ, 1999. 222 с.
 15. Пласкальний В. В. Теоретико-прикладні основи визначення стану та оцінювання стійкості геосистем в умовах антропогенного тиску. *Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна, № 1140. Серія «Екологія»*. 2014. Вип. 11. С. 83-89.
 16. Курлова З., Слободянюк Т., Руда В. Методика комплексних польових географічних досліджень (відділення наук про Землю): навч.-метод. видання. Київ, 2018. 36 с.
 17. Клименко М. О., Прищеп А. М., Вознюк Н. М. Моніторинг довкілля : підручник. Київ : Академія, 2006. 360 с.
 18. Про затвердження Інструкції з відбирання, підготовки проб води і ґрунту для хімічного та гідробіологічного аналізу гідрометеорологічними станціями і постами. *Відомості Верховної Ради України*. 2016. № v0030388-16.
 19. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / Романенко В. Д., Жукинський В. М., Оксюк О. П. та ін. Київ : Символ-Т, 1998. 28 с.
 20. Гігієна та екологія : підручник / В. Г. Бардов, С. Т. Омельчук, Н. В. Мережкіна та ін. ; за заг. ред. В. Г. Бардова. Вінниця : Нова Книга, 2020. 472 с.
 21. Ганущак М. М., Тарасюк Н. А. Оцінка якості поверхневих вод басейну р. Стир. Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія: наук. збірник. 2015. Т.1(36). С.110–118.

REFERENCES

1. Shyshchenko, P.H. (2014). Transkordonnyi rehion yak ob'ekt kompleksnoho landshaftoznavchoho vyvchennia problem pryrodokorystuvannia [Cross-border region as an object of complex landscape study of environmental problems]. *Ukrainian Geographical Journal*, 1, pp. 65-67. (in Ukr.)
2. Shtoiiko, I.P. (2014). Antropohenniy vplyv na dehradatsiiu struktury rivnynykh ta hirs'kykh richkovykh system baseinu Dnipro [Anthropogenic impact on the degradation of the structure of plain and mountain river systems of the Dnieper basin]. *Problemy hirs'koho landshaftoznavstva [Problems of mountain landscape science]*, 1, pp. 82-86. (in Ukr.)
3. Vinnytske rehionalne upravlinnia vodnykh resursiv. Analiz zabezpechennia vodnymy resursamy naseleння i haluzei ekonomiky 2015 [Vinnytsia Regional Department of Water Resources. Analysis of the provision of water resources to the population and sectors of the economy 2015]. Available at: <https://buvrpb.davr.gov.ua/vodni-resursy/analiz-zabezpechennia-vodnymy-resursamy-naseleння-i-haluzei-ekonomiky> (Accessed: 8.08.2021). (in Ukr.)
4. Kyryliuk, O.V. Istorii stanovlennia baseinovoho pidkhodu u heohrafiі ta ekolohichnomu rusloznnavstvi [History of formation of the basin approach in geography and ecological channel science]. *Science Extracts of the Mykhailo Kotsyubynsky Vinnytsia state ped. un-ty. Series: Geography*, 14, pp. 40-47. (in Ukr.)
5. Likho, O.A. & Bondarchuk, I.A. (2010). Udoskonalennia metodyky otsinky ekolohichnoho stanu baseiniv malykh richok [Improvement of methods for assessing the ecological status of small river basins]. *Collection of materials of the II All-Ukrainian Congress of Ecologists with international participation. Vinnytsia*. URL: <http://eco.com.ua/content/udoskonalennya-metodiki-otsinkiekologichnogo-ctanu-baseiniv-malikh-richok> (Access date: 26.09.2021). (in Ukr.)
6. Basein richky yak heosystema. [River basin as a geosystem]. Available at: <https://kegt-rshu.in.ua/images/dustan/avnpe4.pdf> (Accessed: 26.08.2021). (in Ukr.)
7. Glazovskaya, M.A. (1983). Printsipy klassifikatsii prirodnykh geosystem po ustoychivosti i tekhnogeneza i prognoznoe landshaftno-geokhimicheskoe rayonirovanie. *Ustoychivost geosistem [Principles of classification of natural geosystems by stability and technogenesis and predictive landscape-geochemical zoning. Stability of geosystems]*. Moscow: Science, pp. 61-77. (in Russ.)
8. Netrobchuk, I. (2012). Otsinka antropohennoho navantazhennia ta ekolohichnoi zbalansovanosti landshaftiv richkovoі dolyny verkhnoi Prypiati v mezhakh Volynskoi oblasti [Assessment of anthropogenic load and ecological balance of the landscapes of the river valley of the upper Pripjat within the Volyn region]. *Science bulletin of the Cherniv. un-ty, Geography*, 612-613, pp. 133-137. (in Ukr.)
9. Denysyk, H.I. & Liubchenko, V.Ie. (1999). Prostory Vinnychynny [Spaces of Vinnytsia region]. *Vinnytsia: EkoBiznesTsentr*. (in Ukr.)

10. Denysyk, H.I. (2011). Suchasni antropohenni landshafty richyshcha Pivdennoho Buhu [Modern anthropogenic landscapes of the Southern Bug riverbed]. *Ukrainian Geographical Journal*, pp. 33-37. (in Ukr.)
11. Isachenko, H.A. (1999). *Metody polevykh landshaftnykh issledovaniy i landshafino-ekologicheskoe kartografirovaniy [Field landscape research methods and landscape-ecological mapping]*. St. Petersburg: Publishing house of St. Petersburg University. (in Russ.)
12. Hrodzynskiy, M.D., Davydenko, V.A., Biliavskiy, H.O. et al. (2007). *Osnovy landshaftnoi ekolohii [Fundamentals of landscape ecology]*. Kyiv: Lybid. (in Ukr.)
13. Hrodzynskiy, M.D. (1995). *Stiikist heosystem do antropohennykh navantazhen [Resistance of geosystems to anthropogenic loads]*. Kyiv: Likei. (in Ukr.)
14. Malysheva, L.L. (1999). *Metody heoekologichnykh doslidzhen [Methods of geoecological research]*. Kyiv. (in Ukr.)
15. Plaskalnyi, V.V. (2014). Teoretyko-prykladni osnovy vyznachennia stanu ta otsiniuvannia stiikosti heosystem v umovakh antropohennoho tysku [Theoretical and applied bases of determination of a condition and estimation of stability of geosystems in the conditions of anthropogenic pressure]. *Visnyk of VN Karazin KhNU, № 1140. Series "Ecology"*, 11, pp. 83-89. (in Ukr.)
16. Kurlova, Z., Slobodianiuk, T. & Ruda, V. (2018). *Metodyka kompleksnykh polovykh heohrafichnykh doslidzhen (viddilennia nauk pro Zemliu): navch.-metod vydannia [Methods of complex field geographical research (Department of Earth Sciences): teaching method. edition.]*. Kyiv. (in Ukr.)
17. Klymenko, M.O., Pryshchepa, A.M. & Vozniuk, N.M. (2006). *Monitorynh dovkillia [Environmental monitoring]*. Kyiv : Akademiia.. (in Ukr.)
18. On approval of the Instruction on sampling, preparation of water and soil samples for chemical and hydrobiological analysis by hydrometeorological stations and posts. (2016) *Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine. № v0030388-16.* (in Ukr.)
19. Romanenko, V.D., Zhukynskiy V.M., Oksiiuk O.P. et al. (1998). *Metodyka ekolohichnoi otsinky yakosti poverkhnevyykh vod za vidpovidnyy katehoriiamy [Methods of ecological assessment of surface water quality by relevant categories]*. Kyiv: Symvol-T. (in Ukr.)
20. Bardov, V.H., Omelchuk, S.T. & Merezhkina, N.V. (2020). Hihiiena ta ekolohiia [Hygiene and ecology]. Vinnytsia : Nova Knyha. (in Ukr.)
21. Hanushchak, M.M. & Tarasiuk, N.A. (2015). *Otsinka yakosti poverkhnevyykh vod baseinu r. Styr. [Quality assessment of surface waters of the Styr river basin]. Hidrolohiia, hidrokhiimiia, hidroekolohiia: Nauk. Zbirnyk [Hydrology, hydrochemistry, hydroecology: Science Collection],1(36), pp.110–118.* (in Ukr.)

WATER QUALITY ASSESSMENT OF THE RIVERS OF THE SOUTHERN BUH BASIN WITHIN VINNYTSIA REGION AS PER INTEGRAL INDICATOR OF POLLUTION

Ya. I. Zalizniak

*Uman National University of Horticulture,
1, Institutskaya St., 20300, office 59, Uman, Ukraine, yana.bezusiak@gmail.com*

Vinnytsia Region is a region of Ukraine that attracts people by its nature from ancient times to the present day and is subject to various active economic development efforts. Natural water (aquatic) objects such rivers, lakes, as well as their floodplains and watersheds, are among the ones that are intensively affected by human activities. Therefore, the author chose the basin of the Southern Buh River within Vinnytsia Region for establishing a degree of anthropogenic transformation in the river itself and for determining the state of its left tributaries.

The paper highlights the results of field and laboratory studies of chemical and organoleptic state of water of the Southern Buh and its tributaries. The study of the Southern Buh Basin was conducted within Vinnytsia Region, as it is a region of early agricultural development and it has a large number of enterprises of various industries on its territory. Since the basin occupies a large area of Vinnytsia Region, it was reasonable to explore the main tributaries of the Southern Buh flowing through the main localities, and to identify the required sampling points.

Currently, the problem of ensuring rational use of water resources is severe because of such factors as growth of water consumption, irrational use of natural resources, excessive and uncontrolled economic activity. All these factors lead to disruption of relations within geosystems, degradation of natural components and decrease of natural resources productivity. Therefore, the study of a degree of anthropogenic transformation of landscape complexes, including geosystems, allows identification of a possibility to reverse anthropogenic changes and display intensity and tendencies of natural processes after transformation of the complexes, as well as display of ability of natural components of the landscape to self-restore. All these components are necessary for field researches and form a basis for the author's research.

The aim of the research is to conduct an assessment of the ecological status of surface waters, which serves as one of components of the general status of water bodies, as well as to determine their chemical status based on concentrations of high-priority hazardous pollutants. It establishes the fact that the quality of surface waters of the basin depends on a degree of pollution of water

bodies that are subject to economic activity affecting the transformation of the basin system.

Keywords: geosystem; river basin; the Southern Buh; anthropogenic transformation; hydrochemical data; water quality

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОД ПО ИНТЕГРАЛЬНОМУ ПОКАЗАТЕЛЮ ЗАГРЯЗНЕНИЯ В РЕКАХ БАСЕЙНА ЮЖНОГО БУГА В ПРЕДЕЛАХ ВИННИЦКОЙ ОБЛАСТИ

Я. И. Зализняк

*Уманский национальный университет садоводства,
ул. Институтская, 1, корпус № 1, каб. 59, Умань, Украина, yana.bezussyak@gmail.com*

Винницкая область является тем регионом Украины, который с давних времен и до сегодняшнего дня привлекает своей природой людей и испытывает активные разносторонние хозяйственные освоения. Особенно активно подвергаются воздействию со стороны человека водные (аквальные) натуральные объекты - реки, озера, а также их поймы и водоемы. Поэтому автором было выделено бассейн реки Южный Буг в пределах Винницкой области для установления степени антропогенной трансформации непосредственно в самой реке и выяснить состояние ее левых приток.

В данной работе отражены результаты проведения полевых и лабораторных исследований химического и органолептического состояния воды Южного Буга и его приток. Исследование бассейна Южного Буга проводилось в пределах Винницкой области, поскольку она является регионом старого сельскохозяйственного освоения, а на ее территории находится большое количество предприятий различных отраслей. Так как бассейн занимает большую площадь Винницкой области, то целесообразным было исследовать основные притоки Южного Буга, которые охватывают главные районы, где они протекают и выделить необходимые нам точки отбора проб.

Сейчас остро стоит проблема обеспечения рационального использования водных ресурсов в связи с возрастанием объемов водопотребления, нерационального природопользования и чрезмерной и неконтролируемой хозяйственной деятельности; всё это становится причиной нарушения взаимосвязей в геосистемах, что ведет к деградации природных компонентов и уменьшает производительность природных ресурсов. Поэтому исследования степени антропогенной трансформации ландшафтных комплексов, в том числе геосистем, позволяет отразить возможность возвратности антропогенных изменений, интенсивность и направленность природных процессов после трансформации комплексов, а также способность к самовосстановлению природных компонентов ландшафта. Все эти составляющие являются необходимыми при проведении полевых исследований и положены в основу работы автора.

Целью работы является оценка экологического состояния поверхностных вод как составляющей общего статуса водных объектов, так и определение химического статуса по концентрациям приоритетных опасных загрязняющих веществ. Установлено, что качество поверхностных вод бассейна зависит от степени загрязненности водных объектов, подвергающихся хозяйственной деятельности.

Ключевые слова: геосистема; речной бассейн; Южный Буг; антропогенная трансформация; гидрохимические данные; качество воды.

*Подання до редакції : 25. 08. 2021
Надходження остаточної версії : 02. 11. 2021
Публікація статті : 26. 11. 2021*

УДК 556.531

ОЦІНКА ЗМІН ВОДНИХ РЕСУРСІВ ГІРСЬКОГО ДНІСТРА У XXI СТОРІЧЧІ ЗА СЦЕНАРИЄМ RCP8.5 НА ОСНОВІ МОДЕЛІ «КЛІМАТ-СТІК»

Н. С. Лобода, М. О. Козлов, І. В. Катинська

Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, natalie.loboda@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0002-0794-9951>
<https://orcid.org/0000-0001-9152-0471>

Актуальність роботи полягає в необхідності оцінки змін можливого стану водних ресурсів Гірського Дністра в результаті глобального потепління. Гірська частина басейну Дністра є зоною формування стоку і визначає водність усієї річки. Об'єктом досліджень є процес кліматичних змін та їх вплив на водні ресурси водозборів Гірського Дністра. Предметом досліджень є визначення змін водних ресурсів у сучасних та можливих у майбутньому кліматичних умовах, представлених кліматичними сценаріями.

Метою роботи є оцінка змін водних ресурсів гірської частини водозбору р. Дністер у сучасності та майбутньому до середини XXI сторіччя (2021-2050 рр.) на базі моделі «клімат-стік» з використанням даних метеорологічних спостережень (до 2018 р. включно) і сценарних даних (осереднені дані по 14 математичним моделям проекту CORDEX сценарію RCP8.5).

Виконані оцінки ресурсів зволоження, тепла (теплоенергетичного еквіваленту) та водних ресурсів для сучасних (1989-2018 рр.) та сценарних (RCP8.5, 2021-2050 рр.) кліматичних умов на основі застосування моделі «клімат-стік». Теоретичною основою розрахунків природного (непорушеного водогосподарською діяльністю) річного стоку у цій моделі є рівняння водно-теплогового балансу. Вхідними даними слугують метеорологічні характеристики (середні місячні температури повітря та опади). Стік, розрахований за рівнянням водно-теплогового балансу, називається кліматичним. Особливістю досліджень є використання закону вертикальної зональності у розподілі стоку та кліматичних чинників його формування. Базовою залежністю під час порівняльного аналізу слугувала залежність норм річного стоку від висоти місцевості для Гірського Дністра, наведена у сучасних нормативних документах. Ця залежність відображає розподіл стоку з висотою для кліматичних умов, які передують значущому впливу глобального потепління на температурний режим повітря (до 1989 р.).

Аналіз залежностей середніх багаторічних значень річного стоку від висоти місцевості показав, що зміни стоку за два розглянутих періоди (до та після 1989 року) знаходяться у межах $\pm 12,3\%$. Аналіз графіків хронологічного ходу річних витрат води на гірських притоках Дністра дозволив зробити висновки про відсутність статистично значущих тенденцій у їх коливаннях.

За кліматичним сценарієм RCP8.5 у період 2021-2050 рр. згідно з результатами розрахунків на базі моделі «клімат-стік» отримані залежності середніх багаторічних величин кліматичних чинників та кліматичного стоку від висоти місцевості. Виявлено, що із зростанням висоти наслідки глобального потепління зменшуються. У передгір'ї (до висоти 200 м) річні суми опадів зменшуються (до 11%), максимально можливе випаровування зростає (до 17%), водні ресурси зменшуються (до 46%). На висотах вищих за 800 м зростання ресурсів тепла та зменшення водних ресурсів припиняється. Середнє за розрахунковий період відхилення сценарних та базових значень для опадів буде становити 2,41% для опадів, 5,79% – для максимально можливого випаровування, 8,87% – для водних ресурсів. Таким чином, зменшення водних ресурсів гірської частини Дністра до середини XXI сторіччя буде несуттєвим. При оцінці сучасного стану водних ресурсів Гірського Дністра також не виявлено суттєвих змін, що відповідає даним інших авторів.

Ключові слова: вплив змін клімату на водні ресурси; модель «клімат-стік»; кліматичні сценарії; Гірський Дністер.

1. ВСТУП

Стаття присвячена оцінюванню можливих змін водних ресурсів гірської частини водозбору Дністра в результаті глобального потепління. Правобережні притоки Дністра, які беруть початок зі схилів Українських Карпат, утворюють зону формування стоку річки Дністер у цілому.

Середня та нижня течії Дністра відносяться до зони використання стоку, де внесок об'ємів води від приток у загальний стік річки Дністер незначний. У зв'язку із цим моніторинг сучасних змін водних ресурсів Гірського Дністра та їхні оцінки у майбутньому є дуже важливими для розроблення стратегії управління басейном річки у XXI сторіччі згідно із задачами Водної Рамкової Директиви [1, 2]. Серед стратегічних напрямів дій у басейні Дністра на найближчі роки (2020-2035 рр.) зазначено “пом'якшення наслідків змін клімату та природних катастроф”, а також “просування принципів раціонального використання водних ресурсів” [3]. Виявлені в ході імплементації завдань Водної Рамкової Директиви ризики недосягнення доброго екологічного статусу водних об'єктів України показали, що посилення дефіциту водних ресурсів в умовах зростання посушливості клімату може призвести до зменшення кількості та погіршенню якості вод [4] і тим самим створити екологічну небезпеку для соціуму, економіки та довкілля [5]. До числа неповністю розв'язаних задач сучасності відноситься наукове обґрунтування стану водних ресурсів гірського Дністра за даними кліматичних та гідрологічних моделей.

Об'єктом досліджень є процес кліматичних змін та їх вплив на водні ресурси водозборів. *Предметом* дослідження є визначення змін водних ресурсів у сучасних та можливих у майбутньому кліматичних умовах, представлених кліматичними сценаріями.

Метою роботи є оцінка змін водних ресурсів гірської частини водозбору р. Дністер у сучасності та до середини XXI сторіччя (2021-2050 рр.) на базі моделі «клімат-стік» з використанням даних метеорологічних спостережень й даних осередненого за 14 моделями проекту CORDEX сценарію RCP8.5.

2. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

У дослідженнях В.І. Вишневського та О.О. Донич [6] відзначається, що у період з 1961 по 2019 рр. середня річна температура повітря Українських Карпат зросла на 2 градуси на фоні

мало змінних опадів. Авторами встановлено, що суттєвих змін річного стоку річного стоку за розглядуваний період не відбулося, що пояснюється переважаючим внеском опадів у формування стоку.

В роботі Овчарук В.А. [7] на основі використання гідрометеорологічних даних до 2010 р. включно встановлено існування стійкої тісної кореляційної залежності максимальних запасів води у сніговому покриві перед початком весняного водопілля та шарів стоку за період весняного водопілля рідкої повторюваності від середньої висоти водозборів річок Гірського Дністра.

Кількісна характеристика змін максимального стоку по десятиріччях надана в роботі вчених ЄС, включаючи Горбачову Л.О. та Овчарук В.А. [8], де показано, що на території Українських Карпат зменшення максимального стоку у середньому становить “мінус” 10-15% на десятиріччя, якщо розглядати період 1960-2010 рр.

Пошук статистично значущих трендів у коливаннях місячних максимумів стоку річок Гірського Дністра дозволив установити відсутність стійких тенденцій до їх зменшення або зростання на початку XXI сторіччя [9].

Прогнози змін водних ресурсів України на 2041-2070 рр. та 2071-2100 рр. для восьми основних басейнів України на базі шести глобальних кліматичних моделей (GHMs) сценаріїв RCP2.6 та RCP8.5 наведені в роботі [10]. У межах Українських Карпат очікується зменшення річних сум опадів у межах 10% на періоди 2041-2040 рр. та 2071-2100 рр. (сценарій RCP2.6). Для сценарію RCP8.5 очікувані зміни становитимуть “мінус” 10% у період 2041-2040 рр. та “мінус” 5% у період 2071-2100 рр. (сценарій RCP8.5). Зростання температур повітря буде знаходитися у межах 2,0-2,5 градуси для обох періодів сценарію RCP2.6. Згідно із сценарієм RCP8.5 у період 2041-2070 рр. температура повітря може зрости на 2,0-2,5 градусів, а у період 2071-2100 рр. – на 4-5 градусів. Прогноз зміни водних ресурсів наданий за математичною моделлю WaterGAP2 для річки в цілому: очікується зменшення водних ресурсів на 25% за сценарієм RCP2.6 та на 30% за сценарієм RCP8.5.

Прогнози змін регіональних паводків Прута та Тиси були надані на базі екогідрологічної моделі SWIM з використанням на вході п'ятьох моделей загальної циркуляції (GCM) для траєкторії RCP4.5 і шістьох для траєкторії RCP8.5 у роботі [11] для періоду 2070-2100 рр., який порі-

внювався із базовим періодом 1981-2010 рр. Розглядалися середні значення максимальних паводків за 30-ти річний період 98% і 95% забезпеченості. За траєкторією RCP4.5 отримані результати, які указують на збільшення рівня паводків від 4,5% до 62% у басейні Тиси, і в Пруті – від 11% до 22%. Тенденції помірного зменшення на 8-9% були виявлені лише в одному випадку з п'яти прогнозів. Для траєкторії RCP8.5 результати характеризуються більшою невизначеністю: два з шести прогнозів свідчать про зменшення (до 22%), три – про збільшення (до 93-99%), а на одному спостерігаються незначні зміни.

3. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

У даній роботі використані матеріали експерименту CORDEX – Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment, створеного Всесвітньою програмою досліджень клімату для формування ансамблю прогностичних регіональних кліматичних моделей CMIP5 [12]. Усього розглянуто 14 кліматичних моделей, в яких реалізовані траєкторії RCP8.5. Розрахунковий період становить 30 років (2021-2050 рр.). На вході у модель «клімат-стік» використані осереднені за 14 моделями метеорологічні дані (місячні та річні температури повітря та суми опадів). Застосування даних осередненої моделі дозволяє отримати осереднений варіант, у якому “нівелиються” похибки, виявлені для окремо розглянутих моделей.

Оцінки кліматичного стоку надавалися у вузлах координатної сітки, положення яких відповідає координатам метеостанцій гірської частини Дністра (загальне число дорівнює 72).

Модель «клімат-стік» складається з двох частин. Перша частина призначена для розрахунків характеристик природного (непорушеного водогосподарської діяльністю річного стоку) на базі метеорологічних даних. Теоретичною основою моделювання є рівняння водно-теплового балансу водозбору у модифікації В.С. Мезенцева [13], адаптоване для умов України [14]. Друга частина моделі «клімат-стік» призначена для моделювання побутового (перетвореного водогосподарської діяльністю) стоку. Результати застосування цієї частини моделі до розрахунків водних ресурсів України за сценаріями глобального потепління були оприлюднені у міжнародних виданнях ще наприкінці 90-х років минулого століття [15]. Теоретичною основою цієї частини моделі клімат-стік є рівняння водогосподарських балансів водозбору, які представлені у ймовірнісному виді [16].

Диференціальне рівняння водно-теплового балансу ділянки суші має такий вигляд

$$\frac{\partial \beta_E}{\partial \beta_{H_X}} + \frac{\partial \beta_Y}{\partial \beta_{H_X}} = 1, \quad (1)$$

де

$$\beta_{H_X} = \frac{H_X}{E_m}; \quad \beta_E = \frac{E}{E_m}; \quad \beta_Y = \frac{Y}{E_m}, \quad (2)$$

де H_X – характеристика ресурсів зволоження; E_m – характеристика ресурсів тепла, так званий «теплоенергетичний еквівалент» або «максимально можливе випаровування»;

E – випаровування з поверхні суші;

Y – стік з ділянки суші.

Результуюче рівняння водно-теплового балансу, отримане в результаті наближеного вирішення рівняння (1) записується у такий спосіб

$$Y = H - E_m \left[1 + \left(\frac{H}{E_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}, \quad (3)$$

де n – параметр, який інтегрує вплив фізико-географічних умов на формування стоку.

Під характеристикою зволоження H розуміють опади X , які випадають за розрахунковий період та зміни запасів вологи $w_1 - w_2$ в ґрунті $H_X = X + w_1 - w_2$.

Максимально можливе випаровування E_m визначається через прибуткові складові теплового балансу поверхні суші, через що ця характеристика випаровування отримала назву «теплоенергетичного еквіваленту». «Теплоенергетичний еквівалент» являє собою шар води, який міг би випаритися з поверхні суші, якби на процес випаровування були витрачені усі теплоенергетичні ресурси клімату

$$E_m = \frac{R^+ + P^+ + (B_1 - B_2)}{L}, \quad (4)$$

де R^+ – позитивна (прибуткова) частина радіаційного балансу; P^+ – позитивна(прибуткова) складова турбулентного теплообміну або тепло, яке надходить на ділянку суші у 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;

LE – витрата тепла на випаровування.

Різниця $w_1 - w_2$, яка являє собою зміну вологовмісту розрахункового шару ґрунту, приймає істотні додатні та від'ємні значення для розрахункових інтервалів часу, розглянутих у межах року. Для багаторічного періоду, коли виконується умова

$$w_1 - w_2 = 0, \quad (5)$$

є справедливим запис

$$\bar{Y} = \bar{X} - \bar{E}_m \left[1 + \left(\frac{\bar{X}}{\bar{E}_m} \right)^{-n} \right]^{\frac{1}{n}}, \quad (6)$$

де $\bar{Y}, \bar{X}, \bar{E}_m$ – середні багаторічні величини річного стоку, опадів та теплоенергетичного еквівалента, відповідно; n – параметр, який інтегрує вплив фізико-географічних умов на формування стоку і приймається рівним 3;

Для багаторічного періоду виконується умова

$$B_1 - B_2 = 0, \quad (7)$$

що дозволяє прийняти

$$E_m = \frac{R^+ + P^+}{L}. \quad (8)$$

Для території України через обмежену кількість актинометричних станцій Є.Д. Гопченком та Н.С. Лободою розроблена залежність середніх багаторічних величин максимально можливого випаровування від температур повітря [17]

$$\bar{E}_m = 13,3 \sum_{\nu} \frac{IX}{T_M} - 307, r = 0,94; \quad (9)$$

де \bar{E}_m – середня багаторічна величина (норма) максимально можливого випаровування;

$\sum_{\nu} \frac{IX}{T_M}$ – сума норм середніх місячних температур повітря за літній період (із травня по вересень, включно); r – коефіцієнт кореляції, який характеризує тісноту кореляційного зв'язку між значеннями максимально можливого випаровування та температурами повітря.

Норма річного стоку \bar{Y} , розрахована за (6), визначається кліматичними чинниками формування стоку – нормою річних опадів \bar{X} й

нормою максимально можливого випаровування \bar{E}_m , які підкоряються закону географічної зональності та представляються у вигляді карт ізоліній. Величини стоку, розраховані за метеорологічними даними з використанням рівнянь (3) або (6), отримали назву «кліматичного». Норма кліматичного стоку, отримана за рівнянням (6), у подальшому позначена як \bar{Y}_K . Порівняння норм річного кліматичного стоку із фактичними (спостереженими) даними для водозборів річок України із стійким підземним живленням показало задовільну узгодженість цих величин. Установлено, що норма річного кліматичного стоку є тотожною нормі зонального природного річного стоку. Точність визначення норми річного кліматичного (зонального) стоку за картою ізоліній, побудованою на основі метеорологічних даних, становить $\pm 10\%$ [18].

Метод водно-теплогового балансу був успішно використаний автором даного дослідження [19] для розроблення методики визначення середніх багаторічних величин річного стоку за метеорологічними даними для гірських територій. Нею найбільш детально була досліджена добре вивчена у гідрологічному відношенні територія гірської частини річки Дністер, яка відноситься до Прикарпатського гідрологічного району [20]. Лободою Н.С. було встановлено, що в межах цього району поле річного стоку є однорідним та ізотропним. Автокореляційний зв'язок між річним стоком суміжних років визнаний незначним: коефіцієнт автокореляції $r(1)$ дорівнює 0,149. Також було виявлено, що просторова мінливість коефіцієнту варіації C_v річного стоку на території Гірського Дністра слабо виражена і цей статистичний параметр може бути осередненим і прийнятим рівним 0,31 [14]. Для Гірського Дністра відношення коефіцієнту асиметрії до коефіцієнту варіації C_s / C_v рекомендується приймати рівним 2.

За допомогою методів багатовимірної статистичного аналізу (факторного та головних компонент) було виявлено, що оптимальним предиктором при розрахунках річного стоку з водозборів Українських Карпат є висота місцевості. Саме висота місцевості характеризується найбільш тісним кореляційним зв'язком з ваговими навантаженнями w_1 на першу компоненту розкладання полів річного стоку, яка описує найбільш масштабний фізичний процес над Карпатами [21]. Висота водозборів у даному випадку виступає інтегральним показником впливу кліматичних чинників (насамперед, опадів та

випаровування) на формування річного стоку гірських районів.

У нормативних документах для розрахунків середнього багаторічного стоку річок невивчених або недостатньо вивчених у гідрологічному відношенні гірських річок висота водозбору пропонується як головний чинник. У СНІП 2.01.14-83 [22] для Українських Карпат наведено три види залежностей норми природного річного стоку від висоти місцевості: для гірської частини басейну р. Дністер, для басейну р. Прут та басейну р. Тиси. Залежність, розроблена для гірської частини Дністра і запропонована в СНІП 2.01.14-83, може бути представлена наступним рівнянням лінійної парної регресії

$$\bar{Y} = 0,914(H_{CEP} - 200) + 95,8, \quad (10)$$

де \bar{Y} – норма річного стоку, (мм);

H_{CEP} – середня висота водозбору, (м).

За даними 72 метеорологічних станцій і постів була надана оцінка теплоенергетичних ресурсів клімату, які можуть бути представлені через теплоенергетичний еквівалент \bar{E}_m , і ресурсів зволоження у вигляді норм річних опадів. Обидві характеристики клімату підкорюються закону вертикальної зональності – норми річних опадів збільшуються у міру збільшення висоти

місцевості, а норми теплоенергетичного еквіваленту – зменшуються. Розрахункові рівняння представлені у виді

$$\bar{X} = 742 + 0,679(H - 200), r = 0,849; \quad (11)$$

$$\bar{E}_m = 777 - 0,432(H - 200), r = 0,899, \quad (12)$$

де \bar{X} – норма (середня багаторічна величина) річної суми опадів, мм; \bar{E}_m – норма (середня багаторічна величина) річного максимально можливого випаровування, мм; H – висота положення метеорологічної станції, м;

r – коефіцієнт кореляції, який характеризує тісноту лінійного зв'язку між кліматичними чинниками формування стоку та висотою розташування метеорологічної станції.

Річний кліматичний стік визначався для кожної з розглянутих метеорологічних станцій за рівнянням водно-теплогового балансу.

Отримана залежність, яка описує зміни норм річного кліматичного стоку від висоти місцевості, добре узгоджується із наведеною у СНІП 2.01.14-83 (рис. 1) [23]. Середнє відносне відхилення $|\delta_{CEP}|$ розрахованих за метеорологічними і гідрологічними даними, знаходиться у межах $\pm 10\%$.

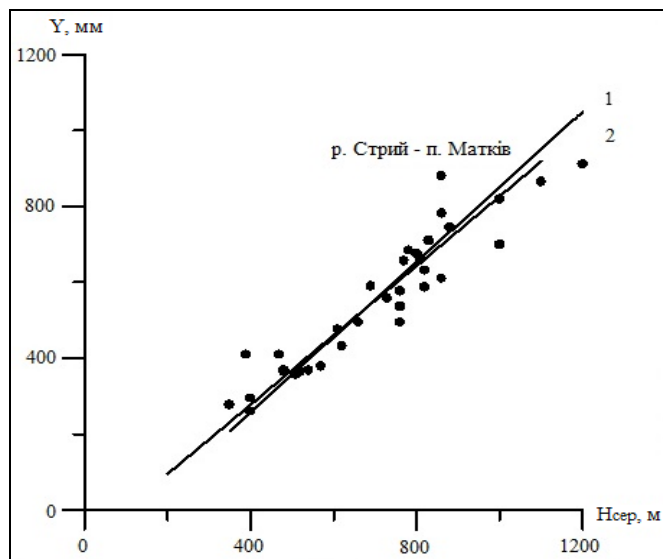


Рис. 1 – Залежність норм річного стоку від висоти місцевості для гірської частини басейну р. Дністер [23]:

1 – залежність, побудована за метеорологічними даними;

2 – залежність, наведена у СНІП 2.01.14-83;

● – дані спостережень на гідрологічних постах басейну р. Дністер до 1989 р.

Fig. 1 – Dependence of annual runoff norms on the terrain altitude for the mountainous part of the Dniester Basin:

1 – the dependence defined by meteorological data;

2 – the dependence specified in SNIP 2.01.14-83;

● – observation data at hydrological stations of the Dniester River before 1989

Таблиця 1 – Лінії регресії у коливаннях річного стоку
Table 1 – Regression lines within the annual runoff fluctuations

Річка – пост	Період спостережень, рр	Рівняння регресії	r	σ_r	Висновок
Бистриця – Озимина	1954-2018	$y = 0,0076x - 12,49$	0,142	0,123	тренд статистично незначущий
Тисмениця – Дрогобич	1950-2018	$y = 0,0136x - 23,498$	0,201	0,117	тренд статистично незначущий
Стрий – Матків	1955-2018	$y = -0,0139x + 30,375$	0,340	0,112	тренд статистично значущий
Стрий – Завадівка	1962-2018	$y = -0,0404x + 95,92$	0,215	0,129	тренд статистично незначущий
Стрий – Верхній Синьвидний	1951-2018	$y = -0,0438x + 128,95$	0,078	0,122	тренд статистично незначущий
Опор – Сколе	1957-2018	$y = -0,0944x + 200,45$	0,421	0,106	тренд статистично значущий
Славське – Славкове	1954-2018	$y = -0,0071x + 15,923$	0,264	0,117	тренд статистично значущий
Головчанка – Тухля	1955-2018	$y = 0,0088x - 14,427$	0,192	0,122	тренд статистично незначущий
Орава – Святослав	1950-2018	$y = -0,0055x + 14,493$	0,117	0,120	тренд статистично незначущий
Свіча – Зарічне	1953-2018	$y = 0,1634x - 299,51$	0,333	0,111	тренд статистично значущий
Лужанка – Гошев	1950-2018	$y = 0,0004x + 1,6775$	0,008	0,122	тренд статистично незначущий
Сукель – Тісов	1959-2018	$y = 0,0135x - 23,75$	0,307	0,119	тренд статистично значущий
Лімниця – Осмолода	1958-2018	$y = -0,0179x + 42,269$	0,210	0,124	тренд статистично незначущий
Лімниця – Перевозець	1954-2018	$y = -0,1149x + 249,95$	0,289	0,115	тренд статистично значущий
Чечва – Спас	1956-2018	$y = -0,0084x + 21,621$	0,092	0,127	тренд статистично незначущий
Луква – Боднарів	1954-2018	$y = 0,0036x - 4,7645$	0,079	0,125	тренд статистично незначущий
Бистриця Надворнянська – Пасічна	1957-2018	$y = 0,0098x - 8,801$	0,076	0,128	тренд статистично незначущий
Ворона – Тисмениця	1962-2018	$y = -0,0104x + 25,315$	0,086	0,134	тренд статистично незначущий
Бистриця Солотвинська – Гута	1950-2018	$y = 0,0163x - 29,262$	0,351	0,107	тренд статистично значущий
Бистриця Солотвинська – Івано-Франківськ	1984-2018	$y = 0,043x - 75,904$	0,108	0,172	тренд статистично незначущий

Залежність $q(H_{SEP})$, представлена в СНІП 2.01.14-83 і виражена через шари стоку рівнянням (10), була використана як базова при оцінках змін водних ресурсів Гірського Дністра у майбутньому. Базова залежність відображає основні закономірності формування стоку досліджуваної території до початку значущих змін клімату (до 1989 р.).

4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Аналіз графіків хронологічного ходу річних витрат води на гірських притоках Дністра дозво-

лив зробити висновки про відсутність статистично значущих тенденцій у їх коливаннях (табл. 1).

Рівняння лінійної парної регресії приймалися статистично значущими, якщо коефіцієнт кореляції r , який оцінює тісноту лінійного зв'язку, мав значення більше подвоєної похибки свого визначення [24], тобто:

$$r \geq 2\sigma_r, \quad (13)$$

де σ_r – середнє квадратичне відхилення вибіркового коефіцієнту кореляції.

$$\sigma_r = \frac{1 - r^2}{\sqrt{n - 1}}, \quad (14)$$

де n – довжина ряду.

Особливості коливань річного стоку гірських приток Українських Карпат відображені на інтегральних різницевих кривих (рис. 2). Маловодна фаза тривала від початку спостережень (50-ті роки минулого сторіччя) до 1964 року. Багатоводна фаза тривала до початку 80-х років (переважно до 1981 р.), після чого відбувся перехід у маловодну фазу, яка закінчилася у 1995 році. Багатоводна фаза тривала до 2010 року. Після 2010 року на всіх річках відбувся перехід у маловодну фазу.

Хронологічні графіки коливань річного стоку добре ілюструють існування від’ємного тренду у минуле десятиріччя (рис. 2).

Порівняльний аналіз середніх багаторічних значень річного стоку до 1989 р. та після (табл. 2) показав, що можливі відносні відхилення змінюються від “мінус” 31,1% до +21,0%. Середнє за абсолютною величиною відхилення становить ±12,3%. Дані по річці Бистриця – Надворнянська м. Івано-Франківськ не враховувалися через те, що гідрологічні спостереження розпочалися лише з 1985 р.

Розподіл середніх багаторічних величин стоку із висотою місцевості до 1989 р. (рис. 3) та після (рис. 4) практично не змінився. Після 1989 р. дещо зменшилася інтенсивність зростання стоку із висотою, що знайшло своє відображення в зменшенні коефіцієнта регресії з 0,877

до 0,820 та у зменшенні коефіцієнта кореляції з 0,875 до 0,811.

За отриманими регресійними рівняннями, наведеними на рис.3 та рис.4 були визначені середні багаторічні шари стоку за два періоди (до та після 1989-2018 рр.) для різних висот. Показано, що зміни стоку зменшуються з висотою і становлять у середньому ±6,91% (табл. 3).

Для 72 метеорологічних станцій гірської частини басейну Дністра були виконані розрахунки середніх багаторічних значень річного кліматичного стоку за період 2021-2050 рр. [25], згідно із сценарієм RCP8.5.

Розподіл опадів за сценарієм RCP8.5 (рис. 5) характеризується тим, що у передгір’ї спостерігається незначне (до -10%) зменшення річних сум опадів із висотою, а при наближенні до 1000 м, опади при порівнянні із базовим періодом зростають.

Розрахункове рівняння для річних сум опадів має вигляд

$$\bar{X} = 0,792H + 520, \quad r = 0,933 \quad (15)$$

або

$$\bar{X} = 361 + 0,792(H - 200), \quad r = 0,933. \quad (16)$$

Середнє відносне відхилення сценарних та базових значень становить ±2,41% (табл. 4). Таким чином, у Гірській зоні басейну Дністра у період 2021-2050 рр. за сценарієм RCP8.5 очікується, що ресурси зволоження не будуть змінюватися.

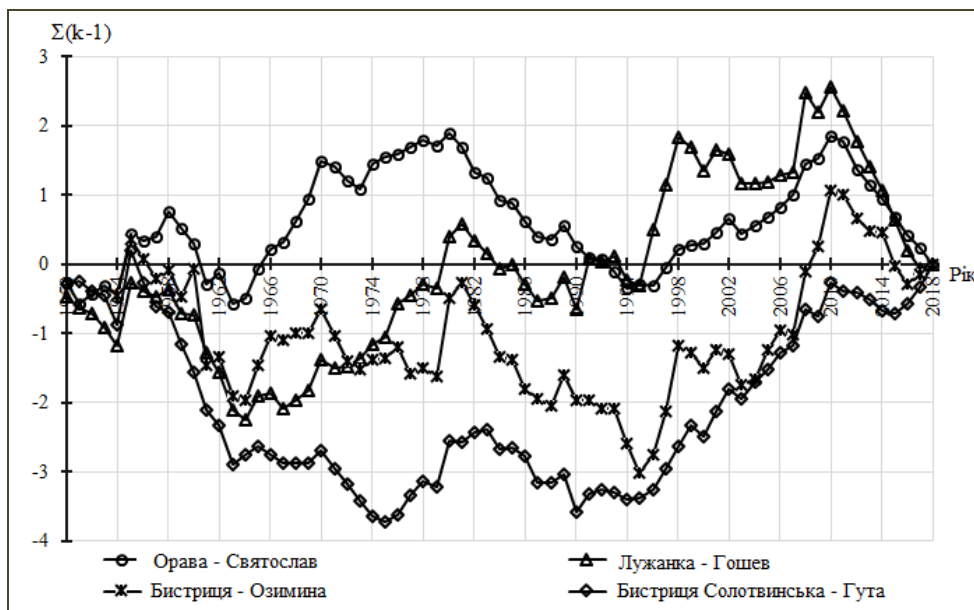


Рис. 2 – Графік різницевих інтегральних кривих для річного стоку річок Гірського Дністра
 Fig. 2 – Graph of differential integral curves for annual runoff of the rivers of the Mountain Dniester Basin

Таблиця 2 – Середній багаторічний річний стік за різні розрахункові періоди (до та після 1989 р.) для водозборів гірської частини Дністра (за даними гідрологічних спостережень)
Table 2 – Average long-term annual runoff over different estimated periods (before and after 1989) for catchment areas of the mountainous part of the Dniester River (according to hydrological observations)

Річка – пост	Шар стоку за базовий період \bar{Y} , мм до 1989 р.	Шар стоку за період кліматичних змін \bar{Y} , мм після 1989 р.	Зміни стоку, %
Бистриця – Озимица	368	414	12,4
Тисмениця – Дрогобич	418	428	2,3
Стрий – Матків	881	751	-14,8
Стрий – Завадівка	684	610	-10,8
Стрий – Верхній Синьевидний	562	492	-12,6
Опор – Сколе	610	420	-31,1
Славське – Славкове	783	666	-15,0
Головчанка – Тухля	663	754	13,7
Орава – Святослав	557	546	-2,0
Свіча – Зарічне	558	675	21,0
Лужанка – Гошев	507	466	-8,0
Сукель – Тісов	658	723	9,9
Лімниця – Осмолода	1084	944	-12,9
Лімниця – Перевозець	496	385	-22,3
Чечва – Спас	583	522	-10,5
Луква – Боднарів	389	412	6,0
Бистриця Надворнянська – Пасічна	690	688	-0,3
Ворона – Тисмениця	236	217	-7,8
Бистриця Солотвинська – Гута	818	982	20,2
Бистриця Солотвинська – Івано-Франківськ	304	440	
Середнє			±12,35

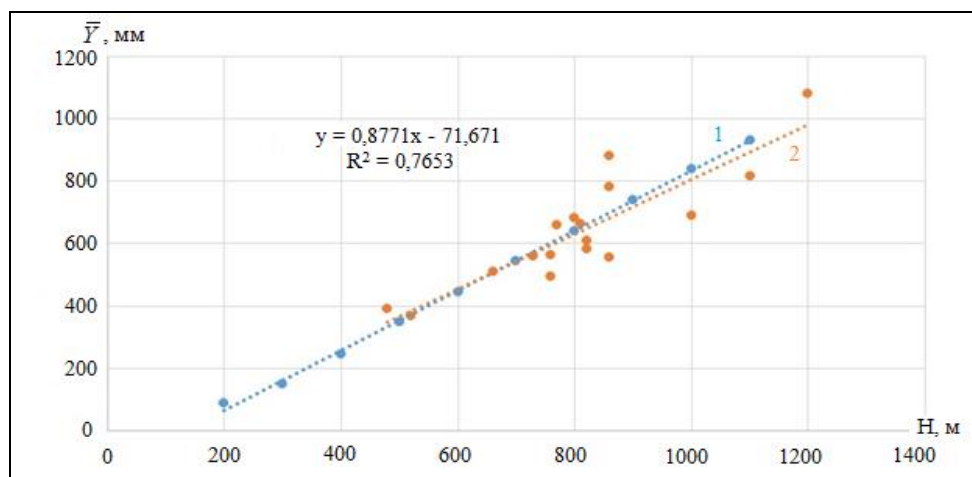


Рис. 3 – Зміна середніх багаторічних величин річного шару стоку із висотою місцевості (гідрологічні дані по водозборах за період від початку спостережень до 1989 р.):

- 1 – базова залежність (нормативний документ СНІП 2.01.14–83);
- 2 – залежність за даними спостережень до 1989 р.

Fig. 3 – Changes of average long-term values of the annual runoff depth with the terrain altitude (hydrological data across catchment areas over the period from the beginning of observations up to 1989):

- 1 – basic dependence (regulatory document SNIP 2.01.14–83);
- 2 – the dependence based on observation data before 1989.

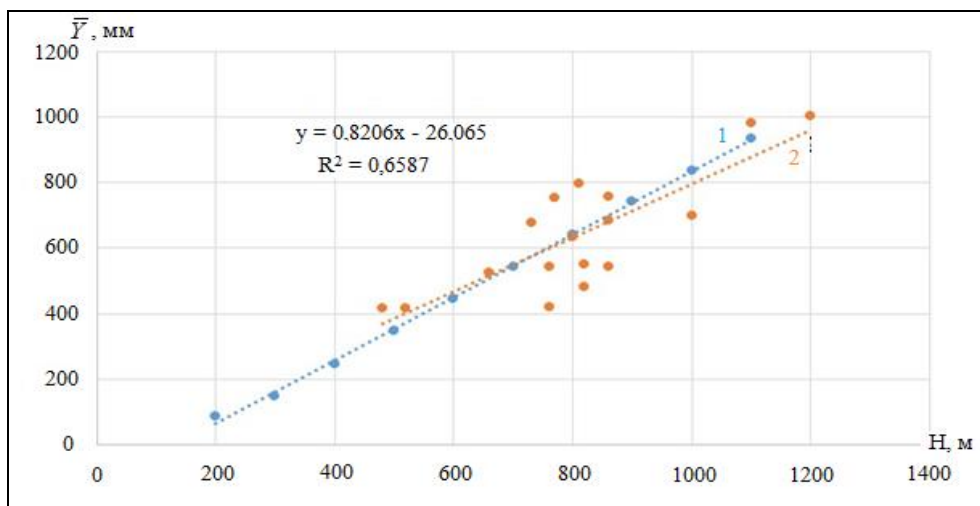


Рис. 4 – Зміна середніх багаторічних величин річного шару стоку із висотою місцевості (гідрологічні дані по водозборах 1989-2018рр.):

- 1 – базова залежність (нормативний документ СНІП 2.01.14–83);
- 2 – залежність за даними спостережень після 1989 р.

Fig. 4 – Changes of average long-term values of the annual runoff depth with the terrain altitude (hydrological data across the catchment areas over the 1989-2018 period):

- 1 – basic dependence (regulatory document SNIP 2.01.14–83);
- 2 – the dependence based on observation data after 1989

Таблиця 3 – Зміни середніх багаторічних величин річного стоку по висотних зонах, визначені за регіональними рівняннями лінійної регресії

Table 3 – Changes of average long-term values of annual runoff across the altitude zones determined by regional linear regression equations

Висота, м	\bar{Y} , мм до 1989 р.	\bar{Y} , мм (1989-2018 рр.)	Відносне відхилення розрахованих значень, %
200	104	138	-33.2
300	191	220	-15.1
400	279	302	-8.33
500	367	384	-4.81
600	455	467	-2.65
700	542	549	-1.19
800	630	631	-0.13
900	718	713	0,66
1000	805	795	1,29
1100	893	877	1.78
			Середнє значення $\pm 6,91\%$

Як видно із графіка (рис. 6) максимально можливе випаровування буде зростати на менших висотах та наблизитися до базового на висоті більшій 800 м. Розрахункове рівняння для визначення \bar{E}_m за даними за даними осередненої моделі сценарію RCP8.5 для періоду 2021-2050 рр. має вигляд

$$\bar{E}_m = 1019 - 0,619H, r = 0,945, \quad (17)$$

або

$$\bar{E}_m = 1143 - 0,619(H - 200) r = 0,945, \quad (18)$$

Середнє відносне відхилення сценарних та базових значень, становитиме $\pm 5,79\%$ (табл. 5).

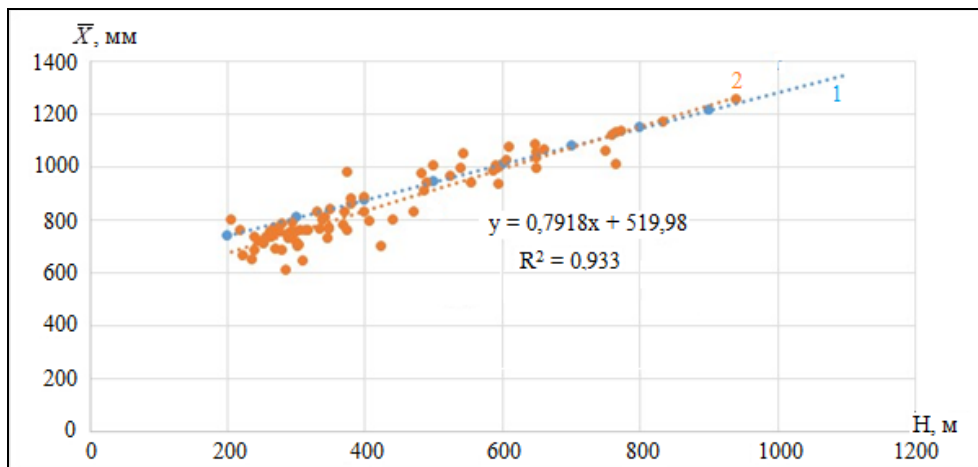


Рис. 5 – Зміна середніх багаторічних величин сум річних опадів із висотою місцевості траєкторії RCP8.5 (осереднена модель, 2021-2050 рр.) при порівнянні із базовою залежністю (до 1989 р.):

- 1 – базова залежність;
- 2 – сценарна залежність

Fig. 5 – Changes of average long-term values of total annual precipitation with the terrain altitude based on the RCP8.5 trajectory (average model, 2021-2050) compared to the baseline dependence (before 1989):

- 1 – the baseline dependence;
- 2 – the scenario dependence

Таблиця 4 – Результати порівняння базових та сценарних (RCP8.5) значень середніх багаторічних річних сум опадів (2021-2050 рр.)

Table 4 – Results of comparison of baseline and scenario (RCP8.5) values of average long-term annual precipitation amounts (2021-2050)

Висота $H, \text{ м}$	Базове значення $\bar{X}_B, \text{ мм}$	Сценарне значення $\bar{X}_C, \text{ мм}$	Відносне відхилення базових та сценарних значень $\delta = \frac{\bar{X}_C - \bar{X}_B}{\bar{X}_B} 100\%$
100	674	599	-11,12
200	742	678	-8,58
300	810	758	-6,47
400	878	837	-4,68
500	946	916	-3,15
600	1014	995	-1,83
700	1082	1074	-0,67
800	1149	1153	0,35
900	1217	1233	1,26
1000	1285	1312	2,07
			Середнє значення $\pm 2,41$

Результати розрахунку середніх багаторічних величин річного кліматичного стоку показали, що буде відбуватися його зменшення (рис. 7).

Рівняння лінійної парної регресії має вигляд

$$\bar{Y}_K = 0,912x - 92,5, \quad r = 0,996, \quad (19)$$

або

$$\bar{Y}_K = 0,912(H - 200) - 275, \quad r = 0,966, \quad (20)$$

де \bar{Y}_K – норма річного кліматичного стоку (мм).

Середнє відносне відхилення сценарних та базових значень становить – 8,87% (табл. 6), тобто знаходиться у межах точності розрахунків кліматичного стоку.

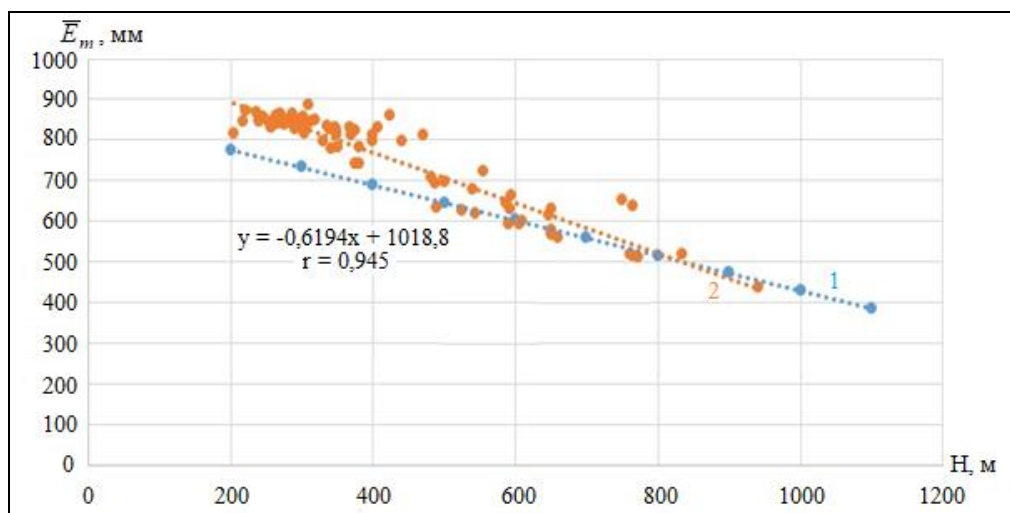


Рис. 6 – Зміна середніх багаторічних величин максимально можливого випаровування із висотою місцевості за сценарієм RCP8.5 (осереднені дані за 14 моделями, 2021-2050 рр.) при порівнянні із базовою залежністю (до 1989 р.):

- 1 – базова залежність;
- 2 – сценарна залежність

Fig. 6 – Changes of average long-term values of maximum possible evaporation with the terrain altitude based on the RCP8.5 scenario (averaged data based on 14 models, 2021-2050) compared to the baseline dependence (before 1989):

- 1 – the baseline dependence;
- 2 – the scenario dependence

Таблиця 5 – Результати порівняння базових та сценарних (RCP8.5) середніх багаторічних значень максимально можливого випаровування (2021-2050рр.)

Table 5 – Results of comparison of baseline and scenario (RCP8.5) values of average long-term annual maximum possible evaporation (2021-2050)

Висота Н, м	Базове значення \bar{E}_{mB} , мм	Сценарне значення \bar{E}_{mC} , мм	Відносне відхилення базових та сценарних значень $\delta = \frac{\bar{E}_{mC} - \bar{E}_{mB}}{\bar{E}_{mB}} \cdot 100\%$
100	820	957	16,7
200	777	895	15,2
300	734	833	13,5
400	691	771	11,6
500	647	709	9,5
600	604	647	7,1
700	561	585	4,3
800	518	523	1,1
900	475	461	-2,8
1000	431	399	-7,4
			Середнє значення $\pm 5,79$

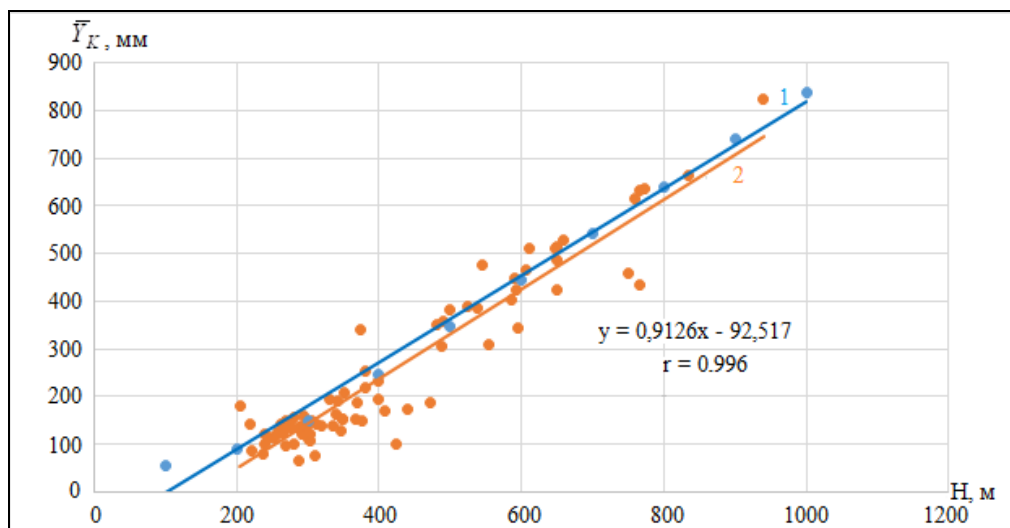


Рис. 7 – Зміна середніх багаторічних величин річного кліматичного стоку із висотою місцевості траєкторії RCP8.5 (осереднена модель, 2021-2050рр.) при порівнянні із базовою залежністю:

- 1 – базова залежність;
- 2 – сценарна залежність.

Fig. 7 – Changes of average long-term values of annual climatic runoff with the terrain altitude based on the RCP8.5 trajectory (averaged model, 2021-2050) when compared to the baseline dependence:

- 1 – the baseline dependence;
- 2 – the scenario dependence.

Таблиця 6 – Результати порівняння базових та сценарних (RCP8.5) значень середніх багаторічних значень кліматичного стоку (2021-2050 рр.) за рівнянням лінійної регресії

Table 6 – Results of comparison of baseline and scenario (RCP8.5) values of average long-term values of annual climatic runoff (2021-2050) based on the linear regression equation

Висота H, м	Базове значення \bar{Y}_{KB} , мм	Сценарне значення \bar{Y}_{KC} , мм	Відносне відхилення базових та сценарних значень $\delta = \frac{\bar{Y}_{KC} - \bar{Y}_{KB}}{\bar{Y}_{KB}} \cdot 100\%$
100	57	-	-
200	88	48	-45,9
300	148	142	-4,11
400	246	237	-3,85
500	347	331	-4,61
600	445	425	-4,36
700	542	520	-4,20
800	640	614	-4,09
900	741	708	-4,41
1000	839	803	-4,30
			Середнє значення -8,87%

5. ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Особливістю запропонованого підходу до оцінки змін водних ресурсів гірської частини Дністра є використання закономірностей вертикальної зональності розподілу річного стоку та кліматичних чинників його формування у гірсь-

кій місцевості. Перевагою запропонованого підходу до оцінок водних ресурсів майбутнього на базі метеорологічних даних сценаріїв є те, що у розрахунках використані осереднені за 14 математичними моделями сценарію RCP8.5 дані. На відміну від результатів розрахунків, наведених у роботі і представлених у вигляді

карт ізоліній [25], використання залежностей кліматичних чинників та стоку від висоти місцевості дозволяє уникнути похибок, обумовлених швидкою зміною градієнту температур та опадів із висотою місцевості, що не завжди знаходить своє відображення у просторовому розподілі згладжених ізоліній.

Алгоритм розрахунків середніх багаторічних значень річного кліматичного стоку за заданий розрахунковий період наступний.

1. За розрахунковий період визначаються середні багаторічні величини річних сум опадів, максимально можливого випаровування та річного кліматичного стоку за даними метеостанцій або вузлів сітки при розгляді сценаріїв.

2. На базі отриманих результатів будуються графіки залежності кліматичних чинників та річного стоку від висоти місцевості. За допомогою регресійного аналізу установлюють регресійні рівняння, які описують вертикальний розподіл характеристик у заданих кліматичних умовах.

3. На основі отриманих регресійних рівнянь визначаються зміни у вертикальному розподілі досліджуваних характеристик та відносні відхилення сценарних і базових даних. У виконаній роботі як базова використана залежність норм річного стоку річок гірської частини Дністра від висоти місцевості, наведена у нормативних документах 1986 року видання).

Результати оцінок змін водних ресурсів гірського Дністра за кліматичним сценарієм RCP8.5 підтверджуються дослідженнями інших авторів (дивись розділ 2). Прогнозоване зменшення водних ресурсів гірської частини Дністра до середини XXI сторіччя буде несуттєвим. Оцінки сучасного стану її водних ресурсів також не виявили суттєвих змін.

6. ВИСНОВКИ

У коливаннях річного стоку річок Гірського Дністра виділяються наступні фази: 1965-1981 рр. (багатоводна фаза); 1982-1995 рр. (маловодна фаза); 1996-2009 рр. (багатоводна фаза); 2010-2018 рр. (маловодна фаза).

Аналіз графіків хронологічного ходу річних витрат води на гірських притоках Дністра дозволив зробити висновки про відсутність статистично значущих тенденцій у їх коливаннях

Аналіз залежностей середніх багаторічних значень річного стоку від висоти місцевості до та після 1989 року (1989-2018 рр.) показав, що вони відповідають наведений у нормативному

документі СНП 2.01.14-83 залежності. Оцінки змін стоку за два розглянутих періоди, виконані для 20 водозборів Гірського Дністра знаходяться у межах $\pm 12,3\%$. Підчас розгляду цих змін по висотах (за побудованими регіональними залежностями) виявлено, що розбіжності змешуються із зростанням висоти місцевості.

За осередненою моделлю RCP8.5 у період 2021-2050 рр. за результатами розрахунків на базі моделі «клімат-стік» з використанням осереднених за 14 моделями проекту CORDEX очікується у передгір'ї (до висоти 200 м) зменшення річних сум опадів (до 11%), зростання максимально можливого випаровування (до 17%), зменшення водних ресурсів (до 46%). На висотах вищих за 800 м зростання ресурсів тепла та зменшення водних ресурсів припиняється. Середнє за розрахунковий період відхилення сценарних та базових середніх багаторічних значень для опадів буде становити 2,41% для опадів, 5,79% – для максимально можливого випаровування, 8,87% – для водних ресурсів. Таким чином, зменшення водних ресурсів гірської частини Дністра до середини XXI сторіччя буде несуттєвим. При оцінці сучасного стану водних ресурсів Гірського Дністра також не виявлено суттєвих змін, що відповідає даним інших авторів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Директива 2000 / 60/ ЄС Європейського Парламенту і ради від 23 жовтня 2000 року про встановлення рамок діяльності Співтовариства у сфері водної політики. 2000. URL: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/371-2015-p> (дата звернення : 02.11.2021)
2. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. Official Journal of the European Communities. 22.12.2000. L. 327, vol. 43. 72 p.
3. Стратегическая программа действий для бассейна реки Днестр. Кишинев – Киев, 2020. 65с.
4. Проект Стратегія розвитку водної політики України - Водна Стратегія. URL: <https://mepr.gov.ua/news/37578.html> (дата звернення : 02.11.2021)
5. Стратегія екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату на період до 2030 року. (схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2021 р. № 1363-р). URL: <https://mepr.gov.ua/news/38362.html> (дата звернення : 02.11.2021)
6. Vyshnevskiy V. I., Donich O. A. Climate change in the Ukrainian Carpathians and its possible impact on river runoff. *Acta Hydrologica Slovaca*. 2021. 22(1). Pp. 3-14.
7. Овчарук В. А., Гопченко Є. Д., Траскова А. В. Нормування характеристик максимального стоку весняного водпілля в басейні річки Дністер: моногр. Харків: ФОП

- Панов А.М., 2017. 252 с.
8. Changing climate both increases and decreases European river floods / Blöschl G., Hall J., Viglione A. et al. *Nature*. 2019. № 573. Pp. 108-111.
 9. Melnyk S., Loboda N. Trends in monthly, seasonal and annual fluctuations in flood peaks for upper Dniester River Meteorology, Hydrology and Water Management. *Meteorology Hydrology and Water Management*. 2020. Vol. 8(2). Pp. 28-36.
 10. Climate change impact on water availability of main river basins in Ukraine / Didovets I., Krysanova V., Hattermann F. F. et al. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 2020. № 32. Pp. 1-13
 11. Climate change impact on regional floods in the Carpathian region / Didovets I. et al. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 2019. № 22. Pp. 1-14.
 12. Giorgy F., Jones C., Ghassem R. Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework. *WMO Bulletin*. 2009. № 58 (3). Pp. 175-183.
 13. Мезенцев В. С., Карнаевич И. В. Увлажненность Западно-Сибирской равнины. Ленинград: Гидрометеиздат, 1969. 75 с.
 14. Лобода Н. С. Расчеты и обобщения характеристик годового стока рек Украины в условиях антропогенного влияния: монография. Одесса: Экология, 2005. 208 с.
 15. Loboda N. S. The assessment of present and future Ukrainian water resources on meteorological evidence. *Climat and Water*. 1998. Vol. 1. Pp. 1486-1494.
 16. Loboda N. S., Phan Van Chinnh. Statistical modelling and estimating the irrigation and man-made effect on annual runoff and water resources. *GIS and Remote Sensing in Hydrology, Water Resources and Environment: proceedings of ICGRHWE held Tree Gerges Dam, Chine*. 2004. IAHS Publication 289 in the IAHS Series of Proceedings and Reports. Pp. 215-218.
 17. Гопченко Е. Д., Лобода Н. С. Оценка возможных изменений водных ресурсов Украины в условиях глобального потепления. *Гидробиологический журнал*. 2000. Т. 36, № 3. С. 67-78.
 18. Лобода Н. С. Проблемы гидрологических расчетов в условиях антропогенного воздействия и модель "климат-сток". *Метеорологія, кліматологія та гідрологія*. 2007. Вип. 50. Ч. 2. С. 14-19.
 19. Лобода Н. С. Методические подходы к оценке естественных водных ресурсов горных районов на основе метеорологической информации (на примере горной части бассейна р.Днестр). *Метеорологія, кліматологія та гідрологія*. 2002. № 45. С. 118-124.
 20. Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность. Т.6. Украина и Молдавия. Вып. 1. Западная Украина и Молдавия / под ред. Б.М. Штейнгольца. Ленинград, 1964. 245 с.
 21. Лобода Н. Виділення основних стокоформуючих факторів на основі аналізу структури полів річного стоку за допомогою методу головних компонент (на прикладі річок верхнього Дністра до м. Могилів-Подільський). *Науковий Вісник Чернівецького університету*. 2003. № 167. С. 107-112.
 22. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик / под ред. А.В. Рождественского, А.Г. Лобановой. Ленинград: Гидрометеиздат, 1984. 447 с.
 23. Лобода Н. С. Ландшафтна різноманітність та районування характеристик стоку Українських Карпат. *Науковий Вісник Чернівецького університету*. 2006. № 305. С. 12-19.
 24. Рождественский А. В., Ежов А. В., Сахарюк А. В. Оценка точности гидрологических расчетов. Ленинград: Гидрометеиздат, 1990. 276 с.
 25. Лобода, Н. С., Козлов, М. О. Оцінка водних ресурсів річок України за середніми статистичними моделями траєкторій змін клімату RCP4.5 та RCP8.5 у період 2021-2050 роки. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2020. № 25. С. 93-104. <https://doi.org/10.31481/uhmj.25.2020.09>

REFERENCES

1. *Dyrektyva 2000 /60 / ES Yevropeiskoho Parlamentu i rady vid 23 zhovtnia 2000 roku pro vstanovlennia ramok diialnosti Spivtovarystva u sferi vodnoi polityky. [Directive 2000 /60 / EU of the European Parliament and of the Council about establishing a scope of activities in the field of water policy from 23 October 2000 year]. Available at: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/371-2015-p> (Accessed: 02 November 2021) (in Ukr.)*
2. *Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy*. Official Journal of the European Communities. 22.12.2000. L. 327, vol. 43.
3. *Strategicheskaya programma deystviy dlya baseyna r. Dnestr. Kishinev – Kyiv [Strategic Action Programme for the Dniester River Basin. Chisinau – Kiev]. (2020). (in Russ.)*
4. *Proekt Stratehiia rozvytku vodnoi polityky Ukrainy - Vodna Stratehiia [Project Strategy for the Development of Water Policy of Ukraine – Water Strategy]. (2021). URL: <https://mepr.gov.ua/news/37578.html> (Accessed: 02 November 2021) (in Ukr.)*
5. *Stratehiia ekolohichnoi bezpeky ta adaptatsii do zminy klimatu na period do 2030 roku. (skhvaleno rozporiadzhenniam Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 20 zhovtnia 2021 r. № 1363-r) [Strategy for environmental safety and adaption to climate change until 2030 (the order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated October 20, 2021 No. 1363-r)]. URL: <https://mepr.gov.ua/news/38362.html> (Accessed: 02 November 2021) (in Ukr.)*
6. Vyshnevskiy, V.I. & Donich, O.A. (2021). Climate change in the Ukrainian carpathians and its possible impact on river runoff. *Acta Hydrologica Slovaca*, 22(1). Pp. 3-14.
7. Ovcharuk, V.A., Hopchenko, Ye.D. & Traskova, A.V. (2017). *Normuvannia kharakterystyk maksimalnoho stoku vesnianoho vodopillia v baseini richky Dnister [Rationing of the characteristics of the maximum runoff the spring flood in the Dniester River basin]*. Kharkiv: FOP Panov Publ. (in Ukr.).
8. Blöschl, G., Hall, J., Viglione, A. et al. (2019). Changing climate both increases and decreases European river floods. *Nature*, 573, pp. 108-111.
9. Melnyk, S. & Loboda, N. (2020). Trends in monthly, seasonal and annual fluctuations in flood peaks for upper Dniester River Meteorology, Hydrology and Water Management. *Meteorology Hydrology and Water Management*, 8 (2), pp. 28-36.
10. Didovets, I. et al. (2020). Climate change impact on water availability of main river basins in Ukraine. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 32, pp. 1-13
11. Didovets, I. et al. (2019). Climate change impact on regional floods in the Carpathian region. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 22, pp. 1-14.
12. Giorgy, F., Jones, C. & Ghassem, R. (2009). Addressing climate information needs at the regional level: the

- CORDEX framework. *WMO Bulletin*, 58 (3), pp. 175-183.
13. Mezentsev, V.S. & Karnatsevich, I.V. (1969). *Uvlazhnennost' Zapadno-Sibirskoy ravniny [Humidity of the West Siberian plain]*. Gidrometeoizdat (in Russ.).
 14. Loboda, N.S. (2005). *Raschety i obobshcheniya kharakteristik godovogo stoka rek Ukrainy v usloviyakh antropogennoho vliyaniya [Calculations and generalizations of characteristics of annual runoff of rivers of Ukraine in the conditions of anthropogenic influence]*. Odessa: Ecology. (in Russ.)
 15. Loboda, N.S. (1998). The assessment of present and future Ukrainian water resources on meteorological evidence. *Climat and Water*, 1, pp. 1486-1494.
 16. Loboda, N.S. & Phan Van Chinnh. (2004). Statistical modelling and estimating the irrigation and man-made effect on annual runoff and water resources. *GIS and Remote Sensing in Hydrology, Water Resources and Environment*: proceedings of ICGRHWE held Tree Gerges Dam, Chine. IAHS Publication 289 in the IAHS Series of Proceedings and Reports, pp. 215-218.
 17. Gopchenko, E.D. & Loboda, N.S. (2000). Otsenka vozmoznykh izmeneniy vodnykh resursov Ukrainy v usloviyakh global'nogo potepneniya [Evaluation of possible changes in water resources of Ukraine in conditions of global warming]. *Gidrobiologicheskij zhurnal [Hydrobiological journal]*, 36 (3), pp. 67-78. (in Russ.).
 18. Loboda, N.S. (2007). Problemy gidrologicheskikh raschetov v usloviyakh antropogennoho vozdeystviya i model' "klimat-stok" [Problems of hydrological calculations under anthropogenic impact and the "climate-runoff" model]. *Meteorologiya, klimatologiya ta hidrolologiya [Meteorology, Climatology and Hydrology]*, 50(2), pp. 14-19. (in Russ.)
 19. Loboda, N.S. (2002). Metodicheskie podkhody k otsenke estestvennykh vodnykh resursov gornyykh rayonov na osnove meteorologicheskoy informatsii (na primere gornoy chasti basseyna r.Dnestr) [Methodological approaches to the assessment of natural water resources in mountainous regions based on meteorological information (on the example of the mountainous part of the Dniester river basin)]. *Meteorologiya, klimatologiya ta hidrolologiya [Meteorology, Climatology and Hydrology]*, 45, pp. 118-124. (in Russ.)
 20. Shteyngol'ts, B.M. (ed.) (1964). *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Gidrologicheskaya izuchennost. Ukraina i Moldaviya. T. 6. Vyp. 1. [Resources of surface waters of the USSR. Hydrological knowledge. Ukraine and Moldova. Vol. 6. Issue 1]*. Leningrad. (in Russ.)
 21. Loboda, N. (2003). Vydilennia osnovnykh stokoformuiuchykh faktoriv na osnovi analizu struktury poliv richnoho stoku za dopomohoiu metodu holovnykh komponent (na prykladi richok verkhnoho Dnistra do m. Mohyliv-Podil'skyi) [Selection of the main stock-forming factors on the basis of the analysis of structure of fields of annual runoff by means of a method of the main components (on an example of the rivers of the top Dniester to Mogilev-Podolsky)]. *Naukovyi Visnyk Chernivetskoho universytetu [Scientific Bulletin of Chernivtsi University]*, 167, pp. 107-112. (in Ukr.)
 22. Rozhdestvenskiy, A.V. & Lobanova, A.G. (1984) *Posobie po opredeleniyu raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik [Manual for the definition of estimated hydrological characteristics]*. Leningrad: Gidrometeoizdat. (in Russ.)
 23. Loboda, N.S. (2006). Landshaftna riznomanitnist ta raionuvannia kharakterystyk stoku Ukrainskykh Karpat [Landscape diversity and zoning of runoff characteristics of the Ukrainian Carpathians]. *Naukovyi Visnyk Chernivetskoho universytetu [Scientific Bulletin of Chernivtsi University]*, 305, pp. 12-19. (in Ukr.)
 24. Rozhdestvenskiy, A.V., Ezhov, A.V. & Saharyuk, A.V. (1990). *Otsenka tochnosti gidrologicheskikh raschetov [Assessment of the accuracy of hydrological calculations]*. Leningrad: Gidrometeoizdat. (in Russ.)
 25. Loboda, N.S. & Kozlov, M.O. (2000). Otsinka vodnykh resursiv richok Ukrainy za serednimy statystychnymy modeliyami traektorii zmin klimatu RCP4.5 ta RCP8.5 u period 2021-2050 roky [Assessment of water resources of the Ukrainian rivers according to the average statistical models of climate change trajectories RCP4.5 and RCP8.5 over the period of 2021 to 2050]. *Ukrains'kij gidrometeorologichnij zhurnal. [Ukrainian hydrometeorological journal]*, 25, pp. 93-104. <https://doi.org/10.31481/uhmj.25.2020.09> (in Ukr)

EVALUATION OF WATER RESOURCES CHANGES OF THE MOUNTAIN DNIESTER IN 20TH CENTURY FOLLOWING THE RCP8.5 SCENARIO AND BASED ON THE "CLIMATE-RUNOFF" MODEL

N. S. Loboda, M. O. Kozlov, I. V. Katynska

Odessa State Environmental University,
15, Lvivska St., 65016 Odesa, Ukraine, natalie.loboda@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0002-0794-9951>
<https://orcid.org/0000-0001-9152-0471>

The relevance of the research consists in the need for evaluating the water resources changes of the Dniester due to global warming. The mountain part of the Dniester Basin is a zone of the river's runoff formation that determines its water content. The subject of research includes a process of climate changes and their impact on the water resources of the Mountain Dniester's catchments. The research focuses on determining the water resources changes under current and possible future climatic conditions represented by climatic scenarios.

The research aims at evaluating the water resources changes of the mountain part of the

Dniester's catchment area at the present and in the future by the mid-21 st century (2021-2050) based on the "climate-runoff" model using meteorological observations data (up to 2018 inclusive) and scenario data (averaged data based on 14 mathematical models of the CORDEX project, RCP8.5 scenario).

During the research the resources of humidification, heat (heat equivalent) and water content for modern (1989-2018) and scenario (RCP8.5, 2021-2050) climatic conditions based on application of the "climate-runoff" model were evaluated. The theoretical basis for estimating the natural (undisturbed by water management) annual runoff in this model is represented by the water-heat balance equation. The meteorological characteristics (average monthly air temperatures and precipitation) serve as input data. The runoff calculated using the water-heat balance equation is called a climatic runoff. One of the peculiarities of the research consists in the use of the vertical zoning law with respect to distribution of runoff and climatic factors of its formation. During the comparative analysis the dependence of annual runoff norms on height of the Mountain Dniester's terrain specified in modern regulatory documents served as a basic dependence. Such dependence reflects an altitude-dependant distribution of runoff for the climatic conditions that preceded the significant impact of global warming on air temperature (until 1989).

The analysis of the dependences of average long-term values of the annual runoff depending on the terrain altitude showed that the runoff changes for two studied periods (before and after 1989) are within $\pm 12,3\%$. The analysis of the graphs of chronological course of annual water flow of the mountain tributaries of the Dniester made it possible to confirm the absence of statistically significant trends in their fluctuations.

According to the RCP8.5 climate scenario over the period of 2021-2050 and following the results of calculations based on the "climate-runoff" model, the dependences of the average long-term altitude-related values of climatic factors and climatic runoff were retrieved. It was found that the effects of global warming decrease with increasing altitude. In the foothills (up to 200 m) the annual precipitation decreases (up to 11%), the maximum possible evaporation increases (up to 17%) and water resources decrease (up to 46%). Heat resources cease to increase and water resources cease to reduce at the altitudes over 800 m. The average deviation of the scenario and baseline values for precipitation over the estimated period will amount to 2.41% for precipitation, 5.79% for maximum possible evaporation and 8.87% for water resources. Thus, reduction of water resources in the mountainous part of the Dniester by the mid-21 st century will be insignificant. When evaluating the current state of water resources of the Mountain Dniester no significant changes were discovered, thereby not contradicting the other authors' data.

Keywords: impact of climate changes on water resources, "climate-runoff" model, climate scenarios, the Mountain Dniester.

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ГОРНОГО ДНЕСТРА В XXI СТОЛЕТИИ ПО СЦЕНАРИЮ RCP8.5 НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ «КЛИМАТ-СТОК»

Н. С. Лобода, М. А. Козлов, И. В. Катинская

*Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, natalie.loboda@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0002-0794-9951>
<https://orcid.org/0000-0001-9152-0471>*

Актуальность работы заключается в необходимости оценки изменений возможного состояния водных ресурсов Горного Днестра в результате глобального потепления. Горная часть бассейна Днестра является зоной формирования стока и определяет водность всей реки. Объектом исследований является процесс климатических изменений и их влияние на водные ресурсы водосборов Горного Днестра. Предметом исследований является определение изменений водных ресурсов в современных и возможных в будущем климатических условиях, представленных климатическими сценариями.

Целью работы является оценка изменений водных ресурсов горной части водосбора р. Днестр в современности и в будущем до середины XXI столетия (2021-2050 гг.) на базе модели «климат-сток» с использованием данных метеорологических наблюдений (до 2018 г. включительно) и сценарных данных (осредненные данные по 14 математическим моделям CORDEX сценария RCP8.5).

Выполнены оценки ресурсов увлажнения, тепла (теплоэнергетического эквивалента) и

водных ресурсов для современных (1989-2018 гг.) и сценарных (RCP8.5, 2021-2050 гг.) климатических условий на основе использования модели «климат-сток». Теоретической основой расчетов природного (не нарушенного водохозяйственной деятельностью) годового стока в этой модели является уравнение водно-теплового баланса. Входными данными служат метеорологические характеристики (средние месячные температуры воздуха и осадки). Сток, рассчитанный по уравнению водно-теплового баланса, называется климатическим. Особенностью исследований является применение закона вертикальной зональности в распределении стока и климатических факторов его формирования. Базовой зависимостью во время сравнительного анализа служила зависимость норм годового стока от высоты местности для Горного Днестра, приведенная в современных нормативных документах. Эта зависимость отображает распределение стока с высотой для климатических условий, предыдущих значимому влиянию глобального потепления на температурный режим воздуха (до 1989 г.).

Анализ зависимостей средних многолетних значений годового стока от высоты местности показал, что изменения стока за два рассматриваемых периода (до и после 1989 года) находятся в пределах $\pm 12,3\%$. Анализ графиков хронологического хода годовых расходов воды на горных притоках Днестра позволил сделать выводы об отсутствии статистически значимых тенденций в их колебаниях.

По климатическому сценарию RCP8.5 в период 2021-2050 гг. в соответствии с результатами расчетов на базе модели «климат-сток» получены зависимости средних многолетних величин климатических факторов и климатического стока от высоты местности. Выявлено, что с увеличением высоты последствия глобального потепления уменьшаются. В предгорье (до высоты 200 м) годовые суммы осадков уменьшаются (до 11%), максимально возможное испарение увеличивается (до 17%), водные ресурсы уменьшаются (до 46%). На высотах более 800 м увеличение ресурсов тепла и уменьшение водных ресурсов заканчивается. Среднее за расчетный период отклонение сценарных и базовых значений для осадков будет составлять 2,41% для осадков, 5,79% – для максимально возможного испарения, 8,87% – для водных ресурсов. Таким образом, уменьшение водных ресурсов горной части Днестра до середины XXI столетия будет несущественным. При оценке современного состояния водных ресурсов Горного Днестра также не выявлено существенных изменений, что соответствует данным других авторов.

Ключевые слова: влияние изменений климата на водные ресурсы; модель «климат-сток»; климатические сценарии; Горный Днестр.

Подання до редакції: 15. 11. 2021
Надходження остаточної версії : 21. 11. 2021
Публікація статті : 26. 11. 2021

УДК 551.465.4, 551.463.6

МІНЛИВІСТЬ ТЕРМОХАЛИННОГО РЕЖИМУ ВОД МЕКСИКАНСЬКОЇ ЗАТОКИ У 2005-2017 РОКАХ

Ю. Ель Хадрі, М. А. Берлінський, Д. Ю. Волков, М. О. Сліже

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

Мексиканська затока є великою, продуктивною, морською і прибережною екосистемою, яка забезпечує товарами і послугами жителів узбережжя, а також сусідні регіони. Води затоки відіграють значну роль у формуванні клімату не тільки в прибережних районах, тепловий стан вод цього регіону також надає безсумнівний вплив на розвиток атмосферних процесів над Атлантикою і Європою. Довгострокова мінливість клімату в регіоні Мексиканської затоки може вплинути на силу Гольфстріму і перенесення тепла в океані, а також на економічну активність і екологічну стабільність всієї Північно-Західної Атлантики. Метою даної роботи є визначення особливостей мінливості режиму температури та солоності вод Мексиканської затоки в останні десятиліття.

Дослідження проводилося на основі даних регіональної кліматології Мексиканської затоки (GOM RC) версія 2, отриманих з сайту Національних центрів екологічної інформації (NCEI) NOAA, були використані значення температури та солоності води на різних глибинах за період 2005-2017 рр. Аналіз показав, що у Мексиканській затоці в 2005-2017 рр. просторовий розподіл середньорічної температури води на поверхні (*SST*) демонструє її зниження з півдня на північ. Найбільша її величина відзначається біля північно-західних берегів Куби та у прибережній зоні затоки Кампече, найменша *SST* – в затоці Бухта Аппалачі, розташованої у північно-східній частині Мексиканської затоки. Порівняння розподілу *SST* у 1985-2017 та 1955-1984 роках показало, що найбільше збільшення *SST* спостерігається у північній, північно-східній і північно-західній частинах затоки (до 2,9° C). Зменшення *SST* відзначається в центральній, західній частинах затоки та в південно-східній частині затоки Кампече (до -1,3° C). У зимовий період спостерігаються значні горизонтальні градієнти *SST*, в теплий період поле *SST* має більш однорідний характер. Мінімальна середньомісячна *SST* відзначається в січні, максимальна – в вересні. Найбільш чітко сезонні зміни температури виражені в водах північної частини акваторії Мексиканської затоки біля берегів США. Розподіл середньорічної солоності на більшій частині акваторії Мексиканської затоки має однорідний характер, тільки в північній частині затоки, особливо в районі, де в затоку впадають води річки Міссісіпі, величина солоності різко зменшується. Для визначення стратифікації вод були побудовані графіки розподілу температури та солоності води на різних глибинах в різних районах затоки.

Ключові слова: Мексиканська затока; температура; солоність; стратифікація

1. ВСТУП

Мексиканська затока є одним з найбільш цікавих районів Світового океану. Води затоки відіграють значну роль у формуванні клімату не тільки в прибережних районах, тепловий стан вод даного регіону надає безсумнівний вплив на розвиток атмосферних процесів над Атлантикою і Європою, а й по суті формують Гольфстрім, який в перекладі з англійської мови означає - потік з затоки.

Оскільки фізичні процеси, які відбуваються в океані і атмосфері, одночасно взаємодіють між собою, то одна частина системи океан-атмосфера безпосередньо впливає на іншу. Зміна гідрологічного стану океану змінює стан атмос-

фери над даною ділянкою вод, що призводить до зміни погодних умов (хмарності, швидкості вітру, температури повітря тощо), це в свою чергу робить зворотний вплив на океан. Тому детальне вивчення особливостей і динаміки гідрологічного режиму водних об'єктів, особливо таких, як Мексиканська затока, має важливе значення для розуміння процесів, що відбуваються в системі океан-атмосфера і процесів, що формують регіональний клімат.

Мексиканська затока є великою, продуктивною, морською і прибережною екосистемою, яка забезпечує товарами і послугами жителів узбережжя, а також сусідні регіони. Це регіонально і глобально важлива водойма, яка з'єднується че-

рез Флоридську протоку з системою Гольфстріму і являє собою різноманітну сукупність водних середовищ існування.

Довгострокова мінливість клімату в регіоні Мексиканської затоки може вплинути на силу Гольфстріму і перенесення тепла в океані, а також на економічну активність і екологічну стабільність всієї Північно-Західної Атлантики.

Метою даної роботи є визначення особливостей режиму температури та солоності вод Мексиканської затоки в останні десятиліття (період 2005-2017 рр.), а також визначення зміни просторового розподілу температури води на поверхні у 1985-2017 рр. порівняно з 1955-1984 рр.

2. ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНИЙ ОПИС МЕКСИКАНСЬКОЇ ЗАТОКИ

Мексиканська затока розташована на північно-західній околиці тропічної зони Атлантичного океану, в широтному вигині північно-американського континенту і обмежена зі сходу лінією, що проходить через півострів Флорида і о. Куба (рис. 1). Площа Мексиканської затоки становить $1\,602 \cdot 10^3 \text{ км}^2$ [1].

Береги затоки низинні, вирівняні з лагунами, прибережна частина мілководна. Звужена південна частина акваторії, яка вдається до материка і обмежена зі сходу півостровом Юкатан, носить назву затока Кампече. З півночі береги

низькі та болотисті. На північному узбережжі розташована велика дельта річки Міссісіпі, яка вдається далеко в море.

Мексиканська затока з'єднується з Карибським морем широкою та глибокою Юкатанською протокою, ширина якої становить 115 миль. Західна частина протоки мілководна, центральна і східна частини мають глибини більше 1000 м. З Атлантичним океаном затоку з'єднує Флоридська протока, ширина якої між островами Куба і Флорида-Кіс близько 80 миль. У цій частині глибини в протоці досягають 1200-1300 м. Мінімальні глибини в протоці спостерігаються в її найвузькій частині, між Великою Багамською банкою і півостровом Флорида.

Потік вод, що потрапляють до Мексиканської затоки через Юкатанську протоку розділяється на дві струмені – праву і ліву. Ліва струминець проходить уздовж берегів півострова Юкатан і утворює циклонічну циркуляцію в затоці Кампече. Правий потік, проходить уздовж кубинського узбережжя і виходить через Флоридську протоку до Атлантичного океану.

Великий циклонний кругообіг вод, розташований на широті, де знаходиться і головний антициклонічний кругообіг Мексиканської затоки, знаходиться в її східній частині. Ці кругообіги

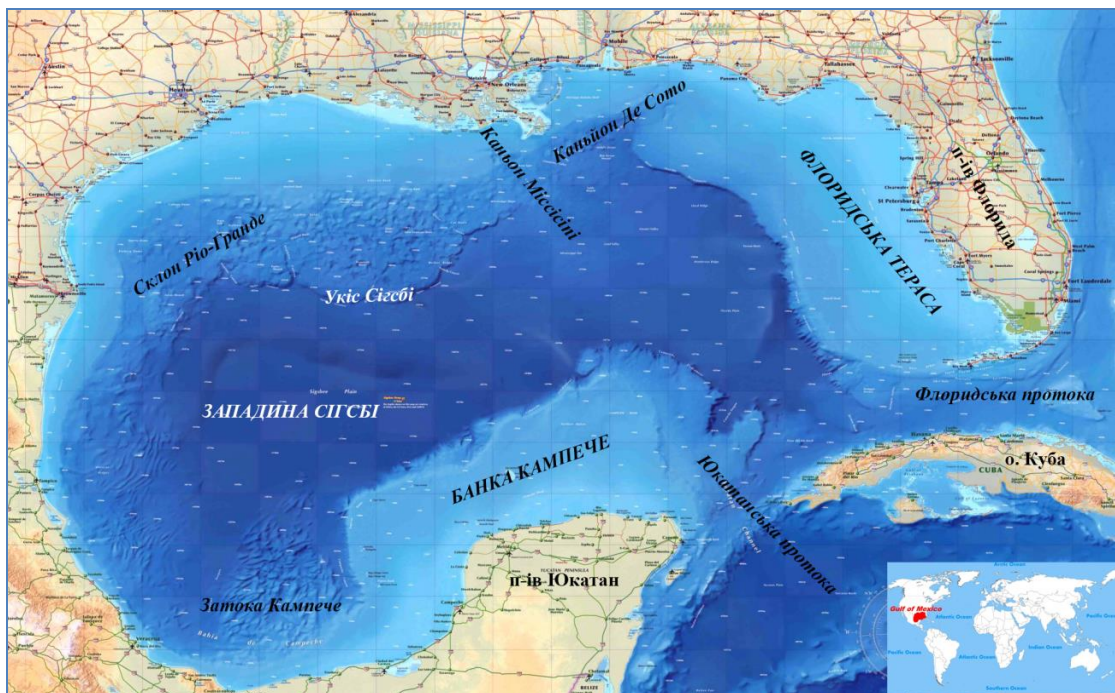


Рис. 1 – Карта Мексиканської затоки з основними елементами підводного рельєфу

Fig. 1 – Map of the Gulf of Mexico with the main elements of the underwater terrain

повільно рухаються в західну частину затоки протягом декількох тижнів і місяців [2]. Їх діаметр становить від 200 до 400 км, та вони проникають до глибини 1000 м [3]. Вихори взаємодіють один з одним і краєм шельфу при їх переміщенні на захід, що має важливі наслідки для місцевого біологічного відтворення. У центрах холодних кругообігів (циклонічних) відбувається апвелінг, а в центрах теплих антициклонічних кругообігів спостерігається даунвеллінг [4, 5].

В результаті в берегові райони транспортуються поживні речовини і організми. Поверхневі течії створюють зв'язок між екосистемами всередині та за межами затоки, транспортуючи поживні речовини, личинки, саргасум та інші важливі організми для підтримки життя в океані.

Циркуляція вод на континентальному шельфі має змінний характер, регульований, в основному, зміною напрямків місцевих вітрів, а також формується під впливом стоку великих річок, глибоководної циркуляції та, в деякій мірі, припливами. Переважаючі південно-східні вітри сприяють утворенню кругообігів в північній частині затоки.

Мексиканська затока є дев'ятою за величиною водоймою в світі, вона визнана однією з 64 великих морських екосистем Національним управлінням океанічних і атмосферних досліджень США (NOAA) [6]. Економічно та екологічно затока є однією з найбільш продуктивних і важливих водойм [7].

Акваторія затоки розташована в тропічному кліматичному поясі, лише її північна частина – в субтропічному. Увесь рік над затокою панують тропічні повітряні маси. Клімат Мексиканської затоки визначається пасатною циркуляцією повітря і характеризується великою однорідністю. Сезонні коливання метеорологічних елементів невеликі, за винятком її північної частини.

Мексиканська затока відрізняється різноманітністю зимових температурних умов [1]. У її північній частині температура повітря в січні становить 12-14° С, а в південній – перевищує 22° С. Найбільші температури спостерігаються в липні та становлять понад 28° С. Відносна вологість повітря над акваторією затоки на північ від тропіків має значення менше 70 %, а в північно-східній частині навіть менше 60 %. Мінімум вологості повітря відзначається в лютому-квітні, максимум – в липні-вересні.

Найбільше число днів з опадами припадає на червень-вересень (20-22 дні на місяць). У цей період сумарна місячна кількість опадів становить від 88 мм в липні до 130 мм в вересні [8].

Хмарність над Мексиканською затокою протягом року в середньому становить близько 5 балів, а в північній половині затоки в червні-серпні – менше 4 балів.

Тепловий та водний баланс моря має велике значення для розуміння процесів формування режиму температури і солоності вод. Сезонні та міжрічні коливання температури води в значній мірі визначаються відповідними коливаннями радіаційного балансу моря та витратою тепла на випаровування і турбулентний теплообмін, а коливання солоності – змінами співвідношення між осадками і випаровуванням. Сумарний за рік тепловий баланс в затоці становить 740 МДж/м². Це надмірне надходження тепла, по відношенню до його втрат через поверхню, витрачається внаслідок адвекції холодних вод в області циклонічного кругообігу в затоці Кампече, з яким пов'язаний підйом глибинних вод.

Найбільш значні сезонні коливання всіх складових теплового балансу спостерігаються в північній частині Мексиканської затоки, де радіаційний баланс досягає максимуму в травні (630 МДж/м²), а мінімуму в грудні (165 МДж/м²). Втрати тепла на випаровування і турбулентний обмін з атмосферою мають зворотний сезонний хід: в грудні і січні вони складають близько 750 МДж/м², а в серпні -200 МДж/м². Таким чином, тепловий баланс коливається від 370 МДж/м² на місяць в травні-серпні до -580 МДж/м² на місяць в грудні-січні. Сумарний за рік тепловий баланс в цій частині затоки від'ємний і складає близько -1100 МДж/м². Ця надлишкова витрата тепла через поверхню на випаровування і турбулентний обмін з атмосферою (головним чином в зимовий сезон) компенсується припливом більш теплих вод з Карибського моря [1].

Береговий стік грає помітну роль у змінах солоності тільки в прибережних районах океану і внутрішніх морях, де водообмін з океаном утруднений наявністю високих порогів і вузькістю проток. Будучи великим приймаючим басейном, Мексиканська затока отримує великий водозбірний стік з п'яти країн – Канади, Куби, Гватемали, Мексики і США. Річка Міссісіпі домінує в дренажних системах на півночі, а річкова система Гріхальва-Усумасінта панує на півдні. Уздовж узбережжя затоки розташовано тридцять три основні виходи річок і 207 заток, естуарійів і лагун [6]. В затоку впадає близько половини річок Мексики і одна третина річок Куби.

До Мексиканської затоки надходять води найбільшої річки Північної Америки – Міссісіпі.

Площа її басейну становить приблизно 3,27 млн км², що є третім за величиною показником в світі після Амазонки і Конго. Середньодобова витрата води Міссісіпі складає 21940 м³/с [9], що дорівнює 63 % від загального річкового стоку в Мексиканську затоку.

Другим за обсягом стоку є басейн річок Гріхальва і Усумасінта, що беруть початок в горах Сьера Мадре на півдні Мексики і впадають в затоку Кампече. Даний водозбір має площу 103300 км², його середньодобова витрата води складає 3727 м³/с, що становить 10,8 % від загального річкового стоку в затоку [10].

Значний внесок у водний баланс Мексиканської затоки вносять річки південно-східної частини США, їх сумарний стік дорівнює 10,5 % від загального річкового стоку в затоку. Річки Аппалачікола, Чоктохатчі, Ескембія, Томбігбі, Алабама, Паскагула і Перл-Рівер сильно розрізняються за розміром, гідрологією, геоморфологією та хімічним складом води, але мають схожий режим. Сумарна площа їх водозбору становить понад 265000 км² з приблизною сумарною добовою витратою води 4000 м³/с. Даний регіон характеризується великою кількістю опадів, уздовж і поблизу узбережжя затоки їх середньорічна кількість становить від 150 до 165 см на узбережжі, але знижується до 120-135 см всередині країни [11].

3. АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Температура води на поверхні (*SST*) значно впливає на клімат Мексиканської затоки, а також на його екосистеми. Наприклад, від величини *SST* залежить кількість водяної пари, яка експортується, що визначає траєкторії переміщення ураганів у даному регіоні. Тривалі аномалії *SST* в затоці змінюють перенесення вологості до більш високих широт, і таким чином, мають погодуутворюючу дію в сусідніх регіонах. Мінливість *SST* впливає на велику кількість цінних біологічних ресурсів затоки, а саме на чисельність популяцій рожевої креветки, черепахи *Eretmochelys imbricata* (що знаходиться на межі повного зникнення) і морських окунів [12]. Це в свою чергу безпосередньо впливає на величину морського улову, тому що в водах затоки існують комерційно важливі регіональні рибні ресурси, які є особливо чутливими до змін *SST*.

Мало що відомо про десятилітню і довгострокову мінливість *SST* в водах Мексиканської затоки. У деяких дослідженнях [13] повідомлялося про існування постійних сигналів зміни температури з періодами від 60 до 80 років, які

можуть бути пов'язані з низькочастотними коливаннями Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO). Результати дослідження [12] показали, що характерний для вод затоки 60-річний цикл коливання *SST* особливо чітко простежується в південній частині затоки в басейні Кампече та на шельфі Юкатана, що також може бути пов'язано з квазіглобальним постійним кліматичним явищем AMO. У той же час, в північній частині затоки на *SST* впливає 10-річний цикл, який, ймовірно, пов'язаний з мінливістю у стоці річки Міссісіпі.

Вивчення сезонної мінливості *SST*, що проводилося за допомогою термодинамічних моделей, які використовували в якості вхідних даних швидкість і напрям вітру, океанічні течії, приплив підземних вод і тиск насиченої пари на поверхні моря [14] показало, що річний хід *SST* в регіоні знаходиться під впливом теплоперенесення, зокрема через канал Юкатан, що викликано динамікою атмосфери в місячному масштабі та процесами адвекції.

В цілому, вивчення температурного режиму вод Мексиканської затоки показало, що загальне збільшення середньої сезонної температури влітку в придонному шарі на північному шельфі перевищує в 1,9 рази річне збільшення температури повітря в цьому регіоні, і в 4,7 рази підвищення глобальної температури океану з 1998 по 2014 рр. [15].

Наслідки потепління вод Світового океану для організмів його мешканців добре вивчені – це зменшення розмірів бактерій, донних безхребетних і риб [16]. Наприклад, середня вага і довжина 3-, 4- і 5-річних особин риби *Menhaden* (улов якої становить приблизно половину вилову риби на узбережжі Атлантичного океану і Мексиканської затоки в США) скоротилися на обох берегах на 15 %. Отже, наслідки цієї зміни у розмірі впливають на індивідуальну здатність до ікрометання *Menhaden*, що далі поширюється по всьому харчовому ланцюжку [17]. В результаті, на тлі підвищення температури океану, обсяг щорічного вилову *Menhaden* за останні 65 років скоротився.

Останні десятиліття людство перебуває в пошуках нових видів енергії для задоволення своїх зростаючих потреб і збереження сталого розвитку. Одним з інноваційних способів отримання енергії з вод океану є технологія, що дозволяє виробляти її від змішування солоної та прісної води. Взаємодія прісної та солоної води може дати необмежену, безкоштовну і чисту електроенергію, в основі вироблення якої лежить так званий градієнт солоності, що виникає при змішуванні двох видів води [18]. Таким чином, на-

копичення інформації про просторово-часовий розподіл солоності має велике значення для аналізу умов, сприятливих для розміщення таких електростанцій та, взагалі, для переходу всієї морегосподарської діяльності на принципи «Блакитної економіки».

4. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Вивчення режиму температури та солоності проводилося на основі даних регіональної кліматології Мексиканської затоки (GOM RC) версія 2, отриманих з сайту Національних центрів екологічної інформації (NCEI) NOAA [19]. Для аналізу були використані значення температури (T) та солоності (S) води на різних глибинах за період 2005-2017 рр.

Дані регіональної кліматології Мексиканської затоки (GOM RC) версія 2 були випущені в жовтні 2020 року [20] і включають до себе інформацію з бази даних Світового океану 2018 (WOD18) і Атласу Світового океану 2018 (WOA18) [21], а також містять більш докладні термохалинні поля і оновлену інформацію по океанографічним змінним, недоступним в попередніх версіях. Оновлення істотно переглядає і розширює вихідну GOM RC, яка була випущена в 2010 році після розливу нафти Deepwater Horizon і оновлена у 2011 році. Дані Бази даних Світового океану 2018 (WOD18) представляють собою асиміляцію даних спостережень на океанологічних станціях, виміри, зроблені з морських дослідницьких суден, пришвартованих і дрейфуючих буїв.

Домен GOM RC включає в себе квадрат, обмежений координатами: 18-35° пн.ш., 98-75°зх.д. Середньорічні значення температури води і солоності в GOM RC розраховуються як середнє значення за 12 місяців, і представлені у вигляді поля зі значеннями у вузлах сітки з кроком 1° на горизонтах від 0 до 5500 м. Середньомісячні поля мають просторову роздільну здатність 0,1° x 0,1° і доступні на глибинах від 0 до 1500 м [20].

5. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

5.1 Термічний режим

Аналіз просторового розподілу середньорічної $SST_{річн}$ Мексиканської затоки за даними за період 2005-2017 рр. показав, що досить чітко простежується її зниження з півдня на північ (рис. 2а). Найбільше її значення (27,3° C) відзначається біля північно-західних берегів Куби та у прибережній зоні затоки Кампече, найменша

$SST_{річн}$ (23,8° C) спостерігається в затоці Бухта Аппалачі, розташованій у північно-східній частині Мексиканської затоки.

Аналіз зміни середньорічної SST в 1985-2017 рр. у порівнянні з 1955-1984 рр. (рис. 2б) показав, що її збільшення відзначається у північній (до 2,9° C), північно-східній (до 2,5° C) і північно-західній (2,1° C) частинах затоки, а також у західних берегах затоки Кампече (до 1,6° C) та в водах банки Кампече (до 1,1° C). Зменшення SST

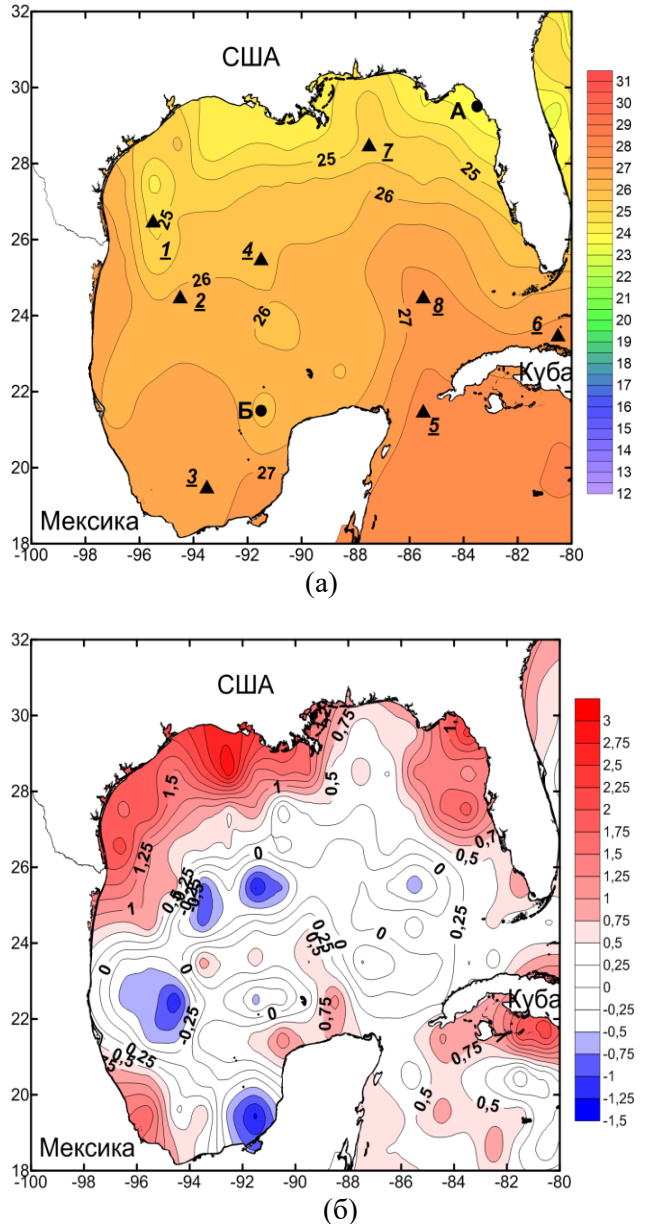


Рис. 2 – (а) – $SST_{річн}$ (° C) за період 2005-2017 рр., трикутниками вказані точки, для яких побудовані графіки розподілу по глибині температури і солоності, (б) – зміна $SST_{річн}$ (° C) в 1985-2017 vs. 1955-1984 рр.

Fig. 2 – (а) – SST_{an} (° C) for 2005-2017, triangles indicate the points for which the graphs of the distribution of the depth of temperature and salinity, (б) – change SST_{an} (° C) in 1985-2017 vs. 1955-1984

спостерігається в центральній (до $-1,3^{\circ}\text{C}$), західній (до $-1,2^{\circ}\text{C}$) частинах затоки та в південно-східній частині затоки Кампече (до $-1,3^{\circ}\text{C}$). Такі зміни протилежного знака в різних частинах затоки можуть бути пов'язані з описаним вище 10-річним циклом мінливості SST в північній частині та 60-річним циклом SST в південній частині затоки.

Дослідження режиму вод затоки, виконані у 60-70 роках минулого століття [1] показали, що зростання SST в напрямку з півдня на північ виражено досить чітко, однак і тут зональність в її розподілі порушується через особливості циркуляції вод затоки. У південній частині, в затоці Кампече, температура води становила 26°C взимку і дещо перевищувала 26°C влітку. На півночі Мексиканської затоки вона була менше 20°C взимку, але досягала 29°C і навіть 30°C влітку.

Найбільш чітко сезонні зміни SST виражені в водах північної частини акваторії Мексиканської затоки біля берегів США. Як видно з рисунку 3, в точці А мінімум SST відзначається в січні ($14,6^{\circ}\text{C}$), а максимум у серпні ($30,3^{\circ}\text{C}$), амплітуда річного ходу становить $15,7^{\circ}\text{C}$. У точці Б графік річного ходу SST має більш згладжений вигляд, з мінімумом в січні-лютому ($23,9^{\circ}\text{C}$) і максимумом у вересні ($29,4^{\circ}\text{C}$), річна амплітуда становить $5,5^{\circ}\text{C}$.

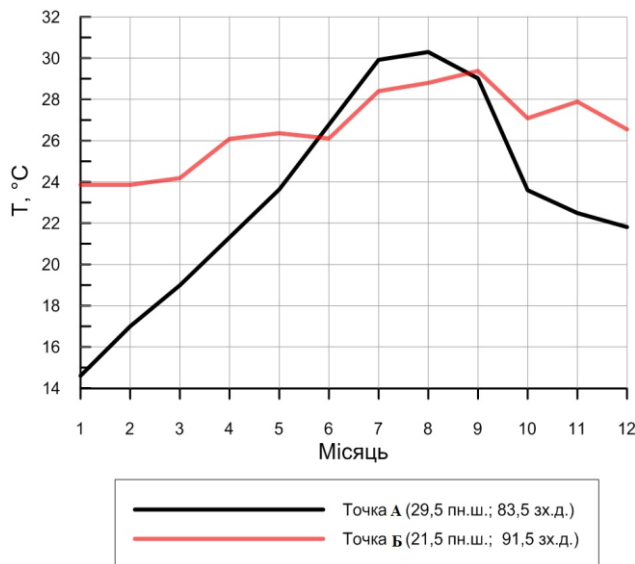


Рис. 3 – Річний хід SST ($^{\circ}\text{C}$) в північно-східній частині (точка А) і в південній частині (точка Б) Мексиканської затоки для періоду 2005-2017 рр.

Fig. 3 – Seasonal cycle SST ($^{\circ}\text{C}$) in the north-eastern part (point А) and in the southern part (point В) of the Gulf of Mexico in 2005-2017

Для визначення стратифікації вод були побудовані графіки розподілу температури води на різних глибинах в різних районах затоки (таблиця 1, рис. 2). Розподіл температури води з глибиною (рис. 4) демонструє, що квазіоднорідний шар поширюється до глибини 20-50 м. Нижче розташований термоклін (шар найбільшого падіння температури), який поширюється до глибини 150-300 м. На його нижньому рівні температура води у всіх точках має значення близько $15-17^{\circ}\text{C}$. Потім вертикальний градієнт температури зменшується і нижче горизонту 900-1300 м (рис. 4б, г, д, ж, з) розташовуються глибинні води, температура яких становить близько 5°C .

Таблиця 1 Координати точок, в яких були побудовані графіки розподілу температури та солоності води за глибиною

Table 1 Coordinates of points at which graphs of distribution of temperature and salinity of water on depth were plotted

Точки	Координати		Примітка, місце розташування
	φ, ° пн.ш.	λ, ° зх.д.	
1	26,5	95,5	північно-західна частина затоки в зоні дії антициклонічного кругообігу вод
2	24,5	94,5	західна частина затоки в зоні дії антициклонічного кругообігу вод
3	19,5	93,5	затока Кампече
4	25,5	91,5	підніжжя укусу Сігсбі
5	21,5	85,5	Юкатанська протока
6	23,5	80,5	Флоридська протока
7	28,5	87,5	каньйон Де Сото
8	24,5	85,5	південно-східна частині затоки

З попередніх досліджень [1] відомо, що води Мексиканської затоки добре стратифіковані до глибини 1200 м, слабо стратифіковані у шарі 1200-1800 м і абсолютно однорідні нижче 1800 м (до самого дна). Спостережувані в Карибському морі водні маси надходять з Атлантичного океану, тому характер стратифікації пов'язаний з глибиною порогів в протоках Малих і Великих Антильських островів.

В цілому можна сказати, що на формування температурного режиму вод Мексиканської затоки сильно впливає радіаційний баланс, зміна котрого простежується в широтній зміні середньорічних температур води на поверхні затоки, а також у характері її сезонній зміні. Значною мірою на розподіл температури впливає адвекція тепла течіями, а також формування холодних осередків сформованих під впливом динамічних чинників, таких як даунвелінг та апвелінг, що виникають в центрах антициклонічних і циклонічних кругообігів вод.

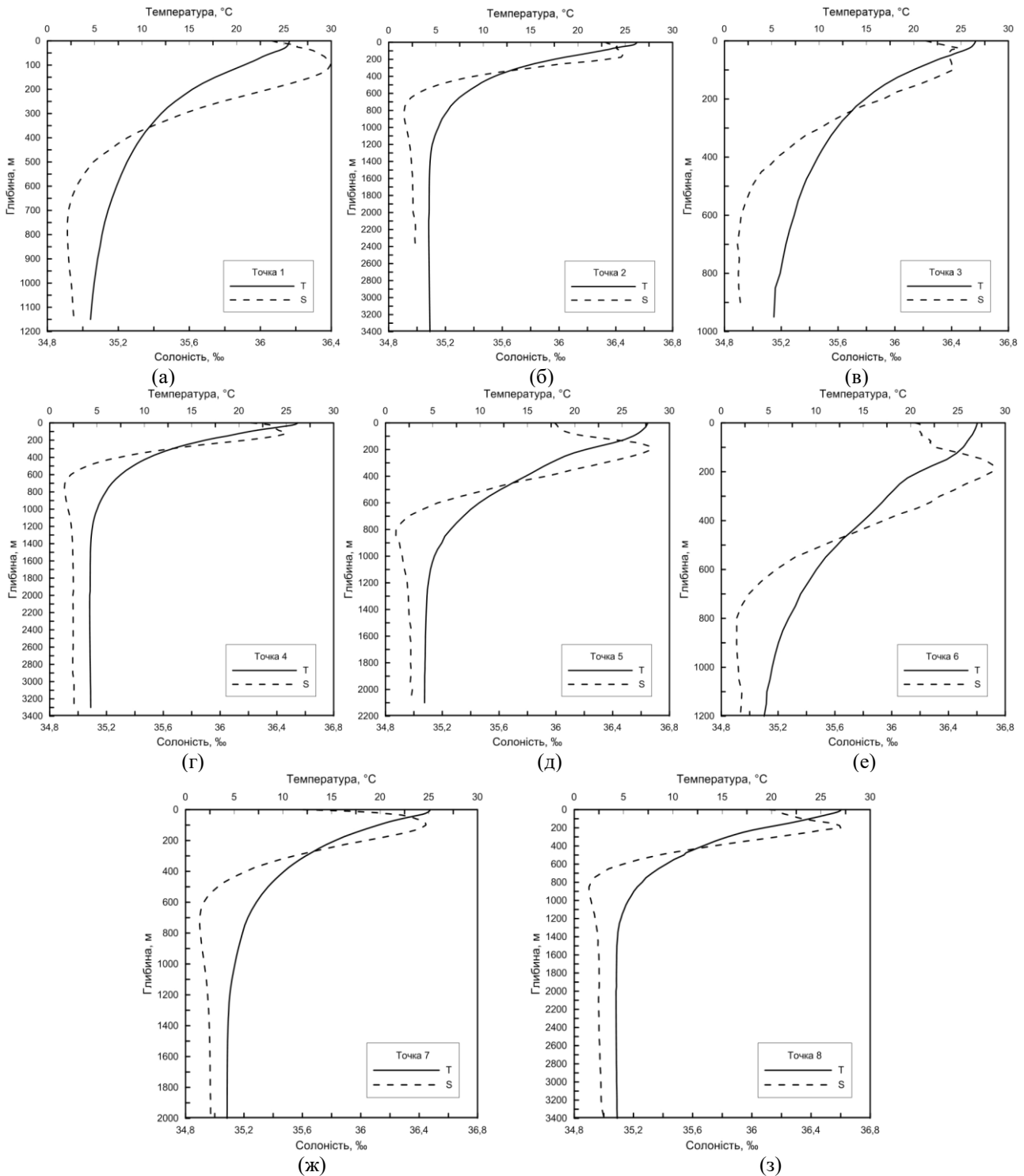


Рис. 4 – Розподіл температури морської води і солоності з глибиною: (а) – точка 1, (б) – точка 2, (в) – точка 3, (г) – точка 4, (д) – точка 5, (е) – точка 6, (ж) – точка 7, (з) – точка 8 (див. табл. 1)

Fig. 4 – Distribution of T and S in points: (a) – 1, (б) – 2, (в) – 3, (г) – 4, (д) – 5, (е) – 6, (ж) – 7, (з) – 8 (see table 1)

5.2 Солоність вод

Неоднорідність поля солоності океану формується головним чином в результаті зміни концентрації солей в поверхневому квазіоднорідному шарі через випаровування і опади. Глибше

цього шару поле солоності формується тільки в результаті взаємодії між перенесенням солей течіями та їх дифузисю при турбулентному обміні.

Горизонтальний розподіл солоності в поверхневому шарі обумовлений різними причинами:

кількістю опадів, випаровуванням, річковим стоком, підйомом або опусканням і горизонтальним переносом вод. Річковий стік помітно впливає на солоність вод в прибережних районах, і найбільш помітно – поблизу гирл великих річок. Як видно з рисунка 5, на більшій частині акваторії Мексиканської затоки розподіл солоності має однорідний характер зі значеннями близько 36,0-36,5 ‰. Тільки в північній частині затоки, особливо в районі де в затоку впадають води річки Міссісіпі, величина солоності має свої мінімальні значення (менше 32 ‰).

Найбільша солоність відзначається в затоці Кампаче, де незважаючи на достатнє випадіння опадів, розташована область зі значеннями більше 37 ‰. Причиною цього є вихід на поверхню солоної підповерхневої субтропічної води, обумовлений її циклонічним рухом.

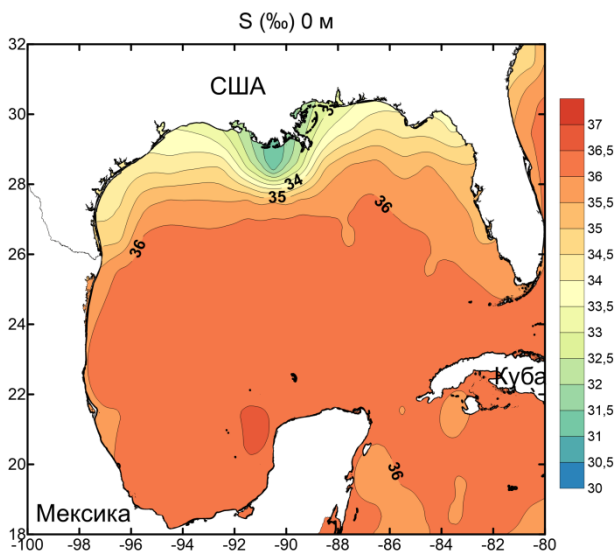


Рис. 5 – Середньорічна солоність води S (‰) для періоду 2005-2017 рр.

Fig. 5 – Average annual S (‰) in 2005-2017

Аналіз вертикального розподілу S демонструє, що розташування шару підповерхневого максимуму (нижньої межі галокліна) знаходиться на глибинах 100-200 м і в різних частинах затоки його положення неоднакове. Максимальна S в точках, в яких будувалися графіки розподілу (рис. 4), становить 36,4-36,7 ‰. Нижче галокліна розташований шар зі значним зменшенням S , він тягнеться до глибини близько 300-400 м. Глибше величина градієнта S зменшується. Між глибинами від 700-800 м до 1200-1400 м відбувається незначне зростання S , нижче розташований однорідний шар вод з S 34,9-35,0 ‰.

Необхідно додати, що в точці 3, розташованій в затоці Кампаче, крім максимуму солоності, який знаходиться на глибині 25 м і дорівнює

36,45 ‰, спостерігається вторинний максимум на глибині 95 м, зі значенням 36,41 ‰.

У тих областях, де солоність поверхневих вод підвищена, з глибиною відбувається деяке її зменшення. В районах розпріснених поверхневих вод солоність підвищується з глибиною.

Мексиканська затока розташована в субтропічній зоні, де знаходиться зона максимальної солоності, що збігається з областю негативного прісного балансу. Вода з високою солоністю формується в зоні Азорського максимуму атмосферного тиску і пасатів, де найбільш сприятливі умови для сильного випаровування. Низхідні рухи в антициклоні перешкоджають утворенню хмарності; прозора атмосфера сприяє сильному прогріванню води сонцем, а стійкі пасатні вітри постійно виносять вологу, яка випарувалася. В результаті тут влітку випаровується шар до 8 мм на добу, або до 3 м на рік. Це може призводити до підвищення солоності поверхневих вод до 37,9 ‰. Але необхідно відмітити, що води, які потрапляють до Мексиканської затоки з Карибського моря, частково складаються з вод Північної екваторіальної течії Північноатлантичного субтропічного кругообігу і, частково, Південної екваторіальної течії Південноатлантичного субтропічного кругообігу. Ці води теплі і солоні, однак, вода верхнього шару Південноатлантичного субтропічного кругообігу стає прісною через приплив великих опадів при протіканні через екваторіальний регіон, і через приплив великої кількості прісної води з Амазонки, Оріноко та інших річок уздовж північного узбережжя Південної Америки [22]. Це можна побачити на рисунку 6а, де видно, що на глибині 50 м солоність вод у Карибському морі на 0,2 ‰ нижча, ніж у Мексиканській затоці та в Атлантичному океані біля Багамських островів. На глибині 200 м (рис. 6б) води затоки менш солоні ніж в сусідніх районах Атлантики і Карибського моря, а осередки підвищеної та зниженої солоності відповідають розташуванню антициклонічного та циклонічного кругообігів в західній частині затоки [2]. На глибині 500 м і нижче (рис. 6в, г) поле солоності в затоці має однорідний характер.

Широтний розподіл солоності на поверхні затоки викликаний двома основними факторами – розподілом радіаційного балансу (високі значення якого сприяють значному випаровуванню, що призводить до збільшення солоності), а також прісним річковим стоком (низькі значення солоності уздовж узбережжя США, з мінімумом в районі дельти Міссісіпі).

Необхідно додати, що горизонтальний розподіл температури, солоності і густини води

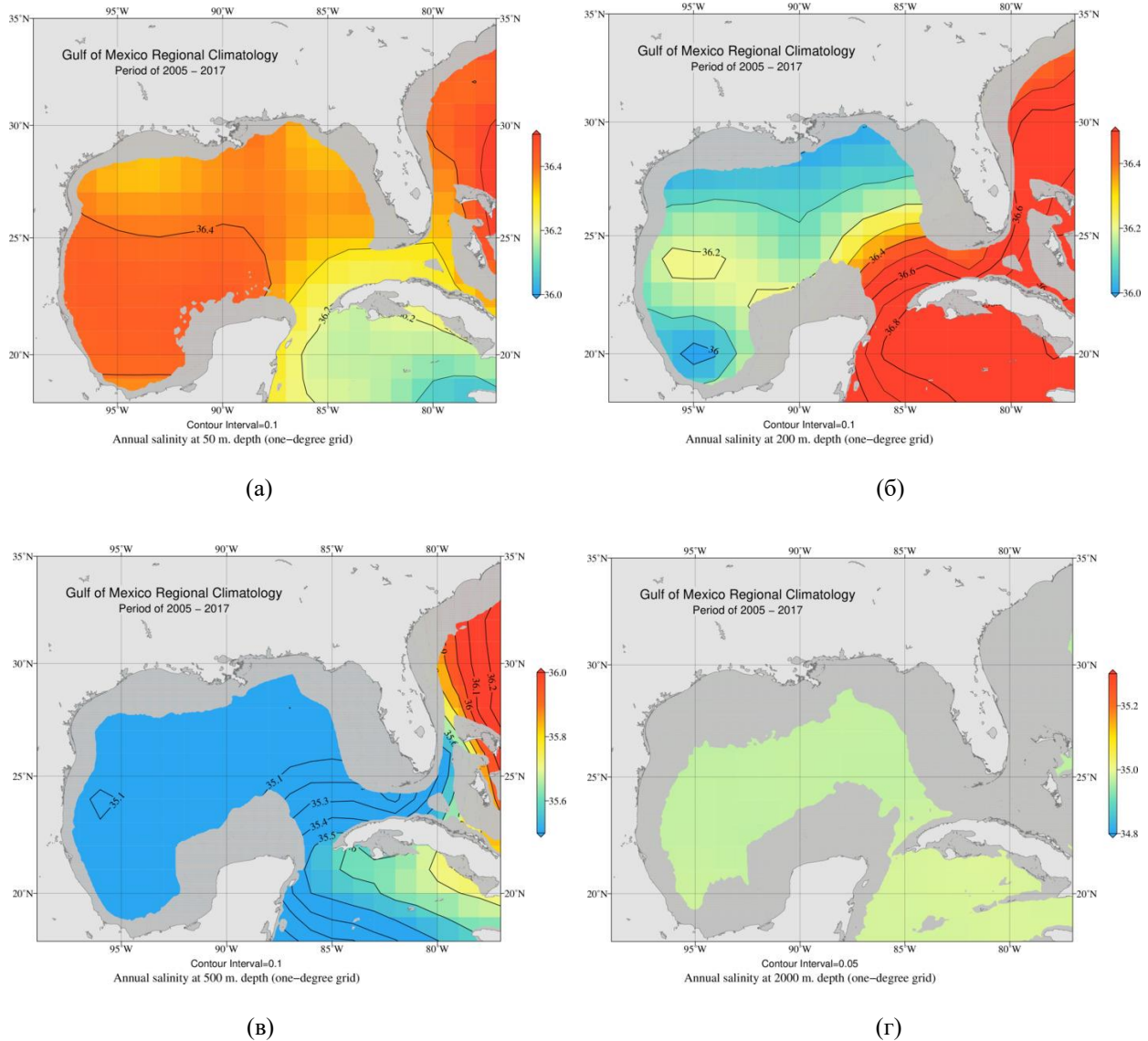


Рис. 6 – Просторовий розподіл солоності (‰) на глибинах: (а) – 50 м, (б) – 200 м, (в) – 500 м, (г) – 2000 м [19]
Fig. 6 – Spatial distribution of S (‰) at depths: (a) – 50 m, (б) – 200 m, (в) – 500 m, (г) – 2000 m [19]

визначається, головним чином, системою циркуляції вод [2, 4, 5]. Тільки в самому верхньому шарі деякі особливості в розподілі цих елементів пов'язані із зовнішнім тепловим балансом, втратою води при випаровуванні та її припливу за рахунок опадів і річкового стоку.

6. ВИСНОВКИ

1. Аналіз показав, що у Мексиканській затоці в 2005-2017 рр. просторовий розподіл SST демонструє її зниження з півдня на північ. Найбільша її величина ($27,3^{\circ}C$) відзначається біля північно-західних берегів Куби та у прибережній зоні затоки Кампече, найменша SST ($23,8^{\circ}C$) спостерігається в затоці Бухта Аппалачі, розташованій у північно-східній частині затоки.

Порівняння розподілу середньорічної SST в 1985-2017 рр. відносно 1955-1984 рр. показало, що найбільше підвищення SST спостерігається у північній, північно-східній і північно-західній частинах затоки (до $2,9^{\circ}C$). Зменшення SST відзначається в центральній, західній частинах Мексиканської затоки та в південно-східній частині затоки Кампече (до $-1,3^{\circ}C$).

2. У зимовий період відзначаються значні горизонтальні градієнти SST , в той час як в теплий період року поле температури має більш однорідний характер. Мінімальна середньомісячна SST відзначається в січні ($14,6^{\circ}C$), максимальна – в вересні ($30,6^{\circ}C$). Найбільш чітко сезонні зміни SST виражені в водах північної частини акваторії Мексиканської затоки біля берегів США, де амплітуда річного ходу досягає $15,7^{\circ}C$, на відміну

від півдня затоки, де амплітуда становить близько 5° С.

3. Розподіл температури води з глибиною демонструє, що квазіоднорідний шар поширюється до глибини 20-50 м. Нижче розташований термоклін, який поширюється до глибини 150-300 м. Нижче рівня 900-1300 м залягають глибинні води, температура яких становить близько 5° С.

4. Розподіл середньорічної солоності на поверхні на більшій частині акваторії Мексиканської затоки має однорідний характер зі значеннями близько 36,0-36,5 ‰. Тільки в північній частині, особливо в районі де в затоку впадають води річки Міссісіпі, величина солоності має мінімальні значення (менше 32 ‰).

5. Вертикальний розподіл солоності демонструє, що розташування шару підповерхневого максимуму знаходиться на глибинах 100-200 м і в різних частинах затоки його положення неоднакове. Максимальна солоність становить 36,4-36,7 ‰. Нижче галокліна розташований шар зі значним зменшенням солоності, він тягнеться до глибини близько 300-400 м. На глибинах нижче 1200-1400 м розташований однорідний шар вод з солоністю 34,9-35,0 ‰.

6. На формування режиму температури і солоності значного впливу надає радіаційний баланс, зміна якого простежується в широтній зміні цих величин на поверхні затоки, а також у характері їх сезонної зміни.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Суховей В. Ф., Коротаев Г. К., Шапиро Н. Б. Гидрология Карибского моря и Мексиканского залива. Ленинград: Гидрометеиздат, 1980. 183 с.
2. Sturges W., Leben R. R. Frequency of ring separations for the loop current in the Gulf of Mexico. *Journal of Physical Oceanography*. 2000. Vol. 30. Pp. 1814-1819.
3. Mooers C. N. K., Maul G. A. Intra-Americas sea circulation. *The sea: The global coastal ocean. Regional studies and syntheses* / Edited by A. R. Robinson. New York: John Wiley and Sons, 1998. Pp. 183-208.
4. Sturges W., Lugo-Fernandez A. Circulation in the Gulf of Mexico: over most of the Gulf observations and models. Washington: AGU, 2005. 347 p.
5. Seasonal upwelling on the Western and Southern Shelves of the Gulf of Mexico / Zavala-Hidalgo J., Gallegos-García A., Martínez-López B. et al. *Ocean Dynamics*. 2006. 56. Pp. 333-338. <https://doi.org/10.1007/s10236-006-0072-3>
6. Kumpf H., Steidinger K., Sherman K. The Gulf of Mexico large marine ecosystem: Assessment, sustainability, and management. Malden: Blackwell Science, 1999. 704 p.
7. Gulf 360: State of the Gulf of Mexico. Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies / Yoskowitz D., Leon C., Gibeaut J. et al. Texas: A&M University-Corpus Christi, 2013. 52 p.
8. Weather Atlas. URL: <https://www.weather-us.com/en/florida-usa/key-west-climate#rainfall>

(Accessed: 11.11.2021)

9. Royer T. V. Stoichiometry of nitrogen, phosphorus, and silica loads in the Mississippi-Atchafalaya River basin reveals spatial and temporal patterns in risk for cyanobacterial blooms. *Limnology and Oceanography*. 2020. 65(2). Pp. 325-335. <https://doi.org/10.1002/lno.11300>
10. Ward C. H., Tunnell J. W. Habitats and biota of the Gulf of Mexico: An overview. *Habitats and biota of the Gulf of Mexico: Before the deepwater horizon oil spill* / Edited by Ward C. New York: Springer, 2017. Pp. 1-54 https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3447-8_1
11. Ward M., Harris P. M., Ward A. K. Gulf coast rivers of the Southeastern United States. *Rivers of North America*. / Edited by Benke A. C., Cushing C. E. London: Academic Press, 2005. Pp. 124-178. <https://doi.org/10.1016/B978-012088253-3/5000>
12. del Monte-Luna P., Villalobos H., Arreguin-Sanchez F. Variability of sea surface temperature in the southwestern Gulf of Mexico. *Continental Shelf Research*. 2015. Vol. 102. Pp. 73-79. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2015.04.017>
13. Evidence of multidecadal climate variability and the Atlantic multidecadal oscillation from a Gulf of Mexico sea-surface temperature-proxy record / Poore R. Z. et al. *Geo-Mar. Lett.* 2009. 29. Pp. 477-484. <http://dx.doi.org/10.1007/s00367-009-0154-6>
14. Zavala-Hidalgo J., Pares-Sierra A., Ochoa J. Seasonal variability of the temperature and heat fluxes in the Gulf of Mexico. *Atmosfera*. 2002. 15. Pp. 81-104.
15. Turner R. E., Rabalais N. N., Justic D. Trends in summer bottom-water temperatures on the northern Gulf of Mexico continental shelf from 1985 to 2015. *PLoS One*. 2017. 12(9): e0184350. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184350>
16. Hiddink J. G., Burrows M. T., Molinos J. G. Temperature tracking by North Sea benthic invertebrates in response to climate change. *Global Change Biology*. 2015. 21. Pp. 117-129. <https://doi.org/10.1111/gcb.12726>
17. Turner R., Rabalais N. The Gulf of Mexico. *World Seas: an Environmental Evaluation*. Volume I: Europe, The Americas and West Africa / Edited by C. Sheppard. London: Academic Press, 2019. Pp. 445-464. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805068-2.00022-X>
18. Charge-Free Mixing Entropy Battery Enabled by Low-Cost Electrode Materials / Ye M. et al. *ACS Omega*. 2019. Vol. 4 (7). Pp. 11785-11790. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b00863>
19. The Gulf of Mexico regional climatology version 2. URL: <https://www.ncei.noaa.gov/access/gulf-of-mexico-climate/gulf-data.html> (Accessed: 09.03.2021)
20. Gulf of Mexico regional climatology version 2 (NCEI Accession 0222571). NOAA National Centers for Environmental Information. Dataset / Seidov D., Mishonov A. V., Boyer T. P. et al. <https://doi.org/10.25921/4sxe-ay54>
21. World Ocean database 2018. NOAA Atlas NESDIS 87 / Boyer T. P., Baranova O. K., Coleman C. et al. URL: https://www.ncei.noaa.gov/sites/default/files/2020-04/wod_intro.pdf (Accessed: 07.05.2021)
22. Dong S. Intra-Americas Sea Ocean Nowcast / Forecast System. Evaluation against CTD. URL: https://www7320.nrlssc.navy.mil/IASNFS_WWW/IASNFS_ctd.html (Accessed: 27.07.2021)

REFERENCES

1. Sukhovey, V.F., Korotaev, G.K. & Shapiro, N.B. (1980). *Gidrologiya Karibskogo morya i Meksikanskogo zaliva [Hydrology of the Caribbean and the Gulf of Mexico]*.

- Leningrad: Gidrometeoizdat. (in Russ)
2. Sturges, W. & Leben, R.R. (2000). Frequency of ring separations for the loop current in the Gulf of Mexico. *Journal of Physical Oceanography*, 30, pp. 1814-1819
 3. Mooers, C.N.K. & Maul, G.A. (1998). Intra-Americas sea circulation. In: A.R. Robinson (ed.). *The sea: The global coastal ocean. Regional studies and syntheses*. New York: John Wiley and Sons
 4. Sturges, W. & Lugo-Fernandez, A. (2005). *Circulation in the Gulf of Mexico: over most of the Gulf observations and models*. Washington: AGU
 5. Zavala-Hidalgo, J., Gallegos-García, A., Martínez-López, B. et al. (2006). Seasonal upwelling on the Western and Southern Shelves of the Gulf of Mexico. *Ocean Dynamics*, 56, pp. 333-338. <https://doi.org/10.1007/s10236-006-0072-3>
 6. Kumpf, H., Steidinger, K. & Sherman K. (1999). *The Gulf of Mexico large marine ecosystem: Assessment, sustainability, and management*. Malden: Blackwell Science.
 7. Yoskowitz, D., Leon, C., Gibeau, J., Lupher, B. et al. (2013). *Gulf 360: State of the Gulf of Mexico*. Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies. Texas: A&M University-Corpus Christi.
 8. *Weather Atlas*. Available at: <https://www.weather-us.com/en/florida-usa/key-west-climate#rainfall> (accessed 11 November 2021)
 9. Royer, T.V. (2020). Stoichiometry of nitrogen, phosphorus, and silica loads in the Mississippi-Atchafalaya River basin reveals spatial and temporal patterns in risk for cyanobacterial blooms. *Limnology and Oceanography*, 65(2), pp. 325-335. <https://doi.org/10.1002/lno.11300>
 10. Ward, C.H. & Tunnell, J.W. (2017). Habitats and biota of the Gulf of Mexico: An overview. In: Ward, C. (ed.). *Habitats and biota of the Gulf of Mexico: Before the deepwater horizon oil spill*. New York: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3447-8_1
 11. Ward, M., Harris, P.M. & Ward, A.K. (2005). Gulf coast rivers of the Southeastern United States. In: Benke, A.C., Cushing, C.E. (eds). *Rivers of North America*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012088253-3/5000>
 12. del Monte-Luna, P., Villalobos, H. & Arreguin-Sanchez, F. (2015). Variability of sea surface temperature in the southwestern Gulf of Mexico. *Continental Shelf Research*, 102, pp. 73-79. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2015.04.017>
 13. Poore, R.Z., DeLong, K.L., Richey, J.N. & Quinn, T.M. (2009). Evidence of multidecadal climate variability and the Atlantic multidecadal oscillation from a Gulf of Mexico sea-surface temperature-proxy record. *Geo-Mar. Lett.*, 29, pp. 477-484. <http://dx.doi.org/10.1007/s00367-009-0154-6>
 14. Zavala-Hidalgo, J., Pares-Sierra, A. & Ochoa, J. (2002). Seasonal variability of the temperature and heat fluxes in the Gulf of Mexico. *Atmosfera*, 15, pp. 81-104.
 15. Turner, R.E., Rabalais, N.N. & Justic, D. (2017). Trends in summer bottom-water temperatures on the northern Gulf of Mexico continental shelf from 1985 to 2015. *PLoS One*, 12(9), e0184350. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184350>
 16. Hiddink, J.G., Burrows, M.T. & Molinos, J.G. (2015). Temperature tracking by North Sea benthic invertebrates in response to climate change. *Global Change Biology*, 21, pp. 117-129. DOI:10.1111/gcb.12726
 17. Sheppard, C. (ed.). (2019). *The Gulf of Mexico. In: World Seas: an Environmental Evaluation*. Volume I: Europe, The Americas and West Africa. London: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805068-2.00022-X>
 18. Ye, Met al. (2019). Charge-Free Mixing Entropy Battery Enabled by Low-Cost Electrode Materials. *ACS Omega*, 4(7), pp. 11785-11790. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b00863>
 19. *The Gulf of Mexico Regional Climatology version 2*. Available at: <https://www.ncei.noaa.gov/access/gulf-of-mexico-climate/gulf-data.html> (accessed 9 March 2021)
 20. Seidov, D., Mishonov, A.V., Boyer, T.P. et al. (2020). *Gulf of Mexico regional climatology version 2 (NCEI Accession 0222571)*. NOAA National Centers for Environmental Information. Dataset. Available at: <https://doi.org/10.25921/4sxe-ay54> (accessed 7 May 2021)
 21. Boyer, T.P., Baranova, O.K., Coleman, C. et al. (2018). *World Ocean Database 2018*. NOAA Atlas NESDIS 87. Available at: https://www.ncei.noaa.gov/sites/default/files/2020-04/wod_intro.pdf (accessed 7 May 2021)
 22. Dong, S. (2020). *Intra-Americas Sea Ocean Nowcast / Forecast System. Evaluation against CTD*. Available at: https://www7320.nrlssc.navy.mil/IASNFS_WWW/IASNFS_ctd.html (accessed 27 July 2021)

VARIABILITY OF THERMOHALINE REGIME OF SEE WATER OF THE GULF OF MEXICO IN 2005-2017

Yu. El Hadri, N. A. Berlinsky, D. Yu. Volkov, M. O. Slizhe

*Odessa State Environmental University,
15, Lvivska St., 65016 Odesa, Ukraine, magribinets@ukr.net*

The Gulf of Mexico is a large, productive, marine and coastal ecosystem providing the coastal residents and neighbouring regions with goods and services. The Gulf of Mexico's water area plays a significant role in shaping the climate across the coastal zone and the thermal state of the region's water also has a major impact on development of atmospheric processes over the Atlantic and Europe. Long-term climate variability throughout the Gulf of Mexico may affect both the strength of the Gulf Stream and heat transfer patterns within the ocean and the economic activity and environmental stability of the entire Northwest Atlantic Region. This work aims at determining the characteristics of variability of temperature regime and salinity of the Gulf of Mexico over recent decades.

The study was conducted based on the Gulf of Mexico Regional Climatology (GOM RC) data, version 2, available at the website of the NOAA's National Centers for Environmental Information (NCEI). It analyzes the temperature and salinity values at different depths for the period of 2005-

2017. According to the analysis, over 2005-2017 the spatial distribution of the average annual water temperature on the Gulf of Mexico's surface demonstrates its decrease from south to north. Its highest value is observed next to the northwestern coast of Cuba and along the coastal area of the Bay of Campeche, and the lowest temperature is observed at Apalachee Bay located in the northeastern part of the Gulf of Mexico. Though significant horizontal temperature gradients are observed in winter, during the warm period the temperature field is more homogeneous. The minimum average monthly water temperature on the surface is observed in January, the maximum one – in September. The most distinct seasonal changes in temperature are observed in the water of the northern part of the Gulf of Mexico next to the United States' coast. The distribution of average annual salinity of the most of the Gulf of Mexico is homogeneous with the exception of its northern part, especially in the area where the Mississippi River water flows into it, where salinity decreases sharply. Graphs of water temperature and salinity distribution at different depths across different areas of the gulf were constructed in order to determine the water stratification.

Keywords: the Gulf of Mexico, temperature, salinity, stratification

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕРМОХАЛИННОГО РЕЖИМА ВОД МЕКСИКАНСКОГО ЗАЛИВА В 2005-2017 ГГ.

Ю. Эль Хадри, Н. А. Берлинский, Д. Ю. Волков, М. А. Слиже

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

Мексиканский залив является крупной, продуктивной, морской и прибрежной экосистемой, которая обеспечивает товарами и услугами жителей побережья, а также соседние регионы. Воды залива играют значительную роль в формировании климата не только в прибрежных районах, тепловое состояние вод данного региона также оказывает несомненное влияние на развитие атмосферных процессов над Атлантикой и Европой. Долгосрочная изменчивость климата в регионе Мексиканского залива может повлиять на силу Гольфстрима и переноса тепла в океане, а также на экономическую активность и экологическую стабильность всей Северо-Западной Атлантики. Целью данной работы является определение особенностей изменчивости режима температуры и солености вод Мексиканского залива в последние десятилетия.

Исследование проводилось на основе данных региональной климатологии Мексиканского залива (GOM RC) версия 2, полученных с сайта Национальных центров экологической информации (NCEI) NOAA, были использованы значения температуры и солености воды на разных глубинах за период 2005-2017 гг. Анализ показал, что в Мексиканском заливе в 2005-2017 гг. пространственное распределение среднегодовой температуры воды на поверхности демонстрирует ее снижение с юга на север. Наибольшая ее величина отмечается у северо-западных берегов Кубы и в прибрежной зоне залива Кампече, наименьшая температура – в заливе Бухта Аппалачи, расположенном в северо-восточной части Мексиканского залива. В зимний период наблюдаются значительные горизонтальные градиенты температуры, в теплый период поле температуры имеет более однородный характер. Минимальная среднемесячная температура воды на поверхности отмечается в январе, максимальная в сентябре. Наиболее четко сезонные изменения температуры выражены в водах северной части акватории Мексиканского залива у берегов США. Распределение среднегодовой солености на большей части акватории Мексиканского залива имеет однородный характер, только в северной части залива, особенно в районе, где в залив впадают воды реки Миссисипи, величина солености резко уменьшается. Для определения стратификации вод были построены графики распределения температуры и солености воды на разных глубинах в разных районах залива.

Ключевые слова: Мексиканский залив; температура; соленость; стратификация.

*Подання до редакції : 10. 08. 2021
Надходження остаточної версії : 17. 11. 2021
Публікація статті : 26. 11. 2021*

УДК 502.211(477.44-751.3)

НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ І ПРАКТИЧНІ ЗАСАДИ ОЦІНЮВАННЯ КЛЮЧОВИХ ТЕРИТОРІЙ ЕКОМЕРЕЖІ СХІДНОГО ПОДІЛЛЯ ЗА ОСНОВНИМИ КРИТЕРІЯМИ ЇХ ФОРМУВАННЯ

О. В. Мудрак¹, Г. В. Мудрак², А. Л. Щерблюк¹

¹ КЗВО "Вінницька академія безперервної освіти" (м. Вінниця, Україна)
e-mail: ov_mudrak@ukr.net; ORCID: 0000-0002-1776-6120

² Вінницький національний аграрний університет (м. Вінниця, Україна)
e-mail: galina170971@ukr.net; ORCID: 0000-0003-1319-9189

У статті представлені науково-методичні і практичні засади оцінювання ключових територій екологічної мережі Східного Поділля за основними критеріями їх формування. Запропоновано систему принципів і підходів, які доцільно використовувати при формуванні ключових територій екомережі регіону. Основним критерієм виділення ключових територій має стати принцип репрезентативності, при цьому доцільно враховувати три їхні типи: біотичну (ботанічну, зоологічну, мікологічну); географічну (ландшафтну, біогеографічну); геосозологічну (об'єктну, категоріальну, функціональну). При створенні ключових територій велике значення має відігравати площа, її розміри, конфігурація, стан внутрішньої екологічної рівноваги, але надзвичайно важливу роль має якісний і кількісний склад об'єктів охорони, ступінь антропогенного впливу на природні і природно-антропогенні екосистеми і види режимів збереження. Велике значення при формуванні мережі ключових територій має відігравати матрична репрезентативність, яка широко використовується в країнах ЄС. В її основу покладено ландшафтно-зональний принцип, де матрицею видів біорізноманіття і ландшафтів виступають системи одиниць природних районувань (біогеографічного, геоботанічного, флористичного, лісотипологічного, зоогеографічного, фізико-географічного). Відповідно до цього принципу, в основі створення ключових територій обов'язково повинні бути представлені типові (індикаторні) види біорізноманіття, ландшафти всіх природних зон, підзон, областей, провінцій, підпровінцій, районів. В результаті натурних обстежень Східного Поділля встановлено, що значна кількість ключових територій не виконують функцію збереження біотичного і ландшафтного різноманіття. Проведені польові дослідження дозволили встановити, що в сучасних екологічних умовах регіону існує ризик втрати цього різноманіття. Тому, використовуючи принцип репрезентативності, нами запропоновано методику оцінки ключових територій екологічної мережі Східного Поділля за основними критеріями їх формування. Основними з них стали ступінь природності ключової території, її флористично-фауністична значимість, ландшафтно-ценотична і видова репрезентативність, призначення ключової території, її режим заповідності.

Ключові слова: біотичне і ландшафтне різноманіття; репрезентативність; природно-заповідний фонд; екомережа; Східне Поділля.

1. ВСТУП

Постановка проблеми. З метою збереження біотичного і ландшафтного різноманіття й збалансованого використання біоресурсів у їхній нерозривній єдності необхідно формувати екомережу (ЕМ). ЕМ - єдина територіальна система, яка утворюється з метою поліпшення умов для формування і відновлення довкілля, підвищення природно-ресурсного потенціалу території України, збереження ландшафтного і біорізноманіття, місць оселення та зростання цінних видів тваринного і рослинного світу, генетичного фонду,

шляхів міграції тварин через поєднання територій та об'єктів природно-заповідного фонду, а також інших територій, які мають особливу цінність для охорони навколишнього природного середовища і відповідно до законів та міжнародних зобов'язань України підлягають особливій охороні. ЕМ – єдина природно-територіальна система, яка має об'єднати ті території, що мають особливу цінність для охорони довкілля, збалансованого природокористування, а також соціально-економічну користь для місцевого населення й екологічного оздоровлення терито-

рії. Структурні елементи ЕМ - території ЕМ, що відрізняються за своїми функціями. До них відносяться ключові, сполучні, буферні та відновлювані території. Ключові території (КТ) забезпечують збереження найбільш цінних і типових для цього регіону компонентів ландшафтного і біотичного різноманіття. Сполучні території (СТ, екокоридори) поєднують між собою КТ, забезпечують міграцію тварин та обмін генетичного матеріалу. Буферні території (БТ) забезпечують захист КТ і СТ від зовнішніх впливів. Відновлювані території (ВТ) забезпечують формування просторової цілісності ЕМ, для яких мають бути виконані першочергові заходи щодо відтворення первинного природного стану. Для території Східного Поділля, що має площу 4,4% від загальної площі України, яке розташоване в межах найбільш окультуреного регіону – Правобережного Лісостепу України, де валовий внутрішній продукт (ВВП) сільського господарства в національному еквіваленті становить 12,3%, проблеми збереження біоландшафтного різноманіття, стабілізації екологічної рівноваги, підвищення продуктивності екосистем, охорони здоров'я населення, через поліпшення умов його проживання, забезпечення збалансованого розвитку суспільства є надзвичайно актуальними і важливими [1, 2].

Основу КТ (природних ядер, біоцентрів) формують природно-заповідні об'єкти і території (ПЗОіТ). Східне Поділля, яке поряд з Дніпровською, Київською, Кіровоградською й Харківською областями, має найменший природно-заповідний фонд (ПЗФ) в Україні. Кількість ПЗОіТ (на 1.01.2020) становила 439, це 2,52% від загальної площі території регіону (66730,48 га) [2].

Мета дослідження – запропонувати науково-методичні і практичні засади оцінювання КТ ЕМ Східного Поділля за основними критеріями їх формування. Основними з них мають стати ступінь природності КТ, її флористично-фауністична значимість, ландшафтно-ценотична і видова репрезентативність, призначення КТ, режим її заповідності.

Об'єкти дослідження – КТ ЕМ Східного Поділля, їх ступінь природності, флористично-фауністична значимість, ландшафтно-ценотична і видова репрезентативність, призначення, режим заповідності.

2. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'єктом дослідження стали КТ ЕМ Східного Поділля (Вінницька область), які виділені на

основі матеріалів облікових документів та звітів про наукові обґрунтування, літературні і картографічні джерела й власні натурні дослідження. Використано довідники, каталог і реєстр ПЗФ та водного і лісового фонду Вінницької області, визначники геологічних порід, рослин і тварин, Червону книгу України (рослинний і тваринний світ), Зелену книгу України, регіонально-рідкісні види. Встановлено кількість і площу КТ різних категорій за фізико-географічним районуванням регіону, досліджено їх ступінь природності, флористично-фауністичну значимість, ландшафтно-ценотичну і видову репрезентативність, призначення КТ, режим її заповідності та складено відповідну картосхему регіональної екомережі [3, 4-5].

В процесі досліджень використано **методи** - описові, польові, порівняльні, аналітичні, статистичні, балансові, експедиційні, картографічні, біоіндикаційні, ландшафтно-екологічні, біотичного моніторингу.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Теорія і практика формування КТ ЕМ в основі якої є ПЗОіТ завжди спиралася на географічні, біотичні і екологічні принципи. Відповідно до класичних підходів і згідно з біогеографічним районуванням, яке розробив за рекомендацією МАБ ЮНЕСКО американський біогеограф М. Удварді, КТ мають знаходитися в кожній ботаніко-географічній області, репрезентуючи собою сукупність характерних і найцінніших у науковому відношенні типів рослинності і ЛК [6, 7]. З сучасних позицій науково-методичною і теоретичною основою соціологічної діяльності слід вважати концепцію екосистем [8,9]. При розробці питань такого плану екосистему часто треба розглядати як територіальну одиницю [10-11]. Тому принцип територіальної і широтно-зональної репрезентативності КТ дуже актуальний.

В ЄС природоохоронні території виділяють враховуючи різноманітні принципи і підходи, але головним є принцип репрезентативності, який дозволяє зберегти розміри і ступінь захищеності біорізноманіття в КТ. Репрезентативність КТ – це дзеркальне відображення на природно-заповідній території типового біоландшафтного різноманіття, яке є характерним для визначеної більшої площі одиниці природно-географічного поділу (зонування, районування). Тому наразі виділяють три типи репрезентативності: біотична (ботанічна; зоологічна; мікологі-

чна); географічна (ландшафтна; біогеографічна); геосозологічна (об'єктна; категоріальна; функціональна), де велике значення відіграє площа, її розміри, конфігурація, стан внутрішньої екологічної рівноваги, але надзвичайно важливу роль має якісний і кількісний склад об'єктів охорони, ступінь антропогенного впливу на природні екосистеми, оселища тварин і рослин та види режимів їх збереження. При виділенні КТ в ЄС враховують динамічні процеси рослинності, адже значна кількість тварин свою життєдіяльність (оселища) пристосовує до відповідних суцесійних стадій екосистем. Тому, коли на мінімальні площі (10% території резервату) не протікають екзогенні динамічні процеси (заростання вирубок, боліт, лук), тоді виникає небезпека загрози втрати цих видів. Матрична репрезентативність в країнах ЄС базується на формуванні мережі КТ за ландшафтно-зональним принципом, де матрицею видів біорізноманіття і ландшафтів виступають системи одиниць природних районувань (біогеографічного, геоботанічного, флористичного, лісотипологічного, зоогеографічного, фізико-географічного). Відповідно до цього принципу на КТ обов'язково повинні бути представлені типові (індикаторні) види біорізноманіття, ландшафти всіх природних зон, підзон, областей, провінцій, підпровінцій, районів [1, 9].

В Україні мережа КТ, в основі яких є ПЗОіТ, на науково-методичних і теоретичних засадах формувалася переважно геоботаніками. Вони виділяли заповідні об'єкти за типом рослинності (так, лісознавці виділяли лісові ділянки, степознавці – степові, гелолози – ВБУ, ліхенологи – лишайники, бріологи – мохи, альгологи – водорості тощо). Наразі простежується тенденція

комплексного і репрезентативного підходу до виділення ПЗОіТ полікатегоріального змісту. При їх формуванні можна використати узагальнену систематизацію, де виділено 2 групи принципів і 1 групу підходів (табл. 1), які можуть замінюватися у зв'язку із втратою їх актуальності [1, 7]. Вони мають допомогти сформувати єдину просторово-функціональну і географічно-репрезентативну мережу ПЗОіТ, що має стати пріоритетною у заповідній созології.

Серед наукових підходів найважливішими є: 1) *раритетний* – зобов'язує для наукових досліджень зберігати рідкісні екосистеми, фітоценози й види флори, фауни і мікобіоти, насамперед релікти, ендеміки, зникаючі, вразливі. Завдяки раритетному підходу передусім резервуються і охороняються найцінніші компоненти біому; 2) *категоріальний і функціональний* – надає змогу формувати єдину структуру взаємодоповнюючих категорій і функцій ПЗОіТ, а за необхідності розробляти нові; проводити резервування природних територій під заповідання. Категоріальна структура має бути динамічною залежно від пріоритетних цілей охорони й зміни функцій її деяких елементів; 3) *режимності збереження* – забезпечує запровадження всіх науково обґрунтованих видів режимів збереження екосистем, який поєднується із системою природокористування й територіального впорядкування. Ця система формується разом з єдиною системою ПЗОіТ; 4) *моніторинговий* – система ПЗОіТ формується для виконання глобальних, національних, регіональних і локальних екологічних завдань. Вона буде об'єктивною і повноцінною лише за умов, коли матиме розгалужену мережу структурних елементів ЕМ, необхідних для

Таблиця 1 – Система підходів і принципів, які використовують при формуванні мережі природно-заповідних об'єктів і територій

Table 1 – A system of approaches and principles used in the formation of a network of nature reserves and areas

Групи		
наукових підходів:	принципів:	
	наукових:	природно-соціальних:
раритетних; категоріальних; функціональних; репрезентативних; типологічних; хорологічних; режимності збереження; моніторингових; унікальності; рідкісності; вразливості; цінності	екологічних (геоекологічних ландшафтно-екологічних; гідроекологічних; урбоекологічних; агроекологічних); географічних (фізико-географічних; басейнових; широтно-меридіональних; висотно-поясних; геологічних; стратиграфічних; палеонтологічних); біотичних (біогеографічних; геоботанічних; лісотипологічних; зоогеографічних; екосистемних; фітоценотичних; еволюційних) менеджменту	культурно-освітніх; етичних; естетичних; рекреаційних (оздоровчих; лікувальних; бальнеологічних); ресурсно-господарських; середовищезахисних

проведення моніторингу антропогенних і природних процесів, що відбуваються на різних екологічних рівнях організації біому [8]. Серед основних принципів створення й ефективного функціонування мережі ПЗОіТ слід виокремити такі, як *наукові*: екологічні (природоохоронні, середовищотворювальні), географічні (біогеографічні, зоогеографічні, фізико-географічні, ландшафтно-екологічні), еволюційні; *природно-соціальні*: культурно-освітні, етичні, естетичні, рекреаційні (оздоровчі, лікувальні, бальнеологічні), ресурсно-господарські, опційні. Так, ландшафтні засади передбачають створення ПЗОіТ відповідно до типовості й унікальності різних рангів об'єднання ландшафтних одиниць на основі характерних рис і особливостей класифікації ландшафтів. Наприклад, доцільно у межах фації створювати заповідне урочище чи заказник загальнодержавного чи місцевого значення, підтипу ландшафту – природний заповідник чи національний природний парк, чи регіональний ландшафтний парк, типу ландшафту – біосферний заповідник (резерват) [1].

Наразі доцільно використовувати ряд підходів для формування репрезентативної мережі ПЗОіТ. Серед таких слід відзначити: *геоботанічний* (за розташуванням ботанічних областей, провінцій, районів); *містобудівний* чи урбоекологічний (за розташуванням елементів селитебних ландшафтів); *гідрологічний* (за розміщенням річок, озер і їхніх басейнів); *агроекологічний* (збереження видового і генетичного різноманіття в агроландшафтах, де треба створити оптимальне співвідношення між ріллею і екологічно-стабілізаційними угіддями – лісовими, лучними, болотними, водними; збалансоване використання меліорованих земель на ландшафтній основі; відновлення ґрунтоводоохоронної структури водозбірних басейнів, охорона малих річок і природних водотоків агроландшафту; створення польової гідрографічної мережі; покращення структури землекористування). Однак, на наш погляд, вони мають суттєвий недолік. В них, не вироблена єдина структурна модель, що може широко застосовуватись для різних територій і категорій, відсутні критерії і методологічні засади, а також консолідований обсяг поданої інформації. В цих розробках, як правило, розглядаються елементи створення ПЗОіТ або в контексті розподілу за адміністративними районами і площею, або вони прив'язуються до проектуваних сполучних територій (ЕК) широтного і ме-

ридціонального напрямків регіональної екомережі (РЕМ), які були названі, але їх точне положення на топографічній основі для кожної області України не визначено. Разом з тим майже не звертається увага на “прив'язку” елементів ЕМ до фізико-географічних областей і районів. При цьому основним положенням при формуванні мережі КТ регіону з позицій фізико-географічного районування має стати принцип репрезентативності (а не стихійності) [12-19].

Основною методичною засадою практичного впровадження регіональних ЕМ, як складових НЕМ, має бути принцип запобігання фрагментації екосистем/ландшафтів. Для цього ЕМ різного рівня повинні бути узгоджені між собою: локальна (місцева, територіальної громади, ТГ) – з районною, районна – з обласною, обласна – з регіональною, регіональна – з національною, національна – з європейською, європейська – з планетарною (рис. 1). Наразі необхідно створити цілісну і взаємопов'язану систему різнорівневих екомереж – планетарну (біосферну) – континентальну (європейську) – національну (державну) – регіональну – обласну – районну – локальну (ТГ) [1, 21].

Рівні схем ЕМ зображають на картах різного масштабу: а) *міжнародний* – формуються структурні елементи НЕМ, які поєднують її з Панєвропейською (ПЄЕМ) і відображаються на карті масштабу 1:1000000; б) *національний* – формуються структурні елементи НЕМ загальнодержавного значення і відображаються на картах масштабу 1:500000/750000; в) *регіональний* – формуються структурні елементи НЕМ регіонального значення. На картах масштабу 1:200000 відображаються структурні елементи національного і регіонального значення; г) *місцевий* – формуються структурні елементи РЕМ. Вони зображаються на картах масштабів 1:50000, 1:10000 (чи іншого, залежно від площі району, ТГ, населеного пункту). На всіх 4-ох рівнях є горизонтальне погодження діяльності в транскордонному і системному контекстах [7].

На території Східного Поділля структурні елементи ЕМ мають 4 рівні: міжнародний, національний, регіональний (міжобласний), локальний. Основою КТ (біоцентрів) міжнародного рівня є міждержавні (транскордонні) заповідні території (РЛП, площею не менше 5000 га), які є “вузлом” єднання суміжних ЕМ країн Європи

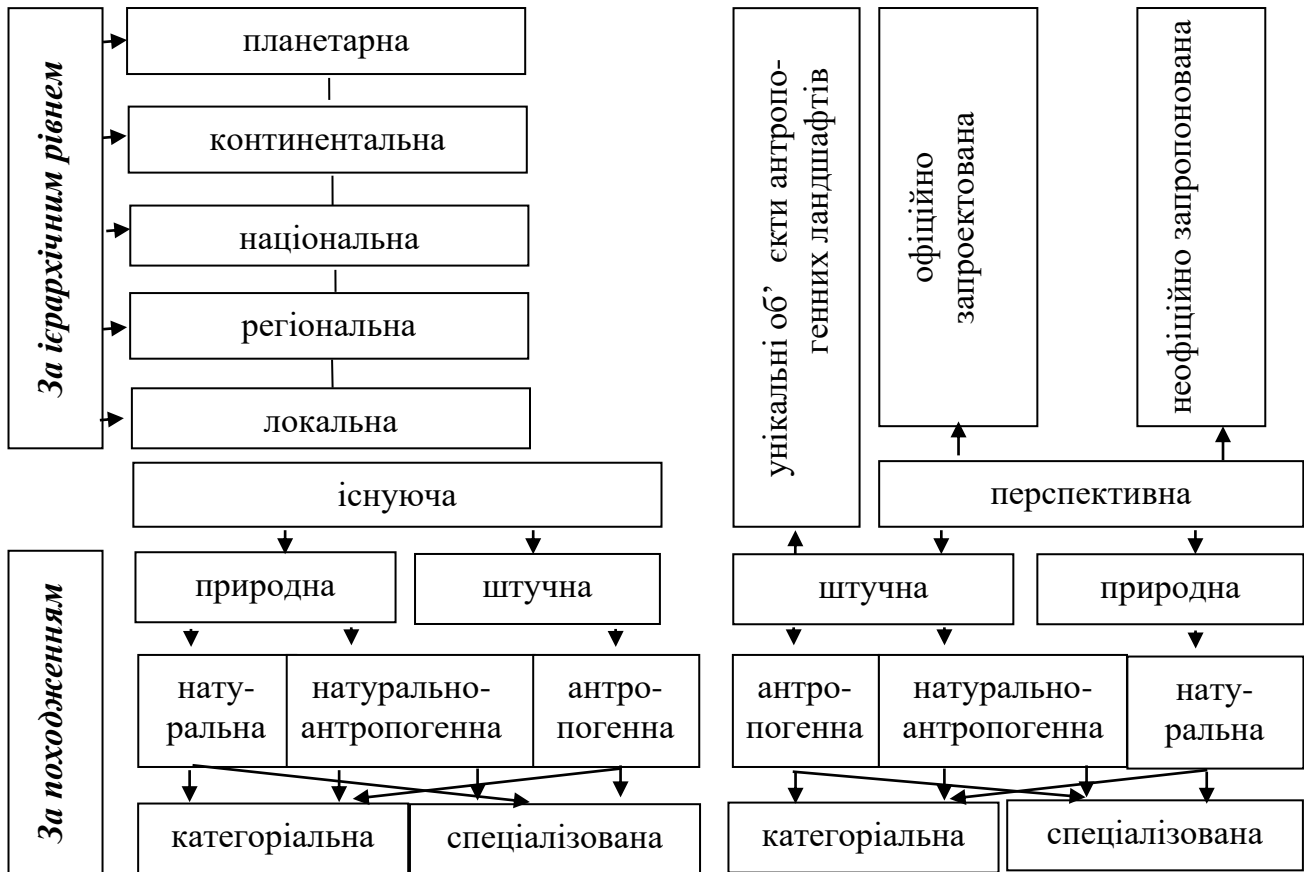


Рис. 1 -- Структура екомереж різних рівнів
 Fig. 1 – The structure of ecological networks of different levels

(Молдова). Основою КТ національного рівня є біоцентри (БЦ) функціонуючих і перспективних НПП, площею не менше 1000 га, які репрезентують найбільш унікальне ландшафтно-ценотичне, видове різноманіття. КТ регіонального рівня формуються на основі територій функціонуючих і перспективних заказників загальнодержавного і місцевого значення, заповідних зон РЛП, пам'яток природи загальнодержавного значення, площею понад 500 га, які репрезентують БР, унікальні, типові природні ландшафтні комплекси (ЛК) фізико-географічних областей і районів. КТ локального рівня є на території функціонуючих і перспективних заказників і пам'яток природи загальнодержавного й місцевого значення, РЛП, заповідних урочищ, площею менше 500 га, які репрезентують БР й типові природні ЛК і групи ландшафтів [1].

Проаналізувавши Зведену регіональну схему формування екомережі України, атлас об'єктів ПЗФ, додаток до нього, статистичні довідники, реєстр ПЗФ Вінницької області, дані Інституту землеустрою і Управління розвитку територій та

інфраструктури Вінницької ОДА й провівши польові дослідження, нами розроблено власну схему ЕМ Східного Поділля (рис. 2), згідно якої спроектовано 24 КТ і 16 ЕК: 1 КТ міжнародного рівня (Дністерська, площею 18230 га до складу якої входить ВБУ міжнародного значення "Лядова-Мурафа", площею 5394,3 га), 3 – національного рівня (78543,9 га), 9 – регіонального рівня (22366,33 га), 11 – локального рівня (4417,7 га). Загальна площа КТ складає 123557,93 га, що становить 4,66% від загальної площі регіону.

До КТ національного рівня відноситься Центрально-Подільська (площею 46420 га), Середньобузька (16730 га), Кармелюково-Подільська (15393,9 га); до КТ регіонального (міжобласного) рівня – Мурафська (площею 10068,93 га), Згарська (3018,7 га), Буго-Собська (1503 га), Буго-Деснянська (1073 га), Гармацька (456 га), Лядовська (3503 га), Наддністрянська (1229,1 га), Гопчицько-Надроська (982,2 га),

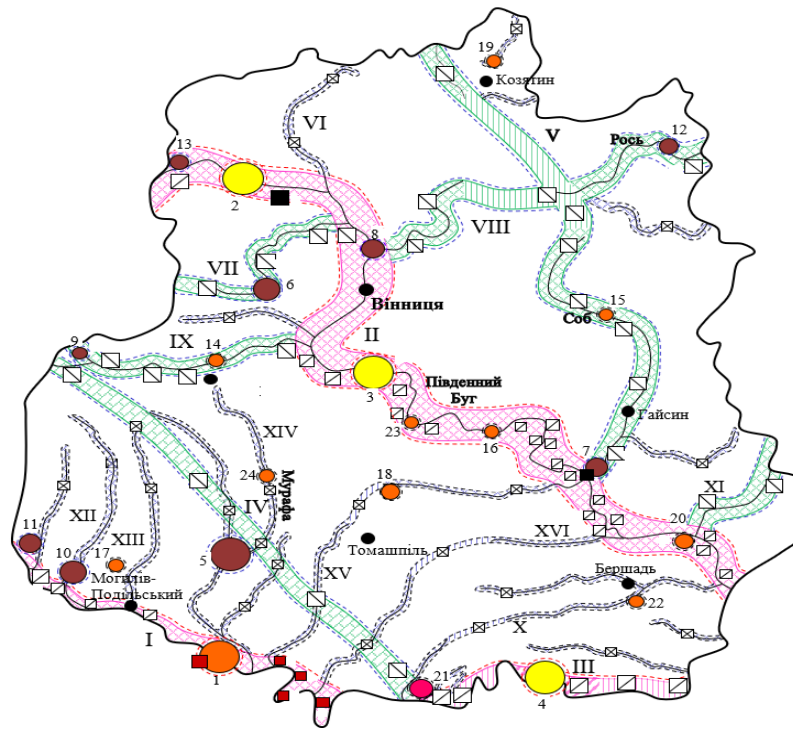


Рис. 2 -- Схема екомережі Східного Поділля
 Fig. 2 – Scheme of the ecological network of Eastern Podillya

Легенда до рисунку 2

ТИПИ СПОЛУЧНИХ ТЕРИТОРІЙ		БУФЕРНІ ТЕРИТОРІЇ (ЗОНИ, ширини)	
▨	– долинно-річкові	—	– 500 м
▤	– лісостепові	—	– 100 м
▥	– лісові	—	– 50 м
▧	– товтрові	ПЛОЩІ КЛЮЧОВИХ ТЕРИТОРІЙ	
▩	– національного рівня	○	– більше 10 тис. га
▪	– регіонального рівня	○	– 10 - 5 тис. га
▬	– локального рівня	○	– 5 - 2 тис. га
ТИПИ КЛЮЧОВИХ ТЕРИТОРІЙ		○	– 2 - 1 тис. га
●	– міжнародні	○	– 1000 - 500 га
●	– національні	○	– менше 500 га
●	– регіональні	ПЛОЩІ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ТЕРИТОРІЙ (ВТ)	
●	– локальні	□	– більше 400 га
ТИПИ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ТЕРИТОРІЙ (ВТ)		□	– 400-300 га
■	– ВТ знаходяться в межах природного ядра міжнародного рівня чи національного ЕК	□	– 299-200 га
□	– ВТ знаходяться в межах природного ядра національного рівня чи національного ЕК	□	– 199-100 га
□	– ВТ знаходяться в межах природного ядра регіонального рівня чи регіонального ЕК	□	– менше 100 га
□	– ВТ знаходяться в межах природного ядра локального рівня чи локального ЕК	НАЗВИ СПОЛУЧНИХ ТЕРИТОРІЙ (ЕКОКОРИДОРІВ)	
■	– ВТ знаходяться в межах перспективного природного ядра чи перспективного ЕК	I.	Дністровський
		II.	Бузький (Південно-Бузький)
		III.	Південно-Подільський (Південноукраїнський)
		IV.	Мурафсько-Товтровий
		V.	Гнилоп'ятсько-Собський
		VI.	Сниводський
		VII.	Згарський
		VIII.	Деснянсько-Роський
		IX.	Рівський
		X.	Дохнянський
		XI.	Удицький
		XII.	Лядовський
		XIII.	Немийський
		XIV.	Мурафський
		XV.	Русавський
		XVI.	Сільницький

Таблиця 2 -- Структурні елементи екомережі Східного Поділля (КТ і ЕК, легенда до рис. 2)
Table 2 – Structural elements of the ecological network of Eastern Podillya (CT and EC, legend to Fig. 2)

Ключові території (природні ядра, біоцентри)						
№	назва			статус в ЕМ	площа, га	
1	Дністерська			міжнародний	18230	
2	Центрально-Подільська			національний	46420	
3	Середньобузька			національний	16730	
4	Кармелюково-Подільська			національний	15393,9	
5	Мурафська			регіональний	10068,93	
6	Згарська			регіональний	3018,7	
7	Буго-Собська			регіональний	1503	
8	Буго-Деснянська			регіональний	1073	
9	Гармацька			регіональний	456	
10	Лядовська			регіональний	3503	
11	Наддністрянська			регіональний	1229,1	
12	Гопчицько-Надроська			регіональний	982,2	
13	Сандрацько-Березнянська			регіональний	532,4	
14	Рівська			локальний	346,5	
15	Іллінецько-Дашівська			локальний	546	
16	Самчинецька			локальний	218	
17	Грбарківська			локальний	487	
18	Журавлівська			локальний	595	
19	Сестринівська			локальний	48	
Ключові території (природні ядра, біоцентри)						
№	назва			статус в ЕМ	площа, га	
20	Устянська			локальний	173	
21	Горячківсько-Княгининська			локальний	1035,2	
22	Крушинівська			локальний	604	
23	Мазуровецька			локальний	214,3	
24	Копистиринська			локальний	150,7	
<i>Всього</i>					123557,93	
Сполучні території (природні екокоридори)						
№	назва	географічна приуроченість	довжина, км	ширина, км	статус в екомережі	площа, га
I	Дністровська	Долина р. Дністер	166	2-4	національний	66421
II	Бузька	Долина р. Півден. Буг	352	2-8	національний	211232
III	Південно-Подільська (Південноукраїнський)	Балтська рівнина, долина р. Савранка і Бритавка	35	1-4	національний	28753
IV	Мурафсько-Товтрова	Мурафські Товтри	140	2-6	регіональний	57246
V	Гнилоп'ятсько-Собська	Долини р. Гнилоп'ять і Соб	176	2-4	регіональний	52821
VI	Сниводська	Долина р. Снивода	58	1-3	локальний	11604
VII	Згарська	Долина р. Згар	75	2-6	регіональний	30163
VIII	Деснянсько-Роська	Долина р. Десна і Рось	163	1-6	регіональний	57050
IX	Рівська	Долина р. Рів	83	1,5-3,5	регіональний	20753
X	Дохнянська	Долина р. Дохна	68	1-2	локальний	10221
XI	Удицька	Долина р. Удич	33	1-2	регіональний	4952
XII	Лядовська	Долина р. Лядова	88	1-3	локальний	35213
XIII	Немийська	Долина р. Немія	64	1-2	локальний	9618
XIV	Мурафська	Долина р. Мурафа	163	1-4	локальний	40753
XV	Русавська	Долина р. Русава	78	1,5-2,5	локальний	31212
XVI	Сільницька	Долина р. Сільниця і Вовчиця	91	1,5-3	локальний	20475
<i>Всього</i>					688487	
Структурні елементи (КТ, ЕК) РЕМ – 30,64% від загальної площі області						812044,93

Сандрацько-Березнянська (532,4 га); до КТ *локального* рівня – Рівська (площею 346,5 га), Іллінецько-Дашівська (546 га), Самчинецька (218 га), Грбарківська (487 га), Журавлівська (595 га), Сестринівська (48 га), Устянська (173 га), Горячківсько-Княгининська (1035,2 га), Крушинів-

ська (604 га), Мазуровецька (214,3 га), Копистиринська (150,7 га). ЕК у Східному Поділлі є 3 ЕК *національного* рівня: Південно-Бузький (площею 211232 га, як частина Бузького меридіонального ЕК), Дністровський (66421 га – Дністровського меридіонального ЕК), Південноподільсь-

кий (28753 га – Південноукраїнського широтно-го ЕК), 6 ЕК *регіонального* (міжобласного) рівня (Мурафсько-Товтровий, Згарський, Гнилоп'ятсько-Собський, Деснянсько-Роський, Рівський, Удицький), 7 ЕК *локального* рівня (Сниводський, Дохнянський, Лядовський, Немийський, Мурафський, Русавський, Сільницький), малі і середні річки 2 і 3-го порядку, деякі лісові ділянки, ВБУ, лісосмуги. Площа ЕК складає 688487 га, що становить 25,98% від загальної площі регіону. Отже, до складу ЕМ Східного Поділля планується залучити 812044,93 га земель КТ і ЕК, що займатимуть 30,64% від його площі. Наразі проектується БЗ, які встановлюватимуться навколо КТ і ЕК на відстані до 2 км і уточнюється кількість ВТ. Наразі кількість ВТ в структурі ЕК національного і регіонального рівня – 60, загальною площею – 72042,6 га, що становить 2,71% від площі регіону. Загальна площа структурних елементів ЕМ Східного Поділля (КТ, ЕК, ВТ) складає 884087,53 га, що становить 33,37% від загальної площі території регіону [1, 7-11, 5].

У межах Східного Поділля виділено такі ЕК: **національного**, регіонального (міжобласного, які з'єднують між собою екомережі суміжних областей з Вінницькою) і *локального* (місцевого) рівнів й визначено типові фітоценози (табл. 3), що є основою для формування біогеоценотичного покриву, максимально наближеного за структурою до природного (згідно легенди до рис. 2 та табл.2).

Типологічне ранжирування КТ ми провели з метою визначення оцінки їх функціональних можливостей і встановлення виконуваної ними ролі як основних структурних елементів РЕМ. КТ (природні ядра), які є “кістяком” ЕМ, виділяли враховуючи такі критерії: 1) ступінь природності (перетвореності) території (ЛК); 2) флористично-фауністична значимість; 3) ландшафтно-ценотична і видова репрезентативність; 4) функціональне призначення КТ; 5) існуючий режим заповідності КТ. Згідно з встановленими критеріями, оцінку КТ РЕМ визначали за умовно прийнятою 5-бальною шкалою: 1 бал – низька, 2 - задовільна, 3 - достатня, 4 - висока, 5 - дуже висока [8, 11].

При аналізі просторової структури ЛК досліджували співвідношення на різних його ділянках (виділах) природних і антропогенних елементів, та наявність антропогенних екотонів. Природні елементи ЛК – це фітоценози і екосистеми із самостійним розвитком (здатністю до самовідновлення) і саморегуляцією, виконавці функції стабілізації екологічного балансу, незалежно від

їх використання, історії створення тощо. До (хоч і трансформованих) елементів ЛК належать болота у стадії самовідновлення, водойми на місці торфових кар'єрів, більшість лісових масивів, значна частина луків після осушувальної меліорації тощо. У антропогенних ЛК майже відсутня здатність до самовідновлення (саморегулювання), через що виникає потреба у здійсненні спеціальних витрат для підтримання їх у сучасному стані. До них належать – орні угіддя (рілля), сади, городи, населені пункти, промислові і побутові об'єкти, транспортна мережа, а також кар'єрно-відвальні комплекси, терикони, золошлаковідвали тощо, на яких природний біогеоценотичний покрив не може бути відновленим без заходів із рекультивациі (ренатуралізації).

Антропогенні екотони – це екосистеми чи ділянки екосистем на природних елементах ЛК, які межують з антропогенними елементами ЛК і постійно відчують їх вплив. Ширина зони впливу антропогенного елемента на природний елемент ЛК може змінюватися залежно від об'єкта і особливостей впливу.

Ступінь просторової структури природності ЛК здійснювали за допомогою карти (планшета) і оцінювали наступним чином: 5 балів – корінні первинні незмінні ЛК (природні елементи ЛК покривають всю територію, що аналізується – 90-100%); 4 бали – вторинні природні ЛК з фрагментами корінних (природні елементи ЛК покривають територію на 80-90%, але є антропогенні екотони вздовж комунікацій, доріг, меліоративних каналів тощо); 3 бали – вторинні природні ЛК на місці корінних (природні елементи ЛК покривають територію, яка аналізується на 70-80%); 2 бали – вторинні природні ЛК на місці антропогенних (природні елементи ЛК покривають територію, яка аналізується на 50-70%); 1 бал – напівприродні антропогенізовані ЛК (природні елементи – менше 50%) [20, 8, 11].

Оцінку флористично-фауністичної значимості КТ проводили з урахуванням:

1) *ботанічної значимості* КТ. Її визначали за критеріями флористичної репрезентативності (типовості) й унікальності, яка оцінювалася за кількістю видів, занесених до: ЧС МСОП (2018); ЄЧС (1991); Конвенції про охорону дикої флори і фауни та природних середовищ (оселищ) існування в Європі (Берн, 1979); Конвенції про міжнародну торгівлю видами дикої флори і фауни, що перебувають під загрозою зникнення (CITES, 1973); ЧКУ (2009); регіонально рідкісних видів, що охороняються на території області; кількість ендемічних і реліктових видів; кількість видів, що знаходяться на межі ареалу;

Таблиця 3 – Ключові території і їх типові фітоценози в межах основних ЕК
Table 3 – Key areas and their typical phytocenoses within the main EC

№	Екокоридори	Ключові території	Типові рослинні угруповання (фітоценози)
1	Дністровський	Надністрянська Лядовська <i>Дністерська</i>	Лісові (дубово-грабові, соснові), лучно-степові, степові Лісові (дубово-грабові), чагарникові, степові Лісові (дубово-грабові, соснові), лучно-степові, степові, водно-болотні
2	Бузький	Сандрацько-Березнянська Центрально-Подільська <i>Мазуровецька</i> Середньобузька <i>Самчинецька</i> Буго-Собська	Лісові, лучні, водно-болотні Лісові (дубово-грабові, дубово-соснові), лучні, водно-болотні Лісові (сосново-дубові), лучно-степові, водні Лісові, лучні, водно-болотні, наскельно-степові Лісові (дубово-грабові), лучно-степові Лісові (дубові), лучні, наскельно-степові
3	Південноподільський (як частина Південно-українського)	Кармелюково-Подільська	Лісові (дубово-грабові, грабово-дубові), лучно-степові, степові
4	Мурафсько-Товтровий	Гармацька Мурафська <i>Горячківсько-Княгининська</i> <i>Копистиринська</i>	Лісові (грабові), лучні, водно-болотні Лісові (дубові, грабово-дубові), чагарникові, лучно-степові, водно-болотні Лісові (дубові), подекуди степові Лісові, лучно-степові, водно-болотні
5	Гнилоп'ятсько-Собський	<i>Сестринівська</i> <i>Іллінецько-Дашівська</i> Буго-Собська	Лісові (грабово-дубові) Лісові (грабово-дубові, грабово-ясенево-дубові) Лісові (дубові), лучні, наскельно-степові
6	<i>Сниводський</i>	Центрально-Подільська	Лісові (дубово-грабові, дубово-соснові), лучні, водно-болотні
7	Згарський	Згарська	Лучно-болотні, болотно-чагарникові, водно-болотні, лісові
8	Деснянсько-Роський	Буго-Деснянська	Лісові (дубово-соснові, вільхові), лучно-болотні, водно-болотні
9	Рівський	Гармацька <i>Рівська</i>	Лісові (грабові), лучні, водно-болотні Лісові (грабово-дубові), лучні, водно-болотні
10	<i>Дохнянський</i>	<i>Устянська</i>	Лісові (грабово-дубові, ясенево-дубово-грабові)
11	Удицький	<i>Крушинівська</i>	Лісові (дубові, грабово-дубові)
12	<i>Лядівський</i>	Лядовська	Лісові (дубово-грабові), чагарникові, степові
13	<i>Немийський</i>	<i>Грабарківська</i> <i>Дністерська</i>	Лісові (грабово-дубові), лучно-степові, степові Лісові (дубово-грабові, соснові), лучно-степові, степові, водно-болотні
14	<i>Мурафський</i>	Мурафська	Лісові (дубові, грабово-дубові), чагарникові, лучно-степові, водно-болотні
15	<i>Русавський</i>	Журавлівська	Лісові (дубові, грабово-дубові)
16	<i>Сільницький</i>		Водно-болотні, заплавні, лучно-степові, чагарникові, лісові (грабово-дубові)

*Примітка. Ключові території: *Рівська* – локального рівня; Лядовська – регіонального рівня; **Центрально-Подільська** – національного рівня; *Дністерська* – міжнародного рівня.

2) *фауністичної репрезентативності і унікальності* ключової території. Її визначали за кількістю видів, занесених до: ЧС МСОП (2018); ЄЧС (1991); додатків до Конвенції про охорону дикої флори і фауни та природних середовищ їх існування в Європі (Берн, 1979); Додатка до Конвенції про міжнародну торгівлю видами дикої флори і фауни, що перебувають під загрозою зникнення (CITES, Вашингтон, 1973); ЧКУ (2009); Конвенції про збереження мігруючих

видів диких тварин (CMS, Бонн, 1979); Угоди про збереження афро-євразійських мігруючих водно-болотних птахів (AEWA, Гаага, 1995); Угоди про збереження кажанів в Європі (EUROBATS, Бонн, 1979); переліку регіонально рідкісних видів тварин. Фауністична цінність КТ також визначалася за: а) **БР** її тваринного світу (за таксонами); б) **кількістю місць** гніздування і розмноження птахів; в) **кількістю місць** розмноження ссавців (парнокопитних); г) **місцями**

нересту цінних видів риб.

Оцінку ландшафтно-ценотичної й видової репрезентативності проводили з урахуванням наявності в межах КТ типових і унікальних ЛК, рідкісних фітоценозів (лісових, степових, наскельно-степових, лучно-степових, лучних, лучно-болотних, водно-болотних, водних, особливо тих, що занесені до ЗКУ) та видів, характерних для досліджуваного регіону: 5 балів – поєднання лісових, чагарникових, степових, наскельно-степових, лучно-степових, лучних, лучно-болотних, водно-болотних, водних екосистем; 4 бали – поєднання лісових, степових, наскельно-степових, лучно-степових, лучних екосистем; 3 бали – поєднання 3 основних типів екосистем; 2 бали – поєднання 2 основних типів екосистем; 1 бал – наявність у природному ядрі виключно однієї екосистеми.

Функціональне призначення ключової території оцінювали за такою шкалою: 5 балів – КТ міжнародного рівня; 4 бали – КТ національного рівня; 3 бали – КТ регіонального (міжобласного) рівня; 2 бали – КТ локального рівня; 1 бал – КТ перспективні природні ядра [8, 11].

Існуючий режим заповідності ключової території оцінювали за 5-бальною шкалою: 5 балів – КТ в межах ПЗ, БСЗ (відсутні); 4 бали – КТ заповідної зони НПП; 3 бали – КТ заказників загальнодержавного значення і заповідної зони РЛП; 2 бали – КТ пам'яток природи (ботанічних, зоологічних, комплексних) загальнодержавного значення і заказників місцевого значення (лісових, ботанічних, загальнозоологічних, орнітологічних, ентомологічних, гідрологічних); 1 бал – КТ ландшафтних заказників місцевого значення і заповідних урочищ (табл. 4, номерація КТ згідно рис. 2).

Проведена оцінка 24 КТ (природних ядер) РЕМ (з врахуванням основних критеріїв їх виділення) дала можливість здійснити типологічне ранжирування, встановивши 5 груп за сумарним показником репрезентативності:

1 група – найвищий показник – 21-20 бал (2 КТ), що становить 8,33% від загальної кількості та 27,21% від їх загальної площі в області;

2 група – високий – 18-16 балів (5 КТ), що становить 20,83% від загальної кількості та 62,14% від їх загальної площі в області;

3 група – середній – 15-13 балів (10 КТ), що становить 41,66% від загальної кількості та 8,26% від їх загальної площі в області;

4 група – задовільний – 12-11 (3 КТ), що становить 12,5% від загальної кількості та 1,59% від

їх загальної площі в області;

5 група – низький – 10 (3 КТ), що становить 12,5% від загальної кількості та 0,78% від їх загальної площі в області.

До *найвищого* показника репрезентативності КТ РЕМ відноситься перша група, що має сумарний показник репрезентативності й унікальності 21-20 балів. До цієї групи відносяться Кармелюково-Подільська і Дністерська (виділено ВБУ міжнародного рівня) КТ, загальною площею 33623,9 га. Це КТ міжнародного і національного рівнів, які розташовані в НПП і РЛП, де відбувається повноцінне збереження й відтворення унікальних і репрезентативних ЛК і екосистем.

До *високого* показника репрезентативності КТ РЕМ відноситься друга група, що має сумарний показник репрезентативності й унікальності 18-16 балів. До цієї групи відносяться Центрально-Подільська, Середньобузька, Мурафська, Згарська, Іллінецько-Дашівська КТ, загальною площею 76783,63 га. Це КТ, які розташовані в межах проєктованих НПП, функціонуючих РЛП, заказників загальнодержавного значення, де відбувається повноцінне збереження й відтворення ландшафтно-ценотичного і видового різноманіття.

До *середнього* показника репрезентативності КТ РЕМ відноситься третя група, що має сумарний показник репрезентативності й унікальності 15-13 балів. До цієї групи відносяться Самчинецька, Буго-Собська, Буго-Деснянська, Лядовська, Рівська, Грабарківська, Журавлівська, Сестринівська, Устянська, Горячківсько-Княгининська КТ, загальною площею 7628,7 га. Це КТ, які розташовані в межах проєктованих РЛП, заказників і пам'яток природи загальнодержавного значення, де відбувається повноцінне збереження і відтворення екосистемного і видового різноманіття.

До *задовільного* показника репрезентативності КТ РЕМ відноситься четверта група, що має сумарний показник репрезентативності й унікальності 12-11 балів. До цієї групи відносяться

Гармацька, Гопчицько-Надроська, Сандрацько-Березнянська КТ, загальною площею 1970,6 га. Це КТ, які розташовані в межах перспективних РЛП, функціонуючих і перспективних заказників загальнодержавного і місцевого значення. Созологічний режим частини КТ регіонального і локального рівня є дещо послабленим у відношенні до КТ попередньої групи.

Таблиця 4 -- Оцінка ключових територій екомережі Східного Поділля за основними критеріями їх формування
Table 4 – Estimation of key territories of the ecological network of Eastern Podillya according to the main criteria of their formation

№	Назва ключової території та її статус в екомережі*	Ступінь природності КТ	Флористично-фауністична значимість КТ	Ландшафтно-ценотична й видова репрезентативність КТ	Призначення КТ	Режим заповідності КТ	Сума балів
1	Дністерська	3	4	5	5	3	20
2	Центрально-Подільська	3	4	4	4	3	18
3	Середньобузька	3	3	4	4	3	17
4	Кармелюково-Подільська	4	5	4	4	4	21
5	Мурафська	3	3	4	3	3	16
6	Згарська	3	4	3	3	3	16
7	Буго-Собська	2	3	3	3	3	14
8	Буго-Деснянська	2	3	3	3	3	14
9	Гармацька	2	3	2	3	2	12
10	Лядовська	3	3	3	3	2	14
11	Наддністрянська	2	3	3	3	2	13
12	Гопчицько-Надроська	3	3	2	3	1	12
13	Сандрацько-Березнянська	2	3	2	3	2	12
14	Рівська	2	3	3	2	3	13
15	Іллінецько-Дашівська	4	4	3	2	3	16
16	Самчинецька	3	4	3	2	3	15
17	Грбарківська	3	3	2	2	3	13
18	Журавлівська	3	3	3	2	3	14
19	Сестринівська	3	3	3	2	3	14
20	Устянська	3	3	3	2	3	14
21	Горячківсько-Княгининська	3	3	3	2	3	14
22	Крушинівська	2	2	2	2	2	10
23	Мазуровецька	2	2	2	2	2	10
24	Копистириинська	2	2	2	2	2	10

*Примітка. Назва і статус КТ в екомережі: *Дністерська* - міжнародний; *Середньобузька* - національний; *Мурафська* - регіональний (міжобласний); *Рівська* – локальний.

До низького показника репрезентативності КТ РЕМ відноситься п'ята група, що має сумарний показник репрезентативності й унікальності 10 балів. До цієї групи відносяться Крушинівська, Мазуровецька, Копистириинська КТ, загальною площею 969 га. Це КТ, в яких охороняються окремі БЦ, ще не створені заповідні об'єкти зі збереження компонентів природних фітоценозів запропонованих КТ. Вони розташовані в межах перспективних РЛП, функціонуючих і перспективних заказників місцевого значення, заповідних урочищ. Созологічний режим деяких КТ регіонального і локального рівня дещо слабший, що необхідно покращити.

Проведене типологічне ранжирування КТ по-

казало їхню істотну диференційованість за основними критеріями виділення. КТ першої, другої і третьої груп в основному відповідають зазначеним критеріям, їхні території можуть бути залучені до виконання комплексних науководослідних робіт з метою виділення на місцевості (встановлення конкретних меж) БЦ і БЗ. КТ четвертої і п'ятої груп потребують проведення комплексних теоретично-практичних досліджень, реформування і створення в межах їх територій таких заповідних об'єктів, які б забезпечували повноцінне збереження й відтворення ландшафтно-ценотичного й видового різноманіття регіону.

Доречно відмітити, що КТ четвертої і п'ятої

типологічних груп репрезентують переважно те ландшафтно-ценотичне і видове різноманіття, де відсутні передумови формування інших КТ. Зокрема, це стосується Крушинівської, Мазуровецької, Копистиринської КТ. Особливих досліджень потребує виділення КТ у межах північної і південно-східної частини регіону. Поки що повноцінні КТ, які б репрезентували ландшафтно-ценотичне і видове різноманіття, там неефективні чи взагалі відсутні. Зокрема, Сандрацько-Березнянська, Рівська КТ можуть ефективно функціонувати за умови зміни природоохоронного статусу територій, що входять до їх складу. Решта КТ (Крушинівська, Мазуровецька, Копистиринська) потребують додаткових комплексних науково-практичних досліджень, реформування і створення в межах цих КТ таких ПЗОіТ, які б забезпечували повноцінне збереження й відтворення ландшафтно-ценотичного і видового різноманіття. Шість КТ є “вузлами” (ЕВ) єднання – контактують із суміжними ЕМ сусідніх областей.

4. ВИСНОВКИ

Враховуючи фізико-географічне (ФГРУ) і геоботанічне районування території України (ГБРУ), доречно відмітити, що всі 24 КТ РЕМ представляють ландшафтно-ценотичне і видове різноманіття Правобережного Лісостепу. Також КТ репрезентують ландшафтно-ценотичне і видове різноманіття 6 фізико-географічних областей. Найщільніше КТ зосереджені в межах Середньобузької (10), Придністровсько-Східно-Подільської (7) височинних областей. У географічному відношенні більшість КТ приурочена до річкових долин. Мурафська КТ приурочена до відрогів Товтрового кряжу Поділля (Мурафські Товтри). Сандрацько-Березнянська, Центрально-Подільська, Буго-Деснянська КТ репрезентують ландшафтно-ценотичне і видове різноманіття низовинних Східно-Подільських Полісь. Лядовська, Наддністрянська, Грабарківська, Дністерська КТ репрезентують ландшафтно-ценотичне і видове різноманіття Вінницького Придністер'я. Отже, виділені 24 КТ репрезентують всі ландшафтно-ценотичні комплекси Східно-Подільського регіону, тому дотриманий основний принцип формування ЕМ – створення КТ (БЦ) в кожному ландшафтному районі.

Щодо поширеності у КТ природних рослинних угруповань (фітоценозів), то переважна більшість з них репрезентують лісо-лучно-степові угруповання різних орографічних (ландшафтно-висотних) рівнів – рівнинно-вододільних (пла-

корних), рівнинно-річково-долинних. Сандрацько-Березнянська, Буго-Деснянська, Згарська, Рівська КТ представлені лісовими, лучними, водно-боло-тними екосистемами. Гармакська КТ представляє водно-болотні і лучні угруповання верхів'я річкової долини на заплавах і надзаплавно-терасових місцевостях Подільської височини. Сестринівська, Гопчицько-Надроська, Іллінецько-Дашівська КТ представляють лісові, водно-болотні, лучні угруповання Придніпровської височини. Кармелюково-Подільська КТ репрезентує лісові, лучні і степові угруповання на плакорних і схилових місцевостях. Наддністрянська, Дністерська, Мурафська, Лядовська КТ репрезентують степові, наскельно-степові й чагарникові угруповання, які найбагатші за видовим складом і найрізкісніші на Поділлі. Кожна КТ наділене специфічними ознаками, які визначаються особливостями угруповань, що знаходяться в його основі: ботаніко-зоологічне, ботаніко-орнітологічне, ботаніко-ентомологічне, орнітологічно-гідрологічне та інші.

Запропоновані 24 КТ репрезентують усі ЛК й групи ЛК регіону і відповідають загальнонауковим і практичним підходам до їх формування. Ці КТ охоплюють практично всі характерні для регіону типи біотопів і, відповідно, флористично-фауністичне різноманіття. Однак формування КТ у ряді ЛК передуватиме створення відповідних заповідних об'єктів, проведення значних природовідновлювальних ренатуралізаційних заходів, оптимізація землекористування. Це стосується Гармакської, Лядовської, Гопчицько-Надроської, Сандрацько-Березнянської, Рівської, Крушинівської, Мазуровецької і Копистиринської КТ. Необхідним є формування КТ у межах основних груп ЛК 6 адміністративних районів і 63 територіальних громад Вінницької області, виділення меж в природу, оптимізація землекористування, зміна земель цільового призначення. Найбільш мозаїчними в біогеоценотичному відношенні є КТ Східно-Подільського Придністер'я, Мурафських Товтр, Східно-Подільського Полісся і Середнього Побужжя. У подальшому, на етапі розробки локальних складових РЕМ в розрізі 6 адміністративних районів і 63 сільських, селищних і міських територіальних громад, функціонально-просторова структура КТ має бути деталізована на рівні окремих виділів землекористування з наданням їм різного соціологічного статусу у відповідності з виділеними структурними елементами регіональної і локальної ЕМ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Закон України “Про екологічну мережу України”. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1864-15#Text> (дата звернення 05.09.2021)
2. Офіційний сайт Управління розвитку територій та інфраструктури Вінницької ОДА. URL: <http://www.vin.gov.ua/upr-ter> (дата звернення 10.06.2021)
3. Еталони природи Вінниччини: монографія / О. В. Мудрак, Г. В. Мудрак, В. М. Поліщук та ін.; за заг. ред. О.В. Мудрака. Вінниця: ТОВ “Консоль”, 2015. 540 с.
4. Зелена книга України / за заг. ред. чл.-кор. НАН України Я.П. Дідуха. Київ : Альтерпрес, 2009. 448 с.
5. Mudrak O. V., Mudrak H. V. Ecological audit of the protected areas of Eastern Podillya: current state, problems and prospects of improvement. *Modern engineering and innovative technologies*. (2020). 12. Part 5. Pp. 46–52.
6. Дідух Я. П., Шеляг-Сосонко Ю. Р. Геоботаничне районування України та суміжних територій. *Український ботанічний журнал*. 2003. Т. 60, № 1. С. 6–17.
7. Environmental management of reserved objects of the Eastern Podillya from the positions of physical-geographical regional region: theory and practice / Mudrak O. V. et al. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2019. 9(4). Pp.732-737.
8. Мудрак О. В. Збалансований розвиток екомережі Поділля: стан, проблеми, перспективи: монографія. Вінниця: “СПД Главацька Р.В.”, 2012. 914 с.
9. Мудрак О. В., Мудрак Г. В. Заповідна справа: навчальний посібник для студентів галузі знань 10 “Природничі науки”. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2020. 640 с.
10. Eastern Podillya as a Structural Unit of a Pan-European Environmental Network / Mudrak O.V., Ovchynnykova Yu.Yu., Mudrak G.V., Nagornyuk O.M. *Journal of Environmental Research, Engineering and Management*. 2018. 74(3). Pp. 55–63
11. Assessment of forest ecosystems of Eastern Podillya natural reserve fund in the regional econet structure / Mudrak O.V., Yelisavenko Yu.A., Polishchuk V.M., Mudrak H.V. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2019. 9(1). Pp. 187–192
12. Царик Л. П. Еколого-географічний аналіз і оцінювання території: теорія та практика (на матеріалах Тернопільської області). Тернопіль: Навчальна книга – Богдан, 2006. 256 с.
13. Червона книга України. Тваринний світ / за ред. І.А. Акімова. Київ: Глобалконсалтинг, 2009. 600 с.
14. Червона книга України. Рослинний світ / за ред. Я.П. Дідуха. Київ: Глобалконсалтинг, 2009. 900 с.
15. Мудрак О. В., Мудрак Г. В. Особливості збереження біорізноманіття Поділля: теорія і практика: монографія. Вінниця: ТОВ “Нілан – ЛТД”, 2013. 320 с.
16. Раритети тваринного світу Поділля: стан, загрози, збереження: монографія / Мудрак О.В., та ін.; за заг. ред. О.В. Мудрака. Вид. 2-е, випр. і допов. Вінниця: ТОВ “Консоль”, 2018. 594 с.
17. Taxonomic and typological structure of the flora of Eastern Podilia (Ukraine) / Mudrak Oleksandr, Ovchynnykova Yuliia, Mudrak Halyna, Tarasenko Halyna. *Journal of the Lithuanian Academy of Sciences. Biologija*. 2018. 64(4). Pp. 285-296.
18. Ecological-cohenological analysis of the flora Eastern Podillya as a basis for the conservation of biodiversity / Mudrak O. V., Mudrak H. V., Razanov S. F., Kavun Zh. A. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2018. 8(2). Pp. 204–209
19. The Structuring of the Lands Nature Reserve Fund Central Forest-Steppe of Ukraine / Nadiya Halchenko, Volodymyr Ilchenko, Oleksandr Mudrak, Galyna Mudrak. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. 7 (4.8). Pp. 549-553.
20. Маринич О. М., Шищенко П. М. Фізична географія України: підручник. Київ: Знання, 2005. 511 с.
21. Olexandr Mudrak, Galina Mudrak, Tetiana Bryndak. Middle Transnistria in structure national ecological network of Ukraine: state and prospects of development. *Edukacja – Technika – Informatyka/Education – Technology – Computer Science. Kwartalnik Naukowy/Quarterly Journal*. 2016. №1(15). Pp. 175–181.

REFERENCES

1. *Zakon Ukrainy “Pro ekolohichnu merezhu Ukrainy”*. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1864-15#Text> (Accessed 05.09.2021)(in Ukr)
2. *Official site of the Department of territorial development and infrastructure of Vinnytsia Regional State Administration*. Available at: <http://www.vin.gov.ua> (Accessed: 10.06.2021) (in Ukr)
3. Mudrak, O.V. (ed.) (2015). *Etalony pryrody Vinnychyny [Standards of nature of Vinnytsya]*. Vinnytsia: TOV “Konsol” (in Ukr)
4. Didukh Ya.P. (ed.). (2009). *Zelena knyha Ukrainy [Green book of Ukraine]*. Kyiv: AlterPres (in Ukr).
5. Mudrak, O.V. & Mudrak, H.V. (2020). Ecological audit of the protected areas of Eastern Podillya: current state, problems and prospects of improvement. *Modern engineering and innovative technologies*, 12, part 5, pp. 46–52. DOI:10.30890/2567-5273.2020-12-05-043.
6. Didukh, Ya.P. & Sheliag-Sosonko, Yu.R. (2003). Heobotanichne rainuvannia Ukrainy ta sumizhnykh terytorii [Geobotanical zoning of Ukraine and adjoining territories]. *Ukrainskyi botanichnyi zhurnal [Ukrainian botanic journal]*, 60(1), pp. 6–17 (in Ukr).
7. Mudrak, O.V. et al. (2019). Environmental management of reserved objects of the Eastern Podillya from the positions of physical-geographical regional region: theory and practice. *Ukrainian Journal of Ecology*, 9(4), pp. 732-737. DOI: 10.15421/2019_819 (in Ukr).
8. Mudrak, O.V. (2012). *Zbalansovanyy rozvytok ekomerezhi Podillya: stan, problemy, perspektyvy [Balanced development of the Podillya eco-network: state, problems, prospects]*. Vinnytsia: “SPD Hlavatka R.V.” (in Ukr).
9. Mudrak, O.V. & Mudrak, G.V. (2020). *Zapovidna sprava: navch. posib. dlya studentiv haluzi znan' 10 “Pryrodnychi nauky” [Protected area: textbook. for students in the field of knowledge 10 “Natural Sciences”]*. Kherson: OLDI-PLUS. (in Ukr).
10. Mudrak, Oleksandr et al. (2018). Taxonomic and typological structure of the flora of Eastern Podilia (Ukraine). *Journal of the Lithuanian Academy of Sciences. Biology*, 64(4), pp. 285-296.
11. Mudrak, O.V. et al. (2019). Assessment of forest ecosystems of Eastern Podillya natural reserve fund in the regional econet structure. *Ukrainian Journal of Ecology*, 9(1), pp. 187–192 (in Ukr).
12. Tsarik, L.P. (2006). *Ekoloho-heohrafichnyy analiz i otsinyuvannya terytoriyi: teoriya ta praktyka (na materialakh Ternopil'skoyi oblasti) [Ecological-geographical analysis and assessment of the territory: theory and practice (on the materials of Ternopil region)]*. Ternopil: Textbook - Bogdan. (in Ukr).
13. Akimov, I.A. (ed.) (2009). *Chervona knyha Ukrainy. Tvarynni svit [Red Book of Ukraine. Animal world]*. Kyiv: Global consulting (in Ukr.).

14. Didukh Ya.P. (ed.). (2009). *Chervona knyha Ukrainy. Roslynni svit [Red book of Ukraine. Plant world]*. Kyiv: Global consulting (in Ukr.).
15. Mudrak, O.V. & Mudrak, G.V. (2013). *Osoblyvosti zberzhennia bioriznomanittia Podillya: teoria i praktika [Features of biodiversity conservation in Podolia: theory and practice]*. Vinnytsya: LTD "Nealan LTD" (in Ukr.).
16. Mudrak, O.V. (ed.). (2018). *Rarytety tvarynmoho svitu Podillya: stan, zahrozy, zberzhennya [Rarities of the animal world of Podillya: condition, threats, preservation]*. Edition 2nd, ed. and add. Vinnytsia: Consol LLC. (in Ukr.).
17. Mudrak, O.V., et al. (2018). Eastern Podillya as a Structural Unit of a Pan-European Environmental Network. *Journal of Environmental Research, Engineering and Management*, 74(3), pp. 55–63.
18. Mudrak, O.V. et al. (2018). Ecological-cohenological analysis of the flora Eastern Podillya as a basis for the conservation of biodiversity. *Ukrainian Journal of Ecology*, 8(2), pp. 204–209. (in Ukr.).
19. Nadiya, Halchenko et al. (2018). The Structuring of the Lands Nature Reserve Fund Central Forest-Steppe of Ukraine. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(4.8), pp. 549-553.
20. Marynich, O.M. & Shishchenko, P.G. (2005). *Phizichna heohrafiia Ukrainy [Physical geography of Ukraine]*. Kyiv: Znannya (in Ukr.).
21. Olexandr Mudrak, Galina Mudrak & Tetiana Bryndak. (2016). Middle Transnistria in structure national ecological network of Ukraine: state and prospects of development. *Edukacja – Technika – Informatyka/Education – Technology – Computer Science. Kwartalnik Naukowy/Quarterly Journal*, 1(15), pp. 175–181.

SCIENTIFIC-METHODICAL AND PRACTICAL PRINCIPLES FOR ASSESSMENT OF THE KEY TERRITORIES OF THE EASTERN PODILLYA'S ECONETWORK BASED ON THE MAIN CRITERIA OF THEIR FORMATION

O. V. Mudrak¹, G. V. Mudrak², A. L. Shcherbliuk¹

¹ PHEE " Vinnytsia academy of continuing education " (Vinnytsia, Ukraine)

e-mail: ov_mudrak@ukr.net; ORCID: 0000-0002-1776-6120

² Vinnytsia national agrarian university (Vinnytsia, Ukraine)

e-mail: galinal70971@ukr.net; ORCID: 0000-0003-1319-9189

The article presents scientific-methodical and practical principles for assessment of key territories of the ecological network of Eastern Podillya based on the main criteria of their formation. It offers the system of appropriate approaches and principles to be applied for formation of the key territories of the region's ecological network. The principle of representativeness should serve as a main criterion for selection of the key territories, however, we still advise to consider three types of such territories – biotic (botanical, zoological, mycological); geographical (landscape; biogeographical); geozoological (object; categorical; functional). Such aspects as area, size, configuration, state of internal ecological balance should play a significant role in creating the key territories, however, the qualitative and quantitative composition of protected objects, degree of anthropogenic impact on natural and man-made ecosystems and types of conservation regimes are also extremely important. Matrix representativeness, which is widely used in EU countries, should be also of great importance in forming a network of key territories. It is based on the landscape-zonal principle, where the systems of natural zoning units (biogeographical, geobotanical, floristic, forest typological, zoogeographical, physical-geographical) form the matrix of biodiversity species and landscapes. According to this principle, the basis for creation of key territories should by all means include typical (indicator) species of biodiversity, landscapes of all natural zones, subzones, regions, provinces, sub-provinces, districts. The field surveys of Eastern Podillya led us to a conclusion that a significant number of key territories do not perform a function of preserving biotic and landscape diversity. The conducted field researches allowed establishing the fact that there is a risk of losing such diversity under current ecological conditions of the region. Therefore, using the principle of representativeness, we presented a method of assessing the key territories of the Eastern Podillya's ecological network based on the main criteria of their formation. The main criteria include degree of naturalness of a certain key territory, its floristic and faunistic significance, landscape-coenotic and specific (relating to species) representativeness, purpose of a key territory, and its protected status (regime).

Key words: biotic and landscape diversity; representativeness; nature reserve fund; ecological network; Eastern Podillya.

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЦЕНКИ КЛЮЧЕВЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЭКОСЕТИ ВОСТОЧНОГО ПОДОЛЬЯ ПО ОСНОВНЫМ КРИТЕРИЯМ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ

О.В. Мудрак¹, Г.В. Мудрак², А.Л. Щерблюк¹

¹ КЗВО "Винницькая академия непрерывного образования" (г. Винница, Украина)

e-mail: ov_mudrak@ukr.net; ORCID: 0000-0002-1776-6120

² Винницкий национальный аграрный университет (г. Винница, Украина)

e-mail: galina170971@ukr.net; ORCID: 0000-0003-1319-9189

В статье представлены научно-методические и практические основы оценки ключевых территорий экологической сети Восточного Подолья по основным критериям их формирования. Предложена система принципов и подходов, которые целесообразно использовать при формировании ключевых территорий экосети региона. Основным критерием выделения ключевых территорий должен стать принцип репрезентативности, при этом целесообразно учитывать три их типа: биотическую (ботаническую, зоологическую, микологическую); географическую (ландшафтную, биогеографическую); геосозологическую (объектную, категориальную, функциональную). При создании ключевых территорий большое значение должны играть площадь, ее размеры, конфигурация, состояние внутреннего экологического равновесия, но чрезвычайно важную роль имеет качественный и количественный состав объектов охраны, степень антропогенного воздействия на природные и природно-антропогенные экосистемы и виды режимов хранения. Большое значение при формировании сети ключевых территорий должна играть матричная репрезентативность, которая широко используется в странах ЕС. В ее основу положен ландшафтно-зональный принцип, где матрицей видов биоразнообразия и ландшафтов выступают системы единиц природных районирований (биогеографического, геоботанического, флористического, лесотипологического, зоогеографического, физико-географического). В соответствии с этим принцип в основе создания ключевых территорий обязательно должны быть представлены типовые (индикаторные) виды биоразнообразия, ландшафты всех природных зон, подзон, областей, провинций, подпровинций, районов. В результате натурных обследований Восточного Подолья установлено, что значительное количество ключевых территорий не выполняют функцию сохранения биотического и ландшафтного разнообразия. Проведенные полевые исследования позволили установить, что в современных экологических условиях региона существует риск потери этого многообразия. Поэтому, используя принцип репрезентативности, нами предложена методика оценки ключевых территорий экологической сети Восточного Подолья по основным критериям их формирования. Основными из них стали степень естественности ключевой территории, ее флористическо-фаунистическая значимость, ландшафтно-ценотическая и видовая репрезентативность, назначение ключевой территории, ее режим заповедности.

Ключевые слова: биотическое и ландшафтное разнообразие; репрезентативность; природно-заповедный фонд; экосеть; Восточное Подолье

Подання до редакції : 08. 07. 2021

Надходження остаточної версії : 23 .09 . 2021

Публікація статті : 26. 11. 2021

УДК 504.064.4

ОСОБЛИВОСТІ МІГРАЦІЇ БІОГЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИ КОМПЛЕКСНІЙ УТИЛІЗАЦІЇ БІООРГАНІЧНОЇ СКЛАДОВОЇ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

В. Ю. Приходько, Т. А. Сафранов, Т. П. Шаніна

Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, vks26@ua.fm
<https://orcid.org/0000-0003-3854-6693>

Вирішення проблеми поводження з твердими побутовими відходами неможливе без залучення в систему управління та поводження з відходами найбільшої групи відходів – біоорганічних, які формують до 60% загальної маси твердих побутових відходів. Метою статті є аналіз перерозподілу біогенних елементів за умов впровадження Концепції поводження з твердими муніципальними відходами ОДЕКУ та подальшої утилізації потоку біоорганічних відходів. Методи дослідження: масовий баланс, рівняння утворення метану. В статті наведені результати досліджень міграції біогенних елементів за умов комплексної утилізації біоорганічної складової твердих побутових відходів. Показано, що переробка органічних відходів, які легко розкладаються, в газоподібний продукт ферментації та органо-мінеральне добриво, дозволяє в повному обсязі залучити біогенні елементи до природних циклів. Отримані тверді продукти переробки є додатковим джерелом органічних речовин та біогенних елементів, необхідних ґрунтам. В умовах дефіциту гумусу та біогенних елементів у ґрунті таке добриво, отримане з відходів, стає важливим вторинним ресурсом, який містить до 65% вуглецю і майже 100% азоту, фосфору і калію. Решта вуглецю вивільнюється з біогазом і теж, згодом, залучається до природних циклів. У випадку захоронення таких відходів відбувається локалізація біогенних елементів в тілі полігону та поступове вивільнення вуглецю з продуктами деструкції (27% за 50 років). Все це свідчить про необхідність ефективного використання ресурсного потенціалу таких відходів, що можливе за умов виокремлення органічних відходів, які легко розкладаються, на початку життєвого циклу твердих побутових відходів. Спалювання вивільняє лише вуглець у вигляді вуглекислого газу, решта залишається в золі. А комплексна утилізація органічних відходів, які легко розкладаються, дозволяє повністю повернути біогенні елементи у докільця. Повторне використання вторинної сировини у вигляді паперових та текстильних відходів мінімізує залучення в господарський обіг вуглецю з природних джерел.

Ключові слова: біогенні елементи; тверді побутові відходи; утилізація; біоорганічні відходи.

1. ВСТУП

Негативні наслідки сучасного стану поводження з твердими побутовими відходами (ТПВ) в Україні визначають актуальність прийняття рішень у сфері розробки та впровадження ефективною системи управління та поводження з ними на різних рівнях територіальної організації. За даними Мінрегіону [1], в 2020 році утворилося понад 54 млн. м³ ТПВ, 93,7% з яких захоронено на 6 тис. полігонів і звалищ загальною площею 8,8 тис. га. За умов охоплення послугами з вивезення відходів лише 79% населення, решта ТПВ розміщується на стихійних звалищах, отже, реальний обсяг захоронених протягом року ТПВ набагато більший. Беручи до уваги вже захоронений обсяг ТПВ 1,46 млрд. м³, а також переван-

таження та порушення строків та умов експлуатації вже існуючих полігонів, зауважимо, що проблема неефективного поводження з ТПВ є однією з пріоритетних в сфері державної екологічної політики, що і підтверджується значними змінами у нормативно-правовій базі України, починаючи із затвердження Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року (далі – Національна Стратегія) [2]. Попри значні реформи у нормативно-законодавчій базі України з питань відходів [3], існує суттєва розбіжність між фактичним станом сфери поводження з ТПВ та завданнями національної політики у цій сфері. Наприклад, Регіональні плани управління відходами мали б бути розроблені протягом дворічного періоду з моменту прийняття Національної стратегії (2017) [2], але фак-

тично рішенням РНБО термін розробки і прийняття подовжений до 2021 року. А без прийняття регіональних планів впровадження ефективних рішень щодо поводження з ТПВ фактично неможливе. Все це підтверджує актуальність досліджень у напрямку розробки ефективних систем поводження з ТПВ та їхньої еколого-економічної оцінки.

Відомо, що ТПВ являють собою складну суміш компонентів, серед яких можна виділити окрему групу біоорганічних відходів – тобто відходів, які містять біодоступний вуглець. На них припадає майже 60% маси ТПВ, до групи входять харчові та садово-паркові відходи, папір і картон, які, в основному, формують дану групу. До біоорганічних складових ТПВ відносяться текстиль, деревина, засоби особистої гігієни (ЗОГ), шкіра і гума, але їх вміст не перевищує 4% по окремій категорії [4]. Як бачимо, основою для розбудови ефективних систем управління ТПВ мають стати найбільші за вмістом та ресурсоцінні відходи – харчові, садово-паркові та паперові, які, за винятком деякої частки паперу і картону, захоронюються на звалищах і полігонах, отже, стають джерелом забруднення довкілля продуктами деструкції. Локалізація таких відходів в місцях видалення порушує природний кругообіг біогенних елементів.

За даними Держстату України, які проаналізовані SAF [5], протягом 1990-2020 рр. відбулося скорочення внесення органічних добрив у ґрунти внаслідок зниження поголів'я свиней та великої рогатої худоби. Можливо, це є одним з факторів інтенсивної втрати гумусу. Наприклад, за період з 1882 по 2010 рр. вміст гумусу в ґрунтах України знизився від 4,17 до 3,16% [6]. Все це визначає актуальність використання біоорганічних відходів побутової діяльності людини в якості джерела поповнення ґрунтів біогенними елементами.

Метою статті є аналіз перерозподілу біогенних елементів за умов впровадження Концепції поводження з ТМВ (ОДЕКУ) (далі – Концепція ОДЕКУ) та подальшої утилізації потоку біоорганічних відходів. Основою роботи є авторські дослідження перерозподілу вуглецю за різних методів поводження з ТПВ [7, 8] та інших біогенних елементів [9].

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Вихідними даними для кількісної оцінки розподілу біогенних елементів є обсяги утворення та морфологічний склад ТПВ м. Одеси. Основні розрахунки утворення продуктів деструкції ор-

ганічних відходів внаслідок захоронення та спалювання виконані за методиками національної інвентаризації парникових газів Ukraine GHG Inventory [10]. Утворення продуктів анаеробної ферментації та масовий баланс речовин розраховані за авторськими моделями [7-9].

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

3.1 Місце біоорганічних відходів в ефективній системі поводження з ТПВ (на основі Концепції ОДЕКУ)

Зазначимо, що біоорганічні відходи у складі ТПВ класифікуються на такі, що легко розкладаються (харчові, садово-паркові, деревина), ресурсоцінні (папір і картон, текстиль) та небезпечні (ЗОГ).

Аналіз нормативно-законодавчої бази, інфраструктури з переробки та складу ТПВ дозволив дійти висновку про необхідність виокремлення із загального потоку ТПВ органічні відходи, які легко розкладаються, на початку життєвого циклу [11]. Цей принцип покладений в основу Концепції поводження з твердими муніципальними відходами, що розроблена в ОДЕКУ [12].

Доповнимо схему (рис. 1) можливих напрямків поводження з біоорганічними відходами у складі ТПВ, яка частково наведена у роботі [4], напрямками міграції біогенних елементів.

Аналіз рис. 1 дозволяє дійти висновку про те, що захоронення ТПВ, а також золи від спалювання, локалізує біогенні елементи у тілі полігону, окрім вуглецю, який надходить до атмосфери у вигляді газоподібних продуктів деструкції CO₂ та CH₄. Але за розрахунками авторів [7], за 50 років шляхом атмосферної емісії вивільниться лише 27% вуглецю. В роботах Тагілової О.А. та Тагілова М.О. [13, 14] зазначено, що перехід вуглецю в фільтрат складає 0,13% за 13 років або 3% за термін остаточної екологічної стабілізації масиву відходів (6,5 тис. років). Отже, навіть за умов відсутності гідроізоляції водний шлях міграції вуглецю з полігону вкрай незначний.

Переробка та утилізація ресурсоцінних компонентів дозволяє повторно залучати біогенні елементи у споживчий цикл. Достатньо складно узагальнено дослідити шляхи виведення з виробничих та споживчих ланцюгів біогенних елементів, певна частина яких вивільняється у довкілля разом із викидами, стічними водами та, зрештою, відходами.

Підсумовуючи інформацію щодо перерозподілу потоків речовини за умов створення ефективної системи поводження з біоорганічними



Рис. 1 – Шляхи міграції біогенних елементів в системі ефективного поводження з біоорганічними компонентами ТПВ
 Fig. 1 – The ways of nutrients migration in the efficient management system of MSW bioorganic components

відходами на основі Концепції ОДЕКУ, можна сказати, що основними шляхами переходу біогенних елементів з відходів у довкілля є виробництво і використання компосту, а також утворення газоподібних продуктів деструкції у вигляді CO_2 та CH_4 .

3.2 Комплексна утилізація органічних відходів [15]

Для потоку відділеної в момент утворення органічної фракції, що легко розкладається, нами розроблений спосіб комплексної утилізації, при якому її піддають послідовній обробці: анаеробній ферментації з отриманням біогазу і твердого продукту, а отриманий твердий продукт піддають аеробному компостуванню. Технологічна схема реалізації цього способу утилізації органічних відходів представлена на рис. 2. Додатковим джерелом органічної сировини можуть бути промислові органічні відходи, що легко розкладаються, сільськогосподарські відходи і осади, що утворюються при аеробному очищенні стічних вод на міських очисних спорудах (лише за умови дотримання екологічної безпечності осаду).

На першому етапі (анаеробна ферментація) отримуємо два ліквідних продукти: твердий

продукт ферментації (органо-мінеральне добриво) і біогаз. За наявності споживачів на всю кількість отриманого органічного добрива другий етап переробки можна не проводити. За відсутності попиту на тверді продукти ферментації, вони підлягають другому етапу переробки – аеробному компостуванню. В результаті цього зменшується маса твердих продуктів ферментації. Отримуємо один ліквідний продукт – компост.

В роботах [7, 9] показано, що комплексна утилізація значно скорочує тривалість розкладання органічних відходів та дозволяє отримати товарні продукти: біогаз, до якого переходить 35% вуглецю, та компост, в якому концентрується 65% С. При реалізації 2 етапу комплексної утилізації до складу компосту переходить 65% вуглецю, що міститься у твердих продуктах ферментації, а 35% надходить до атмосфери з CO_2 [7]. Саме такий метод поводження з органічними відходами, які легко розкладаються, дозволяє повністю залучити біогенні елементи до природних циклів. Отриманий компост є джерелом поживних елементів (азоту, фосфору і калію), що утримуються в органічних відходах.

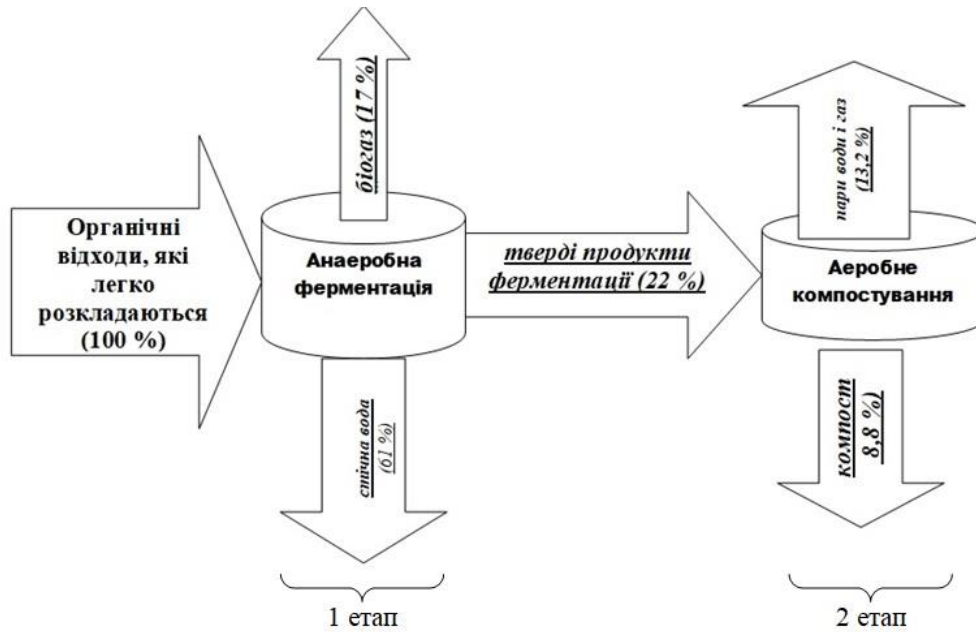


Рис. 2 – Схема комплексної утилізації органічних відходів [15]
 Fig. 2 – The complex recovery of organic waste scheme [15]

3.3 Розрахунок надходження біогенних елементів за умови ефективного поводження з біоорганічними відходами на прикладі м. Одеси

Дослідження трансформації та розподілу біогенних сполук в умовах функціонування системи поводження з біоорганічними складовими ТПВ реалізовано на прикладі м. Одеси. За даними Проекту Регіонального плану управління відходами в Одеській області [16], в місті утворилося 379,6 тис. т ТПВ, які вивозяться на полігон «Дальницькі кар'єри». Це найбільший полігон області площею 96 га. Він обслуговує Одеську агломерацію з 1968 р. та входить в сімку найбільш небезпечних полігонів ТПВ України [16]. Одеса генерує близько 40% ТПВ області.

Використовуючи інформацію щодо морфологічного складу відходів м. Одеси [16], елементний склад відходів [17] та агрохімічні характеристики ТПВ [18], нами проведена кількісна

оцінка потоків біогенних елементів за умови реалізації Концепції ОДЕКУ та анаеробної ферментації органічних відходів, які легко розкладаються. Зазначимо, що сировиною для анаеробної ферментації (рис. 2) є харчові та садово-паркові відходи, некондиційна макулатура (15% від маси). В табл. 1 наведена інформація щодо переходу вуглецю з окремих компонентів ТПВ в органічно-мінеральне добриво за умови реалізації Концепції ОДЕКУ та анаеробної ферментації отриманої вторинної сировини.

Окремо розглянемо деревину як сировину для механіко-біологічної утилізації та як енергетичний ресурс.

На прикладі деревини можна розглянути три варіанти поводження з даним видом відходу – захоронення, спалювання та механіко-біологічна обробка (табл. 2). Розрахунки утворення вуглецевих сполук за різних методів поводження з відходами деревини проведені на основі рівнянь [10].

Таблиця 1 – Характеристика розподілу рухливого вуглецю за умов анаеробного зброджування органічних відходів, які легко розкладаються (м. Одеса)

Table 1 – Characteristics of mobile carbon distribution under conditions of anaerobic fermentation of easy-decomposed organic waste (Odesa city)

Компоненти ТПВ	Вміст в загальному потоці ТПВ		Вологість, %	Суха маса, тис.т	Вміст С в сухій масі, %	С, що не переходить у CH ₄ , %	Вміст С в органічно-мінеральному добриві	
	%	тис.т					%	тис.т
Харчові відходи	29,5	111,97	72,0	31,35	44,96	50,0	22,48	7,05
Папір, картон (неконд.)	0,72	2,73	10,24	2,40	43,39	56,0	24,3	0,58
Деревина	1,42	5,39	20,0	4,31	50,58	51,0	26,3	1,13
Разом								8,76

Таблиця 2 – Трансформація вуглецю з відходів деревини у складі ТПВ м. Одеси (5390 т)

Table 2 – Transformation of carbon from wood waste as a part of Odessa MSW (5390 tones)

Захоронення	Спалювання	Комплексна утилізація
За перший рік розміщення в атмосферу надійде 7,28 т метану	До атмосфери надійде 4,19 тис. т CO ₂	916 т біогазу та 1185,8 т компосту

Як бачимо з результатів, найкращим методом поводження з відходами деревини є комплексна утилізація, яка дозволяє отримати корисні продукти, використання яких вивільняє вуглець та вводить його до природних циклів за рахунок споживання рослинами як компосту, так і вуглекислого газу. Натомість захоронення локалізує вуглець у тілі полігону. Спалювання також вивільняє вуглець, але у формі вуглекислого газу, вміст якого в атмосфері підвищується та спричиняє глобальні кліматичні зміни.

Розглянемо вміст біогенних елементів у продуктах анаеробної ферментації ТПВ (табл. 3).

Таблиця 3 – Характеристика потоку біогенних елементів при анаеробній ферментації біоорганічних відходів м. Одеси

Table 3 – Characteristics of the nutrients flow during anaerobic fermentation of Odessa bioorganic waste

Компоненти ТПВ	Вміст, % від сухої маси			Вміст в органічно-мінеральному добриві, тис.т		
	N _{заг}	P ₂ O ₅	K ₂ O	N _{заг}	P ₂ O ₅	K ₂ O
Харчові відходи	2,45	0,60	2,15	0,768	0,188	0,674
Папір і картон	0,35	0,26	0,16	0,008	0,006	0,004
Деревина	0,20	0,13	0,23	0,009	0,006	0,010
Разом				0,785	0,200	0,688

З табл. 3 видно, що продукти механіко-біологічної обробки органічних відходів, які легко розкладаються, є джерелом інших біогенних елементів, використання якого дозволяє залучити ці елементи в природний колообіг. В іншому випадку вони локалізуються в тілі полігону або звалища.

4. ВИСНОВКИ

Вирішення проблеми поводження з ТПВ неможливе без залучення в систему управління та поводження з відходами найбільшої групи відходів – біоорганічних, які формують до 60% загальної маси ТПВ. Досягнення цільових показників Національної Стратегії неможливе без ро-

зробки рішень щодо використання ресурсного потенціалу таких відходів. Запропонована нами Концепція ОДЕКУ дозволяє вилучити такі відходи із загального потоку та комплексно утилізувати потік органічних відходів, які легко розкладаються, з отриманням органічно-мінерального добрива, яке містить вуглець та інші біогенні елементи. В умовах дефіциту гумусу та біогенних елементів у ґрунті таке добриво, отримане з відходів, стає важливим вторинним ресурсом, який містить до 65% вуглецю і майже 100% азоту, фосфору і калію. Решта вуглецю вивільнюється з біогазом і теж, згодом, залучається до природних циклів. У випадку захоронення таких відходів відбувається локалізація біогенних елементів в тілі полігону та поступове вивільнення вуглецю з продуктами деструкції (27% за 50 років). Все це свідчить про необхідність ефективного використання ресурсного потенціалу таких відходів, що можливе за умов виокремлення органічних відходів, які легко розкладаються, на початку життєвого циклу ТПВ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Стан сфери поводження з побутовими відходами в Україні за 2020 рік. URL: <https://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/zhkh/teretory/stan-sfery-povodzhennya-z-pobutovymy-vidhodamy-v-ukrayini-za-2020-rik/> (дата звернення: 27.04.2021).
2. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року. (схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. No 820). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80> (дата звернення: 25.04.2021).
3. Приходько В. Ю., Гюльяхмедова К. Р. Організаційно-правові аспекти поводження з біоорганічними відходами в Україні. *Проблеми екологічної безпеки*: збірник наукових праць XVII Міжнародної науково-технічної конференції, 2-4 жовтня. Кременчук, 2019. С. 203-207
4. Приходько В. Ю., Гюльяхмедова К. Р. Характеристика біоорганічної складової твердих побутових відходів. *Вісник ХНУ*. 2018. Вип. 19. С.82-90 DOI: 10.26565/1992-4259-2018-19-08
5. Споживання органічних добрив в Україні. URL: https://saf.org.ua/news/938/#_ftn2 (дата звернення: 4.10.2021)
6. Періодична доповідь про стан ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення. URL: <https://www.iogu.gov.ua/publikaciji/stan-gruntiv/> (дата звернення: 4.10.2021)
7. Carbon redistribution during the stages of generation and destruction of municipal solid waste organic component / Veronika Prykhodko, Tamerlan Safranov, Tatyana Shaniina, Oksana Illyash. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. Vol. 7(4.8). Pp.415-419. DOI: 10.14419/ijet.v7i4.8.27281
8. Приходько В. Ю., Сафранов Т. А., Шанина Т. П. Оценка вовлечения биогенных элементов в природный цикл при компостировании органической составляющей

- твердых бытовых отходов. *Отходы, причины их образования и перспективы использования*: Сб. научных трудов по материалам международной научн. экологической конф., 26-27 марта. Краснодар : КубГАУ, 2019. С. 566-568
9. Приходько В. Ю., Сафранов Т. А., Шанина Т. П. Екологічні аспекти використання біогазового потенціалу твердих побутових відходів. *Енергоефективність та енергозбереження: економічний, техніко-технологічний та екологічний аспекти*: колективна монографія. Полтава : ПП «Астроя», 2019. С. 494-499.
 10. Ukraine Greenhouse Gas Inventory (1990-2019). URL: https://mepr.gov.ua/files/docs/Zmina_klimaty/Kadastr_2021/Ukraine_NIR_2021_draft.pdf (Accessed 20 August 2021)
 11. Приходько В. Ю., Сафранов Т. А., Шанина Т. П. Сучасний стан сфери поводження з твердими побутовими відходами в Україні. *Людина і довкілля. Проблеми неоекології*. 2019. 32. С. 58-66.
 12. Оптимизация системы управления и обращения с муниципальными отходами в контексте устойчивого развития урбанизированных территорий / Сафранов Т. А., Губанова Е. Р., Шанина Т. П., Приходько В. Ю. *Устойчивое развитие*. 2014. № 16 (март). С. 11-18.
 13. Тагилова О. А. Повышение экологической безопасности полигонов твердых бытовых отходов на основе анализа потоков органического углерода: автореф. дис. канд.тех.наук. Пермь, 2006. 22с.
 14. Тагилов М. А. Анализ экологической стабилизации полигонов ТБО. *Сотрудничество для решения проблемы отходов*: материалы V Международной научной конференции. URL: <https://waste.ua/cooperation/2008/theses/tagilov.html#author> (дата обращения 10.02.2020)
 15. Спосіб комплексної утилізації твердих побутових відходів: пат. Україна. № 58436 ; заявл. 5.10.2010 ; опубл.11.04.2011, Бюл. №7. 8 с.
 16. Проект Регіонального плану управління відходами в Одеській області (2020).
 17. Схема санітарного очищення м. Києва. Том 3, Пояснювальна записка Техніко-економічна частина Поводження з відходами. Київ. 2012, 47с. URL: <http://golos.kievcity.gov.ua/files/2014/6/19/TOM-3.pdf> (дата звернення: 25.04.2021)
 18. Информационные материалы. Объемы, места размещения и переработки отходов производства и потребления на территории Московской области. URL: http://compcentr.ru/library/Othodi/subject_5.pdf (дата обращения 25.04.2021).
- ## REFERENCE
1. *Stan sfery povodzhennia z pobutovymy vidkhodamy v Ukraini za 2020 rik [The state of the sphere of household waste management in Ukraine in 2020]*. Available at: <https://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/zkhk/terretory/stan-sfery-povodzhennya-z-pobutovymy-vidhodamy-v-ukrayini-za-2020-rik/> (Accessed 2 September 2021). (In Ukr.)
 2. *Natsionalna stratehiia upravlinnia vidkhodamy v Ukraini do 2030 roku [National Waste Management Strategy in Ukraine until 2030]*. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80> (Accessed 20 August 2021) (in Ukr.)
 3. Prykhodko, V.Yu & Hiulakhmedova, K.R. (2018). Organization and legislative aspects of biodegradable waste management in Ukraine. *Problemy ekolohichnoi bezpeky: zbirnyk naukovykh prats XVII Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsi [Environmental safety problems: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference]*. 2-4 October. Kremenchyk, pp. 203-207. (in Ukr.)
 4. Prykhodko, V.Yu & Hiulakhmedova, K.R. (2018). [The characteristic of bioorganic component of municipal solid waste]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V. N. Karazina. Seriya «Ekolohiia» [Bulletin of KhNU named after VN Karazina. Ecology series]*, 19, pp. 82-90. (in Ukr.)
 5. *Spozhyvannia orhanichnykh dobryv v Ukraini [Consumption of organic fertilizers in Ukraine]*. Available at: https://saf.org.ua/news/938/#_ftn2. (Accessed 4 October 2021) (in Ukr.)
 6. *Periodychna dopovid pro stan gruntiv na zemliakh silskohospodarskoho pryznachennia [Periodic report on the state of soils on agricultural lands]*. Available at: <https://www.iogu.gov.ua/publikaciji/stan-gruntiv/>. (Accessed 4 October 2021) (in Ukr.)
 7. Veronika Prykhodko et al. (2018). Carbon redistribution during the stages of generation and destruction of municipal solid waste organic component. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(4.8), pp.415-419. DOI: 10.14419/ijet.v7i4.8.27281
 8. Prykhodko, V.Yu., Safranov, T.A. & Shanina, T.P. (2019). Assessment of the nutrients involvement of in the natural cycle during composting the organic component of municipal solid waste. *Sb. nauchnykh trudov po materialam mezhdunarodnoy nauchn. ekologicheskoy konf. "Otkhody, prichiny ikh obrazovaniya i perspektivy ispol'zovaniya" [Proceedings of the International Scientific Environmental conf. "Waste, generation and usage perspectives"]*, 26-7 March. Krasnodar, pp.566-568. (in Russ.)
 9. Prykhodko, V.Yu., Safranov, T.A. & Shanina, T.P. (2019). Ekolohichni aspekty vykorystannia biohazovoho potentsialu tverdykh pobutovykh vidkhodiv [Environmental aspects of using the biogas potential of solid waste]. In: *Enerhoefektyvnist ta enerhozberezhennia: ekonomichni, tekhniko-tekhnologichniyi ta ekolohichniyi aspekty [Energy efficiency and energy saving: economic, technical-technological and ecological aspects]*. Poltava : Astraya, pp. 494-499
 10. *Ukraine Greenhouse Gas Inventory (1990-2019)*. Available at: https://mepr.gov.ua/files/docs/Zmina_klimaty/Kadastr_2021/Ukraine_NIR_2021_draft.pdf (Accessed 20 August 2021)
 11. Prykhodko, V.Yu., Safranov, T.A. & Shanina, T.P. (2019). [Current state of the municipal solid waste management and treatment area in Ukraine] *Liudyna i dovkillia. Problemy neoekolohii [Man and the environment. Problems of neoecology]*, 32, pp. 58-66 (in Ukr.)
 12. Safranov, T.A. et al. (2014). *Ustoychivoe razvitie [Sustainable development]*, 16(marth), pp. 11-18. (in Russ.)
 13. Tagilova, O.A. (2006). *Povyshenie ekologicheskoy bezopasnosti poligonov tverdykh bytovykh otkhodov na osnove analiza potokov organicheskogo ugleroda [Improving the environmental safety of municipal solid waste landfills based on the analysis of organic carbon flows]*. Abstract of Ph.D. in Technology. Perm. (in Russ.)
 14. Tagilov, M.A. (2008). Analiz ekologicheskoy stabilizatsii poligonov TBO [Analysis of ecological stabilization of landfills] *Proceedings of the 5th International Scientific conf. "Collaboration to Solve the Waste Problem"*. Available at: <https://waste.ua/cooperation/2008/theses/tagilov.html#author> (Accessed 10 February 2020) (in Russ.)

15. *Sposib kompleksnoi utylizatsii tverdykh pobutovykh vidkhodiv [The way of complex recovery of municipal solid waste]*. Patent Ukr., no. 58436, 2011. (in Ukr.).
16. *Proekt Rehionalnogo planu upravlinnia vidkhodamy v Odeskii oblasti [Draft Regional Waste Management Plan in Odesa Oblast]* (2020). (in Ukr)
17. *Skhema sanitarnoho ochyshchennia m.Kyiv. Tom 3. Poi-asniuvalna zapyska. Tekhniko-ekonomichna chastyna pov-odzhennia z vidkhodamy [Kyiv Scheme of sanitary cleaning. Scheme of sanitary cleaning of Kyiv. Volume 3, Ex-planatory note Technical and economic part of Waste Management]*. (2012). Available at: <http://golos.kievcity.gov.ua/files/2014/6/19/TOM-3.pdf> (Accessed 25 April 2021) (in Ukr)
18. *Informatsionnye materialy. Obyemy, mesta razmeshcheni-ya I pererabotki otkhodov proizvodstva I potrebleniya na territorii Moskovskoy oblasti [Information materials. Vol-umes, locations and processing of production and con-sumption waste in the Moscow region]*. Available at: http://compcentr.ru/library/Othodi/subject_5.pdf (Accessed 25 April 2021) .

PECULIARITIES OF BIOGENIC ELEMENTS MIGRATION IN CASE OF COMPLEX UTILIZATION OF BIOORGANIC COMPONENT OF MUNICIPAL SOLID WASTE

V. Yu. Prykhodko, T. A. Safranov, T. P. Shanina

*Odessa State Environmental University,
15, Lvivska St., 65016 Odesa, Ukraine, vks26@ua.fm
<http://orcid.org/0000-0003-3854-6693>*

Finding solutions to the problem of municipal solid waste management is impossible without involvement in the waste management system of the largest group of wastes – bioorganic waste, which form up to 60% of the municipal solid waste total mass. The aim of the article is to analyze the redistribution of biogenic elements subject to implementation of the Concept of solid municipal waste management by OSENU and subsequent utilization of bioorganic waste flow. Research methods include mass balance and equations of methane generation. The article presents the results of research on the biogenic elements migration in case of complex utilization of bioorganic component of municipal solid waste. The study shows that processing of easy-decomposed organic waste into a gaseous fermentation product and biomineral fertilizer allows full involvement of biogenic elements in natural cycles. The processed solid products present an additional source of organic matter and biogenic elements needed by soil. In the event of humus and nutrients shortage in soil the retrieved-from-waste fertilizer becomes an important secondary resource, containing up to 65% carbon and almost 100% nitrogen, phosphorus and potassium. The rest of carbon is released with biogas and is eventually involved in natural cycles. Burial of such waste results in localization of biogenic elements in a landfill's body and gradual release of carbon with the products of destruction (27% over 50 years). All this data indicate the need for efficient use of such waste resource potential which is possible in case of easy-decomposed organic waste separation at the beginning of the municipal solid waste life cycle. Combustion releases only carbon in the form of carbon dioxide, the rest remains in ash. However, complex utilization of easy-decomposed organic waste ensures complete return of biogenic elements to the environment. Reuse of secondary raw materials in the form of paper and textile waste minimizes involvement in economic turnover of carbon from natural sources.

Key words: biogenic elements, municipal solid waste, utilization, bioorganic waste.

ОСОБЕННОСТИ МИГРАЦИИ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ КОМПЛЕКСНОЙ УТИЛИЗАЦИИ БИООРГАНИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

В. Ю. Приходько, Т. А. Сафранов, Т. П. Шанина

*Одесский государственный экологический университет
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, vks26@ua.fm
<http://orcid.org/0000-0003-3854-6693>*

Решение проблемы обращения с твердыми бытовыми отходами невозможно без привлечения в систему управления и обращения с отходами наибольшей группы отходов – биоорганических, которые формируют до 60% общей массы ТБО. Целью статьи является

анализ перераспределения биогенных элементов при внедрении Концепции обращения с твердыми муниципальными отходами ОГЭКУ и последующей утилизации потока биоорганических отходов. Методы исследования: массовый баланс, уравнения образования метана. В статье приведены результаты исследований миграции биогенных элементов при комплексной утилизации биоорганической составляющей твердых бытовых отходов. Показано, что переработка легко разлагаемых органических отходов в газообразный продукт ферментации и органоминеральное удобрение позволяет в полном объеме вовлечь биогенные элементы в природные циклы. Полученные твердые продукты являются дополнительным источником органических веществ и биогенных элементов, необходимых почвам. В условиях дефицита гумуса и биогенных элементов в почве такое удобрение, полученное из отходов, становится важным вторичным ресурсом, содержащим до 65% углерода и почти 100% азота, фосфора и калия. Остальная часть углерода высвобождается с биогазом и также, впоследствии, вовлекается в природные циклы. При захоронении таких отходов происходит локализация биогенных элементов в теле полигона и постепенное высвобождение углерода с продуктами деструкции (27% за 50 лет). Все это свидетельствует о необходимости эффективного использования ресурсного потенциала таких отходов, что возможно при условии выделения легко разлагаемых органических отходов в начале жизненного цикла твердых бытовых отходов. Сжигание высвобождает только углерод в виде углекислого газа, остальное остается в золе. А комплексная утилизация легко разлагаемых органических отходов позволяет полностью вернуть биогенные элементы в окружающую среду. Повторное использование вторичного сырья в виде бумажных и текстильных отходов минимизирует вовлечение в хозяйственное обращение углерода из природных источников.

Ключевые слова: биогенные элементы, твердые бытовые отходы, утилизация, биоорганические отходы.

*Подання до редакції : 01. 11. 2021
Надходження остаточної версії : 05. 11 . 2021
Публікація статті : 26. 11. 2021*

УДК 004.9:528.93:504.5:621.43.064

ДОСЛІДЖЕННЯ ШУМОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ ЦЕНТРАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ МІСТА ПОЛТАВА ВІД АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

О. В. Степова, А. В. Корнішина

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»,
пр. Першотравневий, 24, 36011, Полтава, Україна, alenastepovaja@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0002-6346-5484>

Дані дослідження проведені відповідно до вимог, викладених у Декларації Європейського Союзу «Про оцінку шуму в навколишньому середовищі», й тісно пов'язані з вирішенням задач, які наведені в Законі України «Про забезпечення санітарного благополуччя населення».

В роботі проведено експериментально-розрахункові дослідження щодо оцінювання шумового забруднення центральної частини міста Полтава. Результати досліджень підтвердили гіпотезу про перевищення нормативних значень рівнів шуму на окремих ділянках вулиць і безпосередньо в районах перехресть. З'ясовано, що основними причинами шумового навантаження є значна інтенсивність руху громадського та легковантажного транспорту, велика кількість перехресть та зупинок, неякісне дорожнє покриття, а також відсутність засобів акустичного захисту, в тому числі й озеленення придорожньої території. Візуально охарактеризовано та досліджено межі поширення ділянок акустичного забруднення. Перевищення нормативних значень шумового забруднення поширюється на відстань до 150 м від точок експериментального дослідження.

Встановлено кількість мешканців району, які потрапляють в зони підвищеного шумового навантаження, проведено розрахунок величини ризиків для здоров'я населення, яке мешкає в зонах підвищеного шуму. В результаті експериментальних досліджень встановлено зв'язок між негативним впливом зовнішнього шуму, який створюється міським автотранспортом, і станом здоров'я міських мешканців, що вимагає проведення гігієнічних досліджень, із застосуванням рекомендованим ВООЗ методології аналізу ризику. Встановлено, що майже 5000 осіб з досліджуваної території більшу частину свого життя мешкають на території, де рівень шуму перевищує допустиме значення в 55 дБА. З них майже 2000 осіб мешкають в будинках, де проникаючий шум перевищує значення в 40 дБА.

За результатами теоретичних положень та висновків розроблені практичні рекомендації щодо управління ризиками при наявному шумовому забрудненні міської території.

Ключові слова: шумове забруднення; автомобільний транспорт; екологічний ризик; здоров'я населення

1. ВСТУП

Постійно зростаюча інтенсивність транспортних потоків щорічно супроводжуються посиленням техногенного навантаження на населення сучасних міст. На долю автомобільного транспорту припадає 60-80 % екологічного забруднення навколишнього середовища, у тому числі й акустичного. Проблема посилення шумового навантаження на населення, що мешкає в місті, призводить до погіршення його здоров'я.

Вплив шуму на організм людини, перш за все, відбивається на нашій серцево-судинній системі – шум здатний змінити частоту серцевих скорочень і підвищити або знизити артеріальний

тиск. Частота впливу і рівні шуму безпосередньо впливають на захворюваність центральної нервової системи. Також проживання в міських умовах від 10-ти і більше років призводить до ризику виникнення гіпертонії та ішемії серця. Постійний вплив шуму може стати причиною навіть таких хвороб як гастрит і виразка, оскільки роздратування різними звуками порушить моторну і секреторну функції шлунку. Як результат, виникла необхідність оцінювання рівнів шумового навантаження.

Робота виконана відповідно до вимог викладених в Декларації Європейського Союзу «Про оцінку шуму в навколишньому середовищі» й тісно пов'язана з вирішенням задач, що наведені в

Законі України «Про забезпечення санітарного благополуччя населення».

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою досліджень є аналіз шумового забруднення центральної частини міста Полтави, картографування вуличної мережі карти шуму вулично-дорожньої мережі з позначенням рівнів шумового навантаження на основі розрахункових та експериментальних даних.

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити наступні задачі:

1. оцінити завантаженість вулиць автотранспортом в центральній частині міста Полтави;
2. визначити рівень шуму на вулицях центральної частини міста Полтава;
3. побудувати карти шуму вулично-дорожньої мережі на основі розрахункових та експериментальних даних;
4. виявити найбільш небезпечні зони проживання населення під впливом автотранспортного шуму;
5. оцінити ризик для здоров'я населення через підвищене шумове навантаження.

В процесі виконання роботи були використані загальнонаукові та спеціальні методи досліджень: вимірювальний (вимірювання рівнів шуму); порівняльний (оцінка рівня шумового забруднення); статистичний (обробка даних). Дослідження щодо визначення рівня шумового забруднення міста Полтава проводилися згідно чинних законодавчих та нормативно-правових документів.

Одне з головних завдань, яке виникає перед містобудівниками в проектній та існуючій практиці полягає в тім, щоб визначити зони впливу джерел шуму та шумове навантаження житлової забудови й реалізувати конкретні рішення в цій області.

У сучасних містах одним з основних і найбільш істотних джерел шуму є автомобільний транспорт, на нього припадає 80 % шумового фону [1].

Шумове забруднення в містах практично завжди має локальний характер і викликається переважно засобами транспорту – міського, залізничного та авіаційного. В даний час на магістралях великих міст рівні шумів перевищують 90 дБ і мають тенденцію до посилення щорічно на 0,5 дБ, що є найбільшою небезпекою для довкілля в районах жвавих транспортних магістралей.

Шум у містах скорочує тривалість життя людини. За даними австрійських дослідників, це

скорочення коливається в межах 8-12 років. Надмірний шум може стати причиною нервового виснаження, психічної пригніченості, вегетативного неврозу, виразкової хвороби, розлади ендокринної та серцево-судинної систем. Шум заважає людям працювати і відпочивати, знижує продуктивність праці.

Шумове забруднення сучасних міст і сіл є однією з найактуальніших проблем сьогодення. У зв'язку із зростанням кількості автомашин, індустріалізацією, зростанням транспортної рухливості населення, ростом технічного оснащення міського господарства розширюються контакти між техногенним середовищем міста і природного середовища.

На сьогодні спостерігається тенденція до розширення площ акустичного дискомфорту на забудованих територіях. Недосконалість законодавчо-нормативної бази, відсутність економічних важелів регулювання допустимих рівнів звуку є причиною зростання акустичного забруднення міст.

Рівень вуличних шумів обумовлюється інтенсивністю, швидкістю і характером (складом) транспортного потоку. Крім того, він залежить від планувальних рішень (подовжній і поперечний профіль вулиць, висота і щільність забудови) і таких елементів благоустрою, як покриття проїжджої частини та наявність зелених насаджень [2, 3]. Кожен з цих чинників здатний змінити рівень транспортного шуму в межах до 10 дБА.

У промисловому місті звичайно високий відсоток вантажного транспорту на магістралях. Збільшення в загальному потоці автотранспорту вантажних автомобілів, особливо великовантажних з дизельними двигунами, призводить до підвищення рівнів шуму. В цілому вантажні та легкові автомобілі створюють на території міст важкий шумовий режим.

Шум, що виникає на проїжджій частині магістралі, розповсюджується не тільки на примігистральну територію, але й углиб житлової забудови. Так, в зоні найбільш сильного впливу шуму знаходяться частини кварталів і мікрорайонів, розташованих вздовж магістралей загальноміського значення (еквівалентні рівні шуму від 67,4 до 76,8 дБА) [4]. Рівні шуму, заміряні в житлових кімнатах при відкритих вікнах, орієнтованих на зазначені магістралі, всього на 10 ... 15 дБА нижче.

Згідно нормативів, загальний шум в побутових приміщеннях не повинен перевищувати 40 дБ вдень та 30 дБ – вночі; біля осель шум,

утворений вуличним рухом, не повинен бути більшим за 55 дБ вдень та за 45 дБ – вночі.

Шум шкідливий не лише для людини. Встановлено, що рослини під впливом шуму повільніше ростуть, у них спостерігається надмірне (навіть повне, що призводить до загибелі) виділення вологи через листя, можливі порушення клітин. Загальна площа територій, схильних до постійної шумової дії автотранспорту, складає близько 50 % від всієї території міста [5].

За останній час середній рівень шуму, вироблюваний транспортом, збільшився на 12 ... 14 дБА. Ось чому проблема боротьби з шумом в місті набуває все більшої гостроти [6].

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Для дослідження була вибрана ділянка території м. Полтава, розташована в центральній частині (рис 1). Центром міста Полтава вважається Корпусний сад або як ще його називають Кругла площа, що являє собою історичний майдан та символ міста. Обрана територія характеризується щільною забудовою, підвищеною інтенсивністю транспортного потоку, наявністю зупинок та рухом громадського транспорту. Для оцінки акустичної обстановки на даній території були організовані точки спостереження за інтенсивністю автотранспортних потоків у години «пік» з урахуванням руху автомашин в різних напрямках, кількістю смуг і швидкістю.

Було обрано 31 ділянку, на якій проведено дослідження.



Рис. 1 – Карта розташування досліджуваних ділянок дороги центральної частини міста Полтава

Fig. 1 – Map of the location of the studied sections of the road in the central part of Poltava

Дороги, які відмічені на карті жовтим кольором, мають ширину проїжджою частини 7 м, а оранжевим – 15 м.

На обраній території визначалася інтенсивність транспортного потоку, тобто кількість транспортних засобів, що рухаються протягом встановленого інтервалу часу (15 хв) на певній ділянці дороги.

Спостереження показали про наявність пошкоджень різного характеру на дорожніх покриттях автомобільних доріг міста. Склад регіонального автомобільного парку значно відрізняється від складу автопарку сучасних міст.

Найбільшу частку транспортного потоку на вибраній території становили легкові автомобілі – 77%. Натомість автобуси та вантажний транспорт склали 33% від усієї кількості транспортних засобів. Серед вантажних авто переважну більшість склав середньо вантажний транспорт, а найменше було зафіксовано важко вантажних авто.

Більш детальний розподіл автобусів та вантажного транспорту по окремим ділянкам доріг, що досліджувалися представлено на рис. 2

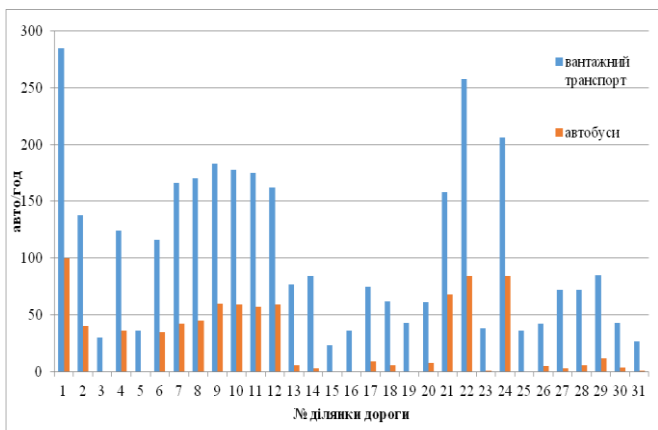


Рис. 2 – Годинна інтенсивність руху автобусів та вантажного транспорту на досліджуваних ділянках

Fig. 2 – Hourly traffic intensity of buses and freight transport in the studied areas

До ділянок з найбільш насиченим рухом громадського транспорту належать ділянки: 1, 2, 4, 6-12, 21, 22, 24. Оскільки через дані відрізки дороги проходять найбільш поширені маршрути громадського транспорту. Автопарк громадського транспорту має у своєму складі застарілі марки автобусів та маршрутних таксі, що не відповідають сучасним стандартам розвинених країн. Що свою чергу спричинює збільшення акустичного навантаження на центральні вулиці міста. Окрім громадського транспорту значний вплив на шумове забруднення мають вантажні авто, переважна більшість яких проїжджає ділянками: 1, 22, 24, 21, 7-12. Це пов'язано з обслуговуванням великої кількості комерційних об'єктів, роз-

ташованих в центральній частині міста та в його околицях.

Для характеристики стану акустичного середовища використано показник добової інтенсивності руху всіх видів транспорту, який було обчислено на основі заміряної годинної інтенсивності з врахуванням коефіцієнту зведення годинної інтенсивності до добової [7]. Отримані дані представлені у графічній формі рис. 3.

Найбільша інтенсивність руху зафіксована на ділянках: 1, 22, 24, де кількість транспорту на добу перевищувала 12000 авто, оскільки дані відрізки входять до головних шляхів сполучення трьох районів міста Полтава. Підвищена інтенсивність також спостерігається на проміжних ділянках даних напрямків, на ділянках – 2, 4, 6-12, 21. Таким чином найбільш навантаженими є вул. Небесної Сотні (24), вул. Соборності (1), вул. Європейська (22).

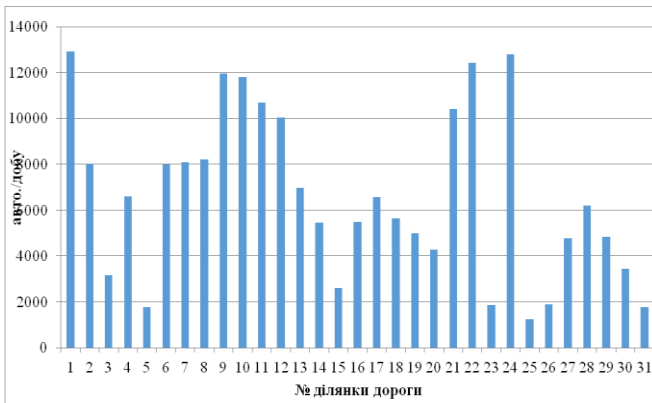


Рис. 3 – Добова інтенсивність руху на досліджуваних ділянках

Fig. 3 – Daily traffic intensity at the studied areas

Для дослідження шумового навантаження центральної частини м. Полтава проводили вимірювання еквівалентних рівнів шуму в референтних точках вздовж автомобільних шляхів на заданій території.

Рівні шуму від транспортних потоків вимірювалися згідно з ГОСТ 20444-85 [8].

Перед початком роботи було складено програму вимірів, в котрій намічено місця, точки й час проведення вимірів, таким чином виміри проводилися на попередньо визначених точках, тобто через кожні 15 м вздовж дороги.

Вимірювання шумового забруднення центральної частини міста Полтава проводилось шумоміром – аналізатором спектру марки Testo 815 (рис. 4), що відповідає всім вимогам стандартизації і має свідоцтво про державну перевірку. Призначений для вимірювання екологічного моніторингу рівня в населених пунктах, які зна-

ходяться на малій відстані від автомобільних трас. Клас точності приладу – 2 за технічними вимогами, з робочим діапазоном 32-80 дБ, 50-100 дБ, 80-130 дБ. Похибка замірів шумоміру у нормальних умовах - $\pm 1,0$ дБ (при 94 дБ).

Для визначення еквівалентних рівнів шуму кожен замір тривав 15 хв. Отримані результати перераховували для еквівалентних рівнів шуму, створених відповідними транспортними потоками за 1 год.

Проведення вимірів шумової характеристики транспортного потоку передбачало, що при вимірюванні шумової характеристики вимірювальний мікрофон був розташований на тротуарі або узбіччі на відстані $7,5 \pm 0,2$ м від осі ближньої до точки виміру смуги або шляху руху транспортних засобів, а в місцях близького розташування будівель до автошляхів – на відстані 2 м від фасаду будівлі та на висоті $1,5 \pm 0,1$ м від рівня покриття проїзної частини.



Рис. 4 – Шумомір марки Testo 815

Fig. 4 – Brand noise meter Testo 815

На основі результатів замірів проводимо розрахунок радіусу впливу шумового забруднення, який враховує рівень шумового забруднення, довжину та ширину дороги.

Враховуючи, що нормативний рівень звуку для територій, які безпосередньо прилягають до житлових будинків становить 55дБА, то перевищення нормативних значень згідно натурних замірів варіює від 1,2 до 1,44 рази. При чому максимальний рівень шуму було зафіксовано в точці заміру на ділянці №13 по вул. Володимира Козака і становила 83,9дБА. Оскільки згідно ДБН В.1.1-31:2013 допустимий рівень шуму для максимального рівня може становити 70дБА, то перевищення складає 1,2 рази або на 13,9дБА.

За результатами замірів рівня звуку від автотранспорту визначено, що найменший рівень шуму становить 66,5 дБА на ділянці №25 по

вул. Пилипа Орлика, а найвищий – 79,2 дБА на ділянці №1 по вул. Соборності. Згідно градації показників безпеки автомобільної дороги за акустичним забрудненням отримані практичні результати відповідають якійсь оцінці стану навколишнього середовища – «добрий». Таким чином, виникає необхідність у створенні карти шуму для візуального відображення шумового навантаження на дослідній території.

Для надання детальної характеристики шумового стану придорожного простору та усього селища в цілому розроблена шумова карта.

Карта шуму має вигляд схематичного плану вулиць і доріг з нанесеною в умовних позначеннях шумовою характеристикою транспортних потоків. Найважливішою є карта вулично-дорожньої мережі (ВДМ), оскільки транспортні шуми в містах складають основний відсоток всіх зовнішніх шумів, які проникають в місця постійного знаходження людей. Карта шуму ВДМ дозволяє визначити очікуваний рівень звуку в будь-якій точці вулиці або магістралі, а також на межі прилеглої при магістральній території, що має велике значення при плануванні заходів з шумозахисту (зміни категорій, призначення і профілю вулиць, заходи планування і забудови приміжмагістральних територій та ін.) [9].

Розробка та побудова шумової карти-схеми автомобільної дороги дозволяє раціонально застосувати шумозахисні заходи, прийняти відповідні адміністративно-організаційні заходи тощо.

На основі проведених інструментальних замірів рівнів акустичного забруднення на досліджуваних ділянках доріг центральної частини м. Полтава побудовано карту шуму вулично-дорожньої мережі (рис. 5). Для оцінки поширення шумового забруднення обрано еквівалентні рівні звуку за 1 год в денний період доби. Моделювання акустичного середовища території проводилося на основі середніх показників рівня шуму по всій довжині досліджуваної ділянки транспортного потоку як лінійного джерела шуму. На карті шуму показано:

- еквівалентні рівні шуму за 1 год для денного періоду доби для висоти приймача 1,2 м;
- контури шуму для 75, 70, 65, 60, 55 дБА.

Аналізуючи карту шуму, можемо відзначити, що найбільше перевищення нормативного значення рівня шуму, тобто більше ніж 75дБА, мають ділянки 1, 24, 21, 22, 8, 9, 12, 13, 28 (на карті зони позначені червоним кольором). Перевищення відносно нормативного значення на даних відрізках автошляхів коливається від 20 до 22,5 дБА. Менший рівень шумового впливу, та

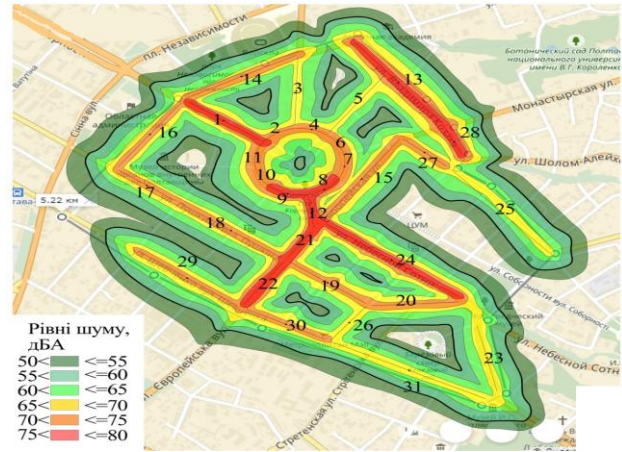


Рис. 5 – Карта шумового забруднення досліджуваної території на основі натурних замірів
 Карта шумового забруднення досліджуваної території на основі натурних замірів
 Fig. 5 – Map of noise pollution of the study area on the basis of field measurements

відповідно нижча інтенсивність руху, була визначена на ділянках, що позначені зонами оранжевого кольору та перевищення норми на цих ділянках становить 15-20дБА.

Рівень шумового впливу в межах 65-70 дБА, що являє собою найнижчі рівні серед досліджуваних відрізків автошляхів, було визначено на ділянках 3, 5, 23, 25, 30, тобто по вул. Театральній, вул. Гоголя, вул. В'ячеслава Чорновола, вул. Пилипа Орлика, проспекті Першотравневий та на частині вул. Шевченка (буд. 4-18). На цих вулицях вплив від автотранспорту перевищує 5-10дБА.

Таким чином, завдяки графічному моделюванню акустичного середовища можна наглядно оцінити та порівняти поширення шуму від транспортних потоків та визначити площі зон, відповідно до градації рівнів шуму. Отримані дані обрахунків представлено в табл.1.

Результати проведених досліджень показників шуму, що створюється двигунами автомобілів під час руху на різних ділянках дороги центральної частини міста Полтава в робочі дні показали високий рівень шуму на окремих ділянках вулиць і безпосередньо в районі перехресть. Так, в районі вул. Соборності (1) під час двостороннього руху транспорту показники шуму становили 79,2 дБА+/-2,4. Особливістю цієї дороги є те, що нею проїжджає громадський транспорт, значна кількість вантажних та легкових автомобілів, які можуть набирати швидкість проїжджаючи даний відрізок, а потім створювати додаткове шумове навантаження при гальмуванні та розгоні під'їжджаючи до світлофору та зупинки громадського транспорту, що знаходяться в кінці дороги.

До того ж на даній ділянці була відмічена найвища інтенсивність руху транспорту, що підтверджує визначений найвищий показник рівня шуму. Досліджувана ділянка дороги по вул. Театральній (3) характеризувалася рухом переважно легкового транспорту зі швидкістю близько 40-50 км/год, при ширині дороги 7м. Тому показник шуму склав 66,7 дБА+/-3,4. Рух транспорту по вул. В'ячеслава Чорновола (5) також відзначився як відносно стабільний, без різкого гальмування та набирання швидкості, швидкість руху сягала 40-60км/год, що пояснює достатньо низький рівень шуму на даній ділянці 67,5дБА +/-2,2. З обох боків даної ділянки висаджені дерева з періодичністю близько 10м.

Умовно визначені відрізки дороги по вул. Соборності (2, 4, 6-11) розташовані довкола Корпусного саду, тому з одного боку дороги висаджений зелений парковий масив, а з іншого боку на відстані 10 м знаходить забудова з поодинокими висадженими деревами. Оскільки дана ділянка має односторонній рух по кільцю, ширина дороги дорівнює 15м, тому у транспорту немає можливості для розгону.

Таблиця 1 - Відносна частка території для контурів шуму
Table 1 – Relative share of territory for noise contours

L _{сқв} , дБА	Частка території з нанесеними контурами шуму,%
75-80	4,3
70-75	10,4
65-70	17,2
60-65	22,7
55-60	22,1

Однак шум на даній дорозі розподілено нерівномірно. Так на ділянках 8 і 9, цього шляху показники шуму були вищими 75,8дБА+/-1,9 та 75,1дБА+/-1, ніж на ділянках 2, 4, 6, 7, 10, 11, це пояснюється тим, що біля ділянок 8 та 9 розташовані громадські зупинки, перед якими громадський транспорт здійснює гальмування, зупинку і початок руху.

Ділянка дороги №12, довжиною 156 м, є частиною вул. Європейської, яка з одного боку оточена близько розташованою забудовою, а з іншого – перехрестям та невеликою ділянкою рекреаційної зони. Тому на цій ділянці транспорт, який при безпосередньому під'їзді до перехрестя і на початку руху за дозвільним сигналом світлофору створили рівень шуму 77,1дБА+/-3. Добова інтенсивність руху на цій ділянці сягає 10000 авто/добу.

Рівень шуму на ділянках доріг по вул. Володимира Козака (13 і 28) виявився досить високим, як для доріг з меншою кількістю громадського та вантажного транспорту. На відрізку №13 рівень шуму сягав 78,3дБА +/-3,3, а на відрізку 28 по тій же вулиці становив 76,9дБА+/-3,2.

Вул. Майдан Незалежності (14) має рівень шуму від транспортного потоку 72,3дБА+/-1,2, серед транспортних засобів було зафіксовано легко та середньо вантажний транспорт, а також переважну більшість легкових автомобілів. З одного боку частини дороги знаходиться стадіон «Ворскла», який в окремі дні може створювати додатковий рівень шуму, однак під час замірів додаткового акустичного впливу не здійснювалося. Ділянка відзначається середньою інтенсивністю руху в порівнянні з іншими досліджуваними ділянками. Постійних заторів на даному відрізку не помічено.

Ділянка дороги по вул. Європейській (15) відзначається рівнем шуму від транспортного потоку 74,2дБА+/-2,6 та відносно невисокою інтенсивністю транспортного потоку – 170 авто/год.

При спостереженні за рівнем шуму на вул. Дмитра Корняка (16) виявили, що на досліджуваному відрізку рівень шуму дорівнює 70,8дБА+/-1,4, швидкість руху на даній ділянці не висока – 40-50км/год.

Дослідження показників автомобільного шуму, проведене на вул. Пушкіна (17, 18, 19) показало, що серед трьох ділянок цієї вулиці найбільшу інтенсивність транспорту відмічено на ділянці № 17. Відповідно і рівень шуму на даній ділянці був найвищим – 72,6дБА+/-1,4. Щодо ділянок 18 та 19, то рівень шумового забруднення на цих ділянках становив відповідно 70,3дБА+/-2,3 та 71,9дБА+/-2,5. Всі ділянки характеризуються близько розташованою забудовою та подекуди висадженими деревами. Вул. Гагаріна (20) за результатами натурних замірів мала рівень акустичного забруднення рівним 71,5дБА+/-1,1 при інтенсивності руху транспорту 365 авто/год, з яких було зафіксовано легко та середньо вантажний транспорт.

Показники шуму по вул. Європейській, а саме на ділянках №21 та №22, виявилися достатньо високими 78,1дБА+/-2,1 та 74,6дБА+/-2,3. Інтенсивність руху на цих ділянках становила відповідно 890 та 1062 авто/год. Серед засобів транспорту було відмічено велику кількість автобусів, легко та середньо вантажного транспорту. На ділянці 22 дорога складається з шести полос, а ділянка 21 – чотири полоси. На обох ділянках присутні зупинки громадського транспорту та світлофори на перехрестях, транспорт здійснює

гальмування, зупинку і початок руху. Найбільший рівень шуму автомобілі створюють саме при розгоні. Слід зазначити, що легкові автомобілі також можуть створювати значний рівень шуму при русі з великою швидкістю, так як приріст швидкості на кожні 10 км / год створює приріст рівня шуму на 3дБА.

Показники рівня шуму по провулку Першотравневий (23) виявилися – 67,3дБА+/-3,5. Ділянка дороги має ширину 7 м, з обох боків висаджені дерева, відстань до забудови складає 15-25м, рух транспорту спокійний, без обгонів.

Дорога по вул. Небесної сотні (24) відзначається високим рівнем шуму – 78,9дБА+/-1,3. Особливістю цієї ділянки дороги є те, що на ній постійно виникають затори автотранспортних засобів перед світлофором, на перехресті з вул. Європейською. З протилежного кінця дороги з обох сторін дороги розташовані зупинки громадського транспорту перед якими громадський транспорт здійснює гальмування, зупинку і початок руху. Вищі показники шуму були відмічені під час початку руху за зупинкою та в місці затору перед світлофором. Ділянка також характеризується близько розташованою забудовою, рідко висадженими деревами, інтенсивним рухом транспорту, в тому числі наявністю громадського, легко та середньо вантажного транспорту.

Деякі менші показники шуму були зафіксовані по вул. Пилипа Орлика (25) – 65,5дБА+/-5,2. З обох боків дороги знаходяться в основному житлові будинки, подекуди біля дороги висаджені дерева. Ділянки дороги по вул. Шевченка (29, 30) характеризувалися інтенсивністю руху транспорту 412 та 337 авто/год. Рівень шуму на цих ділянках дорівнював 69,9дБА+/-3,6 та 68,3дБА+/-3,4 відповідно. Наступна ділянка, яку було досліджено знаходиться по вул. Гоголя (26) і має рівень шуму 65,9дБА+/-3. Подібний рівень акустичного навантаження було відмічено на ділянці №31 по вул. Шевченка, де рівень шуму дорівнював 65,2дБА+/-2,6.

Таким чином, акустичне навантаження, що створюється транспортними потоками міста, знаходиться в межах акустичної області звукового сприйняття людини, але має суттєвий вплив на організм людини, оскільки подекуди навіть перевищує максимальний нормативний рівень у 70 дБА. Виходячи з результатів досліджень, необхідно вживати заходів щодо зменшення акустичного навантаження на селитебні райони міста, які прилягають до автомагістралей, зокрема на досліджених ділянках, оскільки тут сконцент-

рована велика кількість житлових будинків, громадських приміщень, офісних будівель.

Використовуючи карту шуму центральної частини м. Полтава, було визначено перелік адрес, які потрапляють в зону впливу шуму від автотранспорту. За цими адресами було визначено кількість проживаючого населення на досліджуваній ділянці.

Власне, ця інформація і дає старт до оцінки ризику на здоров'я населення від шуму автотранспорту. За зонами рівнів шуму було визначено кількість проживаючого населення в певних шумових рамках (табл. 2).

Паралельно проведено заміри рівнів проникаючого шуму в житлових будівлях з метою оцінки їх відповідності гігієнічним нормативам, згідно ДБН В.1.1-31:2013 «Захист територій, будинків і споруд від шуму», та виявлення найбільш небезпечних зон проживання населення під впливом автотранспортного шуму. Результати наведено в таблиці 3. Проаналізувавши дані табл. 3, можна стверджувати, що майже 5000 осіб суттєву частину життя мешкають на

Таблиця 2 - Рівні зовнішнього шуму на відстані 2-х метрів від житлових будівель (на території житлової забудови)
Table 2 – External noise levels at a distance of 2 meters from residential buildings (in residential areas)

Рівні шуму, дБА	Кількість населення, яке проживає, осіб
Нижче впливу шуму від доріг	255
До 55	2439
55 – 60	1825
60 – 65	1046
65 – 70	899
70 – 75	523
Понад 75	491

Таблиця 3 - Рівні проникаючого шуму в житлових будівлях (всередині приміщення)
Table 3 – Levels of penetrating noise in residential buildings (indoors)

Усереднені рівні шуму, дБА	Кількість населення, яке проживає, осіб
До 40	255
41	2439
44	1825
52	1046
56	899
63	523
67	491

території, де рівень шуму перевищує допустиме значення для території біля житлових будинків [10]. Тобто з зоні ризику переважно діти, працуюча молодь, та люди похилого віку, які часто перебувають на вулиці та навіть не підозрюють, що навколишнє середовище в цей час завдає шкоди здоров'ю.

В свою чергу, згідно з табл. 3, 7223 особи проживають в будинках, де шум перевищує значення в 40 дБА, тобто допустимий рівень шуму в житлових приміщеннях квартир вдень [10 – 12]. А це тягне за собою ще більші ризики для здоров'я, бо на людей високі рівні шуму впливають навіть вдома, де людина проводить більшу частину свого життя.

Проведемо розрахунок ризику неспецифічних ефектів з урахуванням, що середній час дії шуму протягом доби (12 години), загальний період впливу (14, 30 та 70 років).

З цього слідує, що розрахунок неспецифічного ефекту визначається з урахуванням поправки на час дії протягом доби та за період проживання на певній території, тобто підсумкова формула розрахунку виглядає таким чином:

$$P_{rob} = -4,5551 + 0,0853 \cdot \left(L_{екв} - 10 \lg \left(\frac{24}{T_1} \right) - 10 \lg \left(\frac{70}{T_2} \right) \right), \quad (1)$$

Розрахунок проводився за допомогою програми Microsoft Excel. Результати дослідження наведені в табл. 4 – 7.

Таблиця 4 - Результати розрахунку критерію потенційного ризику на здоров'я населення міста Полтава за зовнішнім шумом

Table 4 – The results of the calculation of the criterion of potential risk to the health of the population of Poltava by external noise

Рівні шуму, дБА	Кількість населення, яке проживає, осіб	P_{rob}	$Risk$	Критерій потенційного ризику
45	255	-1,487	0,069	викликає побоювання
55	2439	-0,634	0,263	небезпеч.
60	1825	-0,207	0,418	небезпеч.
65	1046	0,219	0,587	надзвич. небезпеч
70	899	0,646	0,741	надзвич. небезпеч
75	523	1,072	0,858	Надзвич. небезпеч
80	491	1,499	0,933	катастрофічний

Таблиця 5 - Результати розрахунку критерію потенційного ризику на здоров'я населення міста Полтава по проникаючому шуму (загальний період впливу 30 років)

Table 5 – The results of the calculation of the criterion of potential risk to the health of the population of Poltava by penetrating noise (total exposure period of 30 years)

Рівні шуму, дБА	Кількість населення, яке проживає, осіб	P_{rob}	$Risk$	Критерій потенційного ризику
39	255	-1,949	0,026	прийнят.
41	2439	-1,779	0,038	прийнят.
44	1825	-1,523	0,064	викликає побоювання
52	1046	-0,840	0,200	небезпеч.
56	899	-0,499	0,309	небезпеч.
63	523	0,098	0,539	надзвич. небезпеч.
67	491	0,439	0,670	надзвич. небезпеч.

Таблиця 6 - Результати розрахунку критерію потенційного ризику по проникаючому шуму на здоров'я молоді міста Полтава (загальний період впливу 14 років)

Table 6 – Results of calculation of the criterion of potential risk on penetrating noise on health of youth of the city of Poltava (the general period of influence of 14 years)

Рівні шуму, дБА	Кількість населення, яке проживає, осіб	P_{rob}	$Risk$	Критерій потенційного ризику
39	255	-2,281	0,011	прийнят.
41	2439	-2,110	0,017	прийнят.
44	1825	-1,855	0,032	прийнят.
52	1046	-1,172	0,121	викликає побоювання
56	899	-0,831	0,203	небезпеч.
63	523	-0,234	0,408	небезпеч.
67	491	0,107	0,543	надзвич. небезпеч.

Отже, проаналізувавши дані розрахунки, зроблено висновок щодо залежності величини тривалості проживання населення на небезпечній території та збільшенню ризику на здоров'я населення. Згідно розрахунку, кожного року, ризик зростає в 0,78 разів. Точнішу інформацію по даній залежності можливо надати лише після дослідження кількості клінічних захворювань населення та встановлення залежності до рівнів шуму.

Далі, для повноти дослідження впливу шуму на здоров'я населення за МР 2.1.10.0059-12, визначено види негативних порушень здоров'я в залежності від рівнів шуму автотранспорту. Результати наведені в табл. 8

Таблиця 7 - Результати розрахунку критерію потенційного ризику за проникаючим шумом на здоров'я жителів похилого віку міста Полтава (загальний період впливу 70 років)

Table 7 – The results of the calculation of the criterion of potential risk of penetrating noise on the health of the elderly in the city of Poltava (total exposure period of 70 years)

Рівні шуму, дБА	Кількість населення, яке проживає, осіб	P_{rob}	$Risk$	Критерій потенційного ризику
39	255	-1,685	0,046	прийн
41	2439	-1,514	0,065	викликає побоювання
44	1825	-1,258	0,104	викликає побоювання
52	1046	-0,576	0,282	небезпеч
56	899	-0,235	0,407	небезпеч
63	523	0,362	0,641	надзвич. небезпеч.
67	491	0,704	0,759	надзвич. небезпеч.

Таблиця 8 - Види порушень здоров'я населення центральної частини міста Полтава від впливу автотранспортного шуму

Table 8 – Types of health disorders in the central part of Poltava from the impact of traffic noise

Рівні шуму, дБА	Кількість населення, яке проживає, осіб	Критерій потенційного ризику
39	255	прийнятний
41	2439	викликає побоювання
44	1825	викликає побоювання
52	1046	небезпечний
56	899	небезпечний
63	523	надзвич. небезпеч.
67	491	надзвич. небезпеч.

Оцінивши дану таблицю, можна сказати, що з збільшенням рівня шуму, кількість ймовірних порушень здоров'я збільшується. Також можна зазначити, що з зростанням шуму, відбувається «накладання» негативних факторів та змін в здоров'ї населення.

4. ВИСНОВКИ

Результати досліджень щодо оцінювання шумового навантаження центральної частини міста Полтава, показали про наявність перевищення рівнів шуму нормативних значень на окремих ділянках вулиць і безпосередньо в районах перехресть. Так, найбільший рівень шумового навантаження відзначено по вул. Соборності, по вул. Володимира Козака, по вул. Небесної сотні та по вул. Європейській. Основними причинами шу-

мового навантаження були значна інтенсивність руху громадського та легко вантажного транспорту, велика кількість перехресть та зупинок, а також відсутність засобів акустичного захисту, в тому числі нестача озеленення придорожньої території.

Візуалізація шумового забруднення за допомогою картографування дає можливість оцінити акустичне середовище та границі розповсюдження зон акустичного навантаження. Перевищення рівня шуму за нормативні значення розповсюджується на відстань до 150 м від точок дослідження.

За результатами експериментальних досліджень рівнів шуму в межах житлових приміщень, встановлено їх відповідність гігієнічним нормативам. Близько 5000 осіб значну частину життя мешкають в умовах перевищення рівнів шуму за допустимі значення.

Встановлено, що понад 7000 осіб мешкають в будинках, де шум перевищує значення в 40 дБА, тобто допустимий рівень шуму в житлових приміщеннях квартир вдень.

Розрахунок неспецифічного ефекту з урахуванням поправки на час дії протягом доби та за період проживання на певній території показав наявність залежності тривалості мешкання населення на певній території та зростання ризику на здоров'я населення. Згідно розрахунку, з кожним роком, ризик зростає в 0,78 разів.

Визначено види порушень здоров'я залежно від рівнів шумового впливу автотранспорту. Встановлено, що майже 3000 осіб мешкають в умовах, які створюють надзвичайно небезпечний ризик на їх здоров'я, тому необхідно невідкладно розробляти та впроваджувати заходи щодо екологізації міського транспорту, оптимізації маршрутів їх руху тощо.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Поспелов П. И. Борьба с шумом на автомобильных дорогах. Москва : Транспорт, 1981. 88 с.
2. Екологічні ризики і захист від них. URL : <http://ecology-lectures.ru/ekologichni-riziki/2-1-ekologichni-riziki-i-zaxist-vid-nix/> (дата звернення 15.10.19)
3. Безпека життєдіяльності : навчальний посібник. Київ : Знання, 2004. 397 с.
4. Величко О. М. Контроль забруднення довкілля: навч. посібник. Київ : Основа, 2002. 255 с.
5. Salomons E. M., Han Zhou, Walter J. A. Efficient numerical modeling of traffic noise. *J. Acoust. Soc. Am.* 2010. 127 (2). Pp. 796 – 803.
6. Дуднікова І. І. Безпека життєдіяльності. Київ, 2002. 237 с.
7. Методика виявлення, оцінки та ранжування потенційних екологічно небезпечних місць автомобільної доро-

- ги. М 218-020711 68-416-2005. Київ : Укравтодор, 2005. 35 с.
- ГОСТ 20444-85. Шум. Транспортные потоки. Методы измерения шумовой характеристики. URL: <http://vsegost.com/Catalog/20/20016.shtml> (дата обращения 15.11.20)
 - ГОСТ 31330.1-2006 (ИСО 11819-1:1997). Шум. Оценка влияния дорожного покрытия на транспортный шум. Ч. 1. Статистический метод. Введ. 01.06.2007. Москва: Стандартиформ, 2007. 43 с
 - ДБН В.1.1-31:2013. Захист територій, будинків і споруд від шуму. URL: <http://www.dnaop.com/html/43864/doc/> (дата звернення 15.12.20)
 - Оцінка ризику здоров'ю населення від впливу транспортного шуму: МР 2.1.10.0059-12. 49
 - Визначення величини ризику на здоров'я населення від шумового навантаження в центральній частині міста Полтава / Парашієнко І. М., Журавель В. С., Андрішко Ю. І., Карявка В. В. *Строительство, материаловедение, машиностроение. ISSN 2415-7031 Серия: Безопасность жизнедеятельности*. 2018. Вып. 105. С.100-104.
- ## REFERENCES
- Pospelov, P.I. (1981). *Borba s shumom na avtomobilnykh dorogakh [Noise control on highways]*. Moscow: Transport. (in Russ.)
 - Ekologichni ryzyky i zakhyst vid nykh. [Environmental risks and protection against them]. Available at: <http://ecology-lectures.ru/ekologichni-riziki/2-1-ekologichni-riziki-i-zaxist-vid-nix/> (Accessed 15.10.19) (in Ukr.)
 - Bezpeka zhyttiediialnosti [Life safety]*. (2004). Kyiv: Znannia. (in Ukr.)
 - Velychko, O.M. (2002) *Kontrol zabrudnennia dovkillia [Pollution control]*. Kyiv: Osnova, (in Ukr.)
 - Salomons, E.M., Han Zhou, Walter, J.A. (2010). Efficient numerical modeling of traffic noise. *J. Acoust. Soc. Am.*, 127 (2), pp. 796 – 803.
 - Dudnikova, I.I. (2002). *Bezpeka zhyttiediialnosti [Life safety]*. Kyiv. (in Ukr.)
 - Metodyka vyavleniia, otsinky ta ranzhuvannia potentsiinykh ekolohichno nebezpechnykh mistv avtomobilnoi dorohy. [Methods of identifying, assessing and ranking potential ecologically dangerous places on the highway]*. (2005). М 218-02071168-416-2005. Kyiv: Ukravtodor. (in Ukr.)
 - GOST 20444-85. Shum. Transportnye potoki. Metody izmereniya shumovoy kharakteristiki [State Standard 20444-85. Noise. Traffic flows. Methods of measuring noise characteristics]*. Available at: <http://vsegost.com/Catalog/20/20016.shtml> (Accessed 15.11.20) (in Russ.)
 - GOST 31330.1-2006 (ISO 11819-1:1997). Shum. Otsenka vlianiya dorozhnogo pokrytiya na transportnyy shum. Ch.1. Statisticheskii metod. Vved. 01.06.2007 [State Standard 31330.1-2006 (ISO 11819-1:1997). Noise. Assessment of the impact of road surface on traffic noise. Ch.1. Statistical method. Introduced 01.06.2007]*. Moscow: Standartynform. (in Russ.)
 - DBN V.1.1-31:2013. Zakhyst terytorii, budynkiv i sporud vid shumu [State Building Codes V.1.1-31:2013. Protection of territories, buildings and structures from noise]*. Available at: <http://www.dnaop.com/html/43864/doc/> (Accessed 15.12.20) (in Ukr.)
 - Otsinka ryzyku zdoroviu naselennia vid vplyvu transportnoho shumy [Assessment of the risk to public health from the effects of transport noise]*: МР 2.1.10.0059-12. 49 (in Ukr.)
 - Parashchiienko, I.M. et al. (2018). *Vyznachennia velychyny ryzyku na zdorovia naselennia vid shumovoho navantazhennia v tsentralnii chastyni mista Poltava [Determining the magnitude of the risk to public health from noise pollution in the central part of Poltava] Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie. ISSN 2415-7031 Seria: Bezopasnost zhiznedeyatelnosti [Construction, materials science, mechanical engineering. ISSN 2415-7031 Series: Life Safety]*, 105, pp.100-104. (in Ukr.)

RESEARCH OF ROAD TRANSPORT NOISE LOAD IN THE CENTRAL PART OF THE CITY OF POLTAVA

O.V. Stepova, A. V. Kornishyna

Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic National University,
24, Ave. Pershotravnevyi., 36011, Poltava, Ukraine, alenastepovaja@gmail.com
<http://orcid.or/0000-0002-6346-5484>

The studies were conducted in accordance with the requirements set out in the Declaration of the European Union "On Environmental Noise Assessment" and are closely related to finding solutions of the problems set out in the Law of Ukraine "On Ensuring Sanitary and Epidemic Welfare of the Population".

The paper presents experimental and calculation studies on the assessment of noise pollution in the central part of Poltava. The results of such studies confirmed the hypothesis of exceeding the normative values of noise levels within some sections of the streets and directly at the intersections. It was found that the main causes of noise pollution include high intensity of public and light commercial transport means, large number of intersections and stops, poor road surface, as well as lack of acoustic protection, including lack of landscaping along roadsides. The research visually characterizes and investigates the boundaries of acoustic pollution areas distribution. Exceedence of the noise pollution normative values extends to the distance of up to 150 m from the experimental study points.

The study determines the number of residents of the district who fall into high noise load areas and estimates the magnitude of risks to health of the citizens living within such areas. Experimental studies established a link between a negative impact of external noise generated by urban vehicles and urban residents' health state that requires hygienic research with application of WHO-recommended risk analysis methodology. It was found that almost 5,000 people from the study area spend most of their lives in the neighbourhoods where the noise level exceeds the permissible value of 55 dBA. Almost 2,000 of them live in the houses where penetrating noise exceeds the value of 40 dBA.

Based on the results of theoretical provisions and conclusions, certain practical recommendations for management of noise pollution risks in the urban area were developed.

Key words: noise pollution, road transport, environmental risk, public health

ИССЛЕДОВАНИЕ ШУМОВОЙ НАГРУЗКИ НА ЦЕНТРАЛЬНУЮ ЧАСТЬ ГОРОДА ПОЛТАВА ОТ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Е. В. Степовая, А.В. Корнишина

*Национальный университет «Полтавская политехника имени Юрия Кондратюка»,
пр. Первомайский, 24, 36011, Полтава, Украина, alenastepovaja@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0002-6346-5484>*

Данные исследования проведены в соответствии с требованиями, изложенными в Декларации Европейского Союза «Об оценке шума в окружающей среде», и тесно связаны с решением задач, приведенных в Законе Украины «Об обеспечении санитарного благополучия населения».

В работе проведены экспериментально-расчетные исследования по оценке шумового загрязнения центральной части города Полтавы. Результаты исследований подтвердили гипотезу о превышении нормативных значений уровней шума на отдельных участках улиц и непосредственно в районах перекрестков. Выяснено, что основными причинами шумовой нагрузки является значительная интенсивность движения общественного и легкого грузового транспорта, большое количество перекрестков и остановок, некачественное дорожное покрытие, а также отсутствие средств акустической защиты, в том числе и озеленение придорожной территории. Визуально охарактеризованы и исследованы границы распространения участков акустического загрязнения. Превышение нормативных значений шумового загрязнения распространяется на расстояние до 150 м от точек экспериментального исследования.

Установлено количество жителей района, которые попадают в зоны повышенной шумовой нагрузки, произведен расчет величины рисков для здоровья населения, проживающего в зонах повышенного шума. В результате экспериментальных исследований установлена связь между негативным влиянием внешнего шума, создаваемого городским автотранспортом, и состоянием здоровья городских жителей, требующее проведения гигиенических исследований, с применением рекомендованным ВОЗ методологии анализа риска. Установлено, что почти 5000 человек из исследуемой территории большую часть своей жизни проживают на территории, где уровень шума превышает допустимое значение в 55 дБА. Из них около 2000 человек проживают в домах, где проникающий шум превышает значение в 40 дБА.

По результатам теоретических положений и выводов разработаны практические рекомендации по управлению рисками при шумовом загрязнении городской территории.

Ключевые слова: шумовое загрязнение; автомобильный транспорт; экологический риск; здоровье населения.

*Подання до редакції : 11. 11. 2021
Надходження остаточної версії : 21. 11. 2021
Публікація статті : 26. 11. 2021*

УДК 628.33

АНАЛІЗ СОРБЦІЙНОЇ ЗДАТНОСТІ ПРИРОДНИХ СОРБЕНТІВ ПО ВІДНОШЕННЮ ДО ВОДНИХ РОЗЧИНІВ СПОЛУК ВАЖКИХ МЕТАЛІВ

О. М. Хоменко, О. В. Єгорова, О. О. Мислюк

Черкаський державний технологічний університет,
бул. Шевченка, 460, 18006, Черкаси, Україна, o.khomenko@chdtu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0001-9329-0577>

Основними передумовами виникнення в країні кризового екологічного стану, пов'язаного із забрудненням поверхневих вод, є нераціональне використання водних ресурсів із порушенням екологічних вимог, скидання у водні об'єкти неочищених та недостатньо очищених промислових та комунальних стічних вод, а також надходження з поверхневим стоком забруднюючих речовин із сільськогосподарських угідь. Весь комплекс розглянутих факторів є причиною виснаження і забруднення поверхневих вод України, зниження їх самоочисної спроможності, деградації, збідніння та розпаду водних екосистем.

Перевищення вмісту іонів важких металів в поверхневих водах негативно впливає на довкілля, викликає гострі та хронічні захворювання населення, що стало останнім часом поширеним негативним фактором для навколишнього природного середовища України. Потрапляння таких поллютантів в поверхневі води практично повністю обумовлюється антропогенною господарською діяльністю і значну частку цих забруднень складають стоки стічних вод підприємств стратегічних для України промислових напрямків: хімічного, целюлозно-паперового, шкіряно-хутрового, а особливо – чорної та кольорової металургії.

Серед різних методів усунення іонів важких металів з водних середовищ, сорбційні видаються одними із найбільш ефективних, переважно завдяки тому, що за порівняно невеликих затрат вдається досягти високого ступеня очищення. Поряд із адсорбентами, які традиційно застосовуються у цих процесах, в останній час проводиться ряд досліджень та практичних впроваджень із використанням як адсорбентів природних дисперсних мінералів.

Метою даної роботи є дослідження сорбційної здатності та ефективності застосування природного та модифікованого сорбенту – бентонітової глини – у процесах очищення водних розчинів, котрі містять в своєму складі іон важких металів у вигляді розчинених сполук та обґрунтування перспектив їх використання.

Запропоновано методику модифікації бентонітової глини з метою підвищення її адсорбційної здатності до іонів важких металів трьома способами: фізичним (термічним), хімічним (обробка розчином ферум (III) хлоридом) та комбінованим (термообробка вихідного сорбенту із подальшою обробкою розчином ферум (III) хлоридом).

Експериментально доведено, що модифікований природний сорбент шляхом термічної та хімічної обробки характеризується високою поглинальною здатністю до іонів важких металів із водних розчинів, зокрема іонів хрому (VI), купруму (II) та алюмінію (III), ступінь очистки яких знаходиться в межах від 5 % до 83%. Найвищий ступінь поглинання, 83%, спостерігається для комбінованого способу модифікації бентонітової глини, що доводить ефективність використання екологічно безпечних природних сорбентів у процесах очищення стічних вод від іонів важких металів. Наведено переваги сорбційних методів очистки стічних вод з можливістю вилучення забруднюючих речовин різного походження та будь-якої концентрації.

Ключові слова: стічні води; бентонітові глини; сорбент; адсорбція; модифікація

1. ВСТУП

Забруднення навколишнього природного середовища важкими металами – один з найбільш небезпечних видів антропогенного впливу на сьогоdnішній день. Розгалужені транспортні мережі, безліч житлових комплексів і збільшення транспорту на дорогах (а також збільшення ав-

тозаправних комплексів) – все це фактори, що суттєво збільшують ризик зростання концентрацій важких металів у компонентах навколишнього середовища. Основними ж сферами утворення великої кількості забруднюючих агентів залишаються гальванічні виробництва, машинобудівна та металообробна галузі. Виробничі цикли

даних промислових підприємств характеризуються значним споживанням чистої води і, відповідно, утворенням великої кількості стоків, що містять іони важких і кольорових металів (купруму, цинку, феруму, кадмію, хрому, нікелю тощо).

Проблема видалення важких металів зі стічних вод є досить актуальною. Слабко очищені стічні води потрапляють у природні водойми, де сполуки важких металів відкладаються і накопичуються у воді, донних відкладеннях і стають джерелом вторинного забруднення. Важкі метали та їхні сполуки частково випадають в осад у вигляді карбонатів, сульфатів, частково адсорбуються на мінеральних і органічних осадах. Внаслідок чого вміст з'єднань важких металів у відкладеннях постійно збільшується, і коли адсорбційна здатність осадів вичерпується, важкі метали надходять у воду, що й призводить до екологічної кризи.

Серед різних методів усунення сполук іонів важких металів з водних середовищ, саме сорбційні видаються одними із найбільш ефективних, переважно завдяки тому, що за порівняно невеликих затрат вдається досягти високого ступеня очищення.

Поряд із адсорбентами, які традиційно застосовуються у цих процесах (активоване вугілля, силікагелі, штучні цеоліти) в останній час проводиться ряд досліджень та практичних впроваджень із використанням як адсорбентів природних дисперсних мінералів [1-5]. Завдяки пористій структурі та високорозвиненій поверхні такі мінеральні сорбенти, які проявляють високі адсорбційні, каталітичні та іонообмінні властивості, здатні селективно вилучати із водних розчинів різні класи речовин. Економічна доцільність використання цих сорбентів у різних технологічних процесах зумовлюється також існуванням ефективних методів регулювання їхньої геометричної структури та хімічної природи поверхні, існуванням в Україні великих промислових родовищ та невисокою вартістю мінералів із адсорбційними властивостями [6]. Виходячи із цього, дослідження процесів адсорбційного очищення водних середовищ із використанням природних адсорбційних мінералів є завданням важливим та актуальним.

Метою даної роботи є дослідження сорбційної здатності та ефективності застосування природного та модифікованого сорбенту – бентонітової глини – у процесах очищення водних розчинів, котрі містять в своєму складі іон важких металів у вигляді розчинених сполук та обґрунтування перспектив їх використання.

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Методологічну основу роботи складає аналіз існуючих наукових публікацій, а також на матеріалах власних досліджень. Для експериментального визначення іонів хрому (VI), іонів купруму (II) та іонів алюмінію (III) в стічних водах використовували фотоколориметричний метод; активацію природного сорбенту проводили термічними та хімічними методами; метод теоретичного аналізу процесу сорбції та аналітична обробка даних за допомогою ПК.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Відомо, що ефективним сорбентом для очистки стічних вод від іонів важких металів є синтетичні іонні смоли (катионіти), що володіють високою обмінною сорбційною ємністю. Однак, альтернативою можуть стати природні матеріали, що володіють меншою, в порівнянні з катионітами, обмінною ємністю, проте є значно дешевшими. До переваг природних сорбентів можна віднести їх доступність, широку географічну розповсюдженість в Україні, а також можливість їх регенерації або утилізації шляхом застосування в технологіях отримання інших продуктів.

Бентонітова глина є об'ємним наноструктурним матеріалом з великим набором змінних, модифікація яких веде до зміни первинних та набуття нових властивостей речовини, котрі необхідні для того чи іншого виробництва.

Бентонітові глини відносять до корисних копалін, що є тонкодисперсними високопластичними гірськими породами, які складаються в основному із смектинових мінералів. За походженням бентоніти виникають в результаті зміни вулканічної породи або є аутигенними мінералами, тобто мінералами осадових порід, що утворилися в процесі седиментації або подальшого перетворення осаду на місці його накопичення [7]. Найбільш важливим мінеральним компонентом бентонітових глин є смектит (глинистий мінерал). Тому основна увага приділяється мінералогічному аналізу смектиту. Смектитові мінерали діляться на дві підгрупи: діоктаедричний і триоктаедричний.

В діоктаедричних смектитах катіонами заповнені лише 2/3 всіх октаедричних пустот, а в центрі октаедрів переважно знаходяться катіони Al^{3+} . У триоктаедричних смектитах всі октаедричні позиції заповнені катіонами, причому в центрі октаедрів переважно знаходяться катіони Mg^{2+} [8]. До діоктаедричних смектитів відносяться:

монтморилоніт $M_{x/n}^{n+} [Al_{4-x} Mg_x] (Si_8) O_{20} (OH)_4$,
 бейделіт $M_{x/n}^{n+} [Al_{4-x}] (Si_{8-x} Al_x) O_{20} (OH)_4$,
 гекторит $M_{x/n}^{n+} [Mg_{6-x} Li_x] (Si_8) O_{20} (OH, F)_4$,
 сапоніт $M_{x/n}^{n+} [Mg_6] (Si_{8-x} Al_x) O_{20} (OH)_4$.

Кристалічна ґратка всіх смектитів має шарувату структуру (рисунок 1). В елементарну комірку, звичайно, входять 3 шари, які утворюють пакет. Верхній і нижній шари пакету складаються із тетраедрів Al та SiO₄. Між тетраедричними шарами розміщується шар, який складається із октаедрів Al і Fe. Такий трьохшаровий пакет має негативний заряд, який обумовлюється заміщенням тривалентних елементів (Al і Fe) в октаедричному шарі на двовалентні (Mg, Fe) або чотиривалентного елемента Si на тривалентний Al в тетраедричному шарі.

Завдяки негативному заряду на поверхні пакету розміщуються позитивно заряджені

катіони. Це головним чином Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ і Fe³⁺. Це і є джерелом обмінної здатності смектинових глинистих мінералів [8].

Внаслідок взаємодії з водою цих катіонів можуть утворюватись гідратні оболонки, і агрегат пакетів при цьому набухає. Характерно, що об'єм гідратної оболонки для різних катіонів відрізняється. Найбільшу гідрофільну здатність мають йони лужних металічних елементів і в першу чергу натрій. Залежно від складу обмінного комплексу розрізняють лужні (натрієві і кальцій-натрієві) і лужноземельні (кальцієві, магній-кальцієві, кальцій - магнієві) бентоніти. Ця різниця зумовлена особливостями кристалічної будови смектиту, завдяки яким бентоніти володіють багатьма специфічними властивостями, зокрема іонообмінною здатністю. Найбільшою іонообмінною здатністю володіють натрієві бентоніти. Особливістю кальцієвих бентонітів є їх низький ступінь набрякання, що дозволяє їх використовувати в якості фільтруючого матеріалу при очищенні водних розчинів [9].

Також, важливою в практичному відношенні особливістю мінералів групи монтморилоніту є їх властивість набрякати в присутності води, а при нагріванні поступово віддавати адсорбовану воду [10].

Родовище бентонітових глин на Черкащині розміщено на території Лисянського району, а запаси глини продуктивної товщі було оцінено в 22000 млн.т, а її потужність – в 0,5-43 м. За своїми фізичними властивостями це густі, в'язкі, на дотик масні породи різних кольорів – від білого до чорного. У таблиці 1 подано усереднений хімічний склад та основні фізико-хімічні властивості базових мінералів бентонітових глин Черкаського родовища.

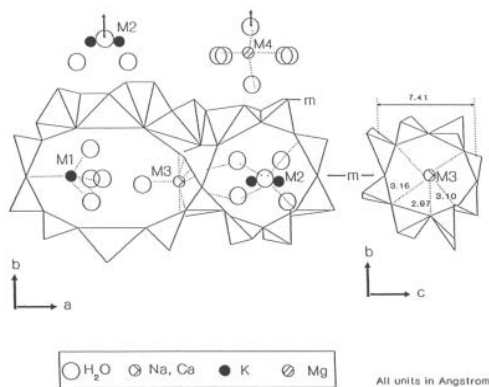


Рис. 1 – Кристалічна структура кліноптилоліту [2]
 Fig.1 – Crystal structure of clinoptilolite

Таблиця 1 – Хімічний склад (% мас.) і поверхневі властивості основних мінералів бентонітових глин [2,8,11]
 Table 1 – Chemical composition and surface properties of basic minerals of bentonite clays

Компоненти і властивості	Палигорськіт	Глауконіт	Гідрослюда	Сапоніт	Монтморилоніт
SiO ₂	52,9	48,8	54,1	46,3	51,9
Al ₂ O ₃	10,5	8,5	13,4	12,5	18,6
Fe ₂ O ₃	7,9	18,9	8,3	17,0	7,2
TiO ₂	-	0,7	0,5	1,9	0,5
MgO	7,2	3,8	8,5	14,8	1,5
CaO	0,3	2,0	0,8	2,4	1,7
Na ₂ O	0,4	0,3	0,4	3,6	0,1
K ₂ O	0,4	6,1	6,3	0,7	0,1
S*, м ² /г	302	120	170	106	410
d, г/см ³	2,7	3,1	3,2	2,8	2,8
A, мг-екв/100 г	23,5	29,0	27,2	57,0	67,3

Методика експерименту.

У якості об'єкта дослідження були обрані зразки водних розчинів важких металів, що містили один із агентів-забруднювачів, зокрема іони хрому (водний розчин калій дихромату), алюмінію (водний розчин хлориду алюмінію) та купрум (водний розчин сульфату купрум). Водні розчини, із концентраціями 1 мг/дм³, готували шляхом розчинення розрахункової кількості відповідних солей у дистильованій воді.

Дослідження сорбційної здатності бентонітової глини проводили в динамічному режимі. Співвідношення глини і робочого розчину становило: 1 г глини на 50 мл розчину. Тривалість сорбції від 5 хвилин до 24 годин. Після завершення сорбції суспензію фільтрували за допомогою фільтра «синя стрічка» та аналізували отриманий фільтрат на вміст залишкової концентрації агентів-забруднювачів.

Аналіз залишкової концентрації визначали за допомогою фотоколориметричного методу на приладі КФК-2 за стандартними методиками. При аналізі зразків фотометричні дослідження проводилися в трьох паралелях з метою зменшення похибки визначення.

В основу методу визначення вмісту іонів купруму (II) у воді покладено утворення забарвленого комплексу сполук купруму з диетилдитіокарбаматом натрію у лужному середовищі синьо-фіолетового кольору.

Метод визначення хрому (VI) заснований на вимірюванні світлопоглинання в діапазоні довжин хвиль від 540 до 550 нм червоно-фіолетової комплексної сполуки, що утворюється в результаті реакції 1,5-дифенілкарбазиду з біхромат-іонами проби аналізованої води в кислому середовищі та подальшим визначення хрому (VI) за значенням оптичної щільності розчину.

В основу методу визначення вмісту іонів алюмінію (III) у воді покладено утворення помаранчево-червоного комплексу алюмінію з алюміноном у кислому середовищі.

Ефективність очищення стічної води визначали за формулою

$$\varphi = \frac{C_{II} - C_K}{C_n} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де C_{II} – початкова концентрація іонів хрому (III) у модельному розчині, мг/дм³; C_K – концентрація іонів хрому (III) після очищення, мг/дм³.

Дослідження сорбційної здатності неактивованої бентонітової глини до іонів важких металів показало, що природний сорбент має низький ступінь адсорбції та ефективність очищення, котрий знаходиться в межах 16,93-42%, що вказує на те, що бентонітова глиня потребує додаткової активації з метою збільшення адсорбційної здатності. Залишкова концентрація іонів-забруднювачів в модельному розчині після очищення у всіх випадках перевищувала допустимі ГДК.

З метою підвищення ефективності сорбційної здатності адсорбенту, бентонітової глини, проведено її модифікацію трьома способами:

1) фізичним (термічним) – термомодифікацію здійснювали шляхом прожарювання у сушильній шафі бентоніту за температури 120 °С протягом 12 год;

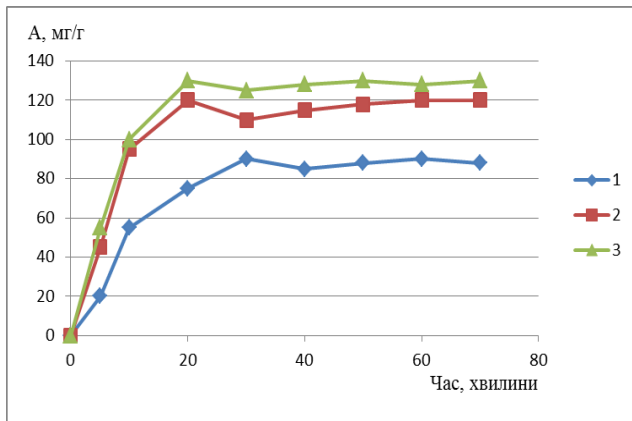
2) хімічним – модифікацію бентонітової глини здійснювали шляхом обробки розчином ферум (III) хлоридом із вмістом FeCl₃ – 60 г/л, рН=2,3. Процес взаємодії глини з розчином ферум (III) хлоридом відбувається з достатньою інтенсивністю вже за кімнатної температури;

3) комбінований – модифікування бентоніту відбувалось шляхом термообробки вихідного сорбенту із подальшою хімічною обробкою розчином ферум (III) хлоридом із вмістом FeCl₃ – 60 г/л, рН=2,3.

Дослідження кінетичних параметрів сорбції іонів важких металів показало, що встановлення рівноваги в системі сорбат-розчин для зразків бентонітової глини до модифікації та після термічної обробки становить 45 хвилин. Швидкість сорбції є максимальною в перші 15 хвилин процесу. На рисунку 2 наведено кінетичні криві сорбції іонів важких металів досліджуваних зразків в перші 70 хвилин. Дані по сорбції через добу не відрізнялись від тих даних, що отримані через 70 хвилин процесу.

Швидкість сорбції іонів важких металів має практичне значення, оскільки визначає час, що витрачається на максимально можливе поглинання іону з розчину.

Термічна обробка природних бентонітів сприяла збільшенню сорбційної здатності по відношенню до іонів Cu²⁺ та Al³⁺, але незначний для іонів Cr⁶⁺ (рисунок 3). З літературних джерел відомо, що підвищення сорбційної здатності обумовлюється видаленням фізично зв'язаної вологи та характеризується збільшенням загальної пористості [8].

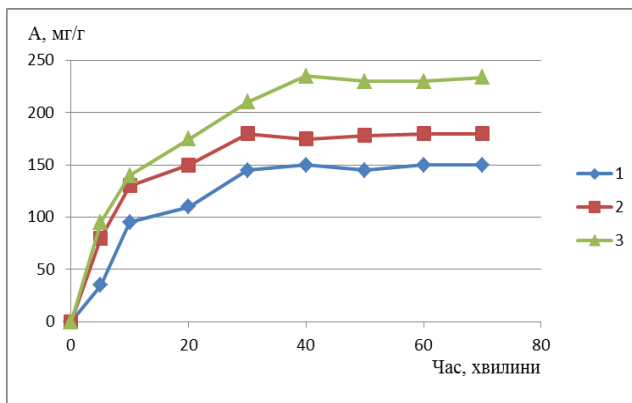


1 – розчин стічних вод, що містить іони хрому (VI);
 2 – розчин стічних вод, що містить іони алюмінію (III);
 3 – розчин стічних вод, що містить іони купруму (II)

1 – wastewater solution containing chromium ions (VI);
 2 – wastewater solution containing aluminum ions (III);
 3 – wastewater solution containing copper ions (II)

Рис. 2 – Кінетичні криві сорбції іонів важких металів неактивованою бентонітовою глиною

Fig.2 – Kinetic curves of sorption of heavy metal ions by inactivated bentonite clay



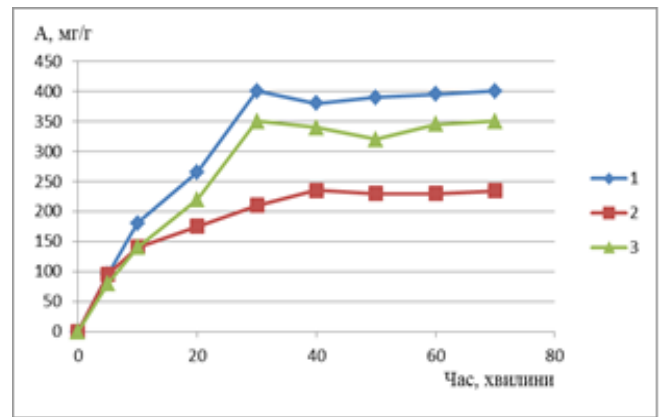
1 – розчин стічних вод, що містить іони хрому (VI);
 2 – розчин стічних вод, що містить іони алюмінію (III);
 3 – розчин стічних вод, що містить іони купруму (II)

1 – wastewater solution containing chromium ions (VI);
 2 – wastewater solution containing aluminum ions (III);
 3 – wastewater solution containing copper ions (II)

Рис. 3 – Кінетичні криві сорбції іонів важких металів бентонітовою глиною після термічної модифікації

Fig.3 – Kinetic curves of sorption of heavy metal ions by bentonite clay after thermal modification

Аналіз рисунка 4 показує, що хімічна обробка глини розчином ферум (III) хлоридом призводить до різкого збільшення сорбційної здатності по відношенню до всіх досліджуваних іонів важких металів. Це пояснюється тим, що в даному випадку відбувається руйнування карбонатних включень в глинистих породах у вигляді розчинних хлоридів кальцію (магнію). При взаємодії бентонітової глини із водним розчином ферум (III) хлоридом відбувається нейтралізація



1 – розчин стічних вод, що містить іони хрому (VI);
 2 – розчин стічних вод, що містить іони алюмінію (III);
 3 – розчин стічних вод, що містить іони купруму (II)

1 – wastewater solution containing chromium ions (VI);
 2 – wastewater solution containing aluminum ions (III);
 3 – wastewater solution containing copper ions (II)

Рис. 4 – Кінетичні криві сорбції іонів важких металів бентонітовою глиною після хімічної модифікації розчином ферум (III) хлоридом

Fig.4 – Kinetic curves of sorption of heavy metal ions by bentonite clay after chemical modification with a solution of iron (III) chloride

карбонатів кальцію (магнію) внаслідок процесу гідролізу.

Таким чином, у процесі модифікування бентонітової глини ферум (III) хлоридом має місце як хімічна, так і поверхнева взаємодія глинистого мінералу з модифікатором. Після хімічної активації зразків відбувається часткове руйнування решітки монтморилоніту, збільшується питома поверхня, загальний обсяг і радіус пор адсорбенту.

Аналогічну картину можна спостерігати при сорбції іонів важких металів бентонітовою глиною, що модифікована комбінованим методом. Дослідження кінетичних параметрів сорбції іонів важких металів показало, що встановлення рівноваги в системі сорбат-розчин для зразків бентонітової глини комбінованим методом модифікації складає 25 хвилин. Швидкість сорбції є максимальною в перші 5-10 хвилин процесу.

Серія експериментальних досліджень з визначення ступеня очистки стічних вод, результати якої представлені в таблиці 2 показала, що глина до модифікації має низьку поглинальну здатність до всіх іонів-забруднювачів і знаходиться в межах 5-25%. Термічна модифікація дозволяє підвищити даний показник у 1,5 рази, зокрема для іонів хрому (VI), після термічної модифікації ступінь поглинання становить 25,0%, для іонів купруму та алюмінію 15,0 % та 30,0 % відповідно. На нашу думку, це пов'язано із видаленням не лише фізичної зв'язаної вологи,

Таблиця 2 – Результати досліджень модельних зразків стічної води до та після очистки природними та модифікованими бентонітовими глинами

Table 2 – The results of studies of model samples of wastewater before and after treatment with natural and modified bentonite clays

Показник		До очистки			Після очистки		
		Cr ⁶⁺	Al ³⁺	Cu ²⁺	Cr ⁶⁺	Al ³⁺	Cu ²⁺
Концентрація іонів-забруднювачів у модельному розчині, мг/дм ³	глина до модифікації	1,0			0,81	0,95	0,75
	глина після термомодифікації (t=120°C)				0,75	0,85	0,70
	глина після хімічної модифікації FeCl ₃				0,355	0,75	0,42
	глина після комбінованого способу модифікації (FeCl ₃ +t°C)				0,17	0,55	0,35
Ступінь очистки, %	глина до модифікації				19,0	5,0	25,0
	глина після термомодифікації (t=120°C)				25,0	15,0	30,0
	глина після хімічної модифікації FeCl ₃				64,5	25,0	58,0
	глина після комбінованого способу модифікації (FeCl ₃ +t°C)				83,0	45,0	65,0

а також із розкладом решток органічних речовин, що наявні у порах бентоніту, що призводить до збільшення питомої поверхні сорбенту.

Одержані під час експериментальних досліджень результати свідчать про те, що модифіковані розчином ферум (III) хлоридом бентонітові глини мають високу сорбційну здатність щодо іонів хрому (VI), що становить 64,5%, та меншу до іонів купруму (II) – 58,0%. Найнижчу сорбційну здатність вони виявляють щодо іонів алюмінію, оскільки дані іони знаходяться в структурній решітці самого мінералу, що перешкоджає максимальному поглинанню їх з розчину.

У межах дослідження сорбційних властивостей модифікованої глини комбінованим методом щодо іонів хрому встановлено, що максимальне зниження концентрації спостерігається вже на 5 хвилині процесу очищення і складає близько 83% від вихідної концентрації, що підтверджує ефективність використання бентонітової глини в якості сорбенту для очищення стічних вод від іонів хрому (VI). Аналогічні властивості сорбент проявляє щодо іонів купруму (II), де ступінь поглинання становить 65 %, однак порівняно низький коефіцієнт поглинання залишається для іонів алюмінію (III) – 45%.

Таким чином, модифіковані глинисті сорбенти дозволяють значно збільшити ефективність процесу сорбції іонів Cu²⁺ та Cr⁶⁺ та зменшити

витрати сорбентів у порівнянні з природною формою зразків.

4. ВИСНОВКИ

Проведені експериментальні дослідження дозволяють зробити висновок про можливе використання глин Дашуківського родовища в активній формі для очищення стічних вод від іонів важких металів. Встановлено, що адсорбент проявляє високі сорбційні та ємнісні характеристики: адсорбційна рівновага досягається за 40 хвилин, швидкість сорбції максимальна в перші 10-15 хвилин процесу.

Ефективність адсорбції зростає у випадку модифікації адсорбенту, що варіюється в межах від 35% до 98% в залежності від обраного способу для всіх іонів-забруднювачів. Найбільш оптимальним варіантом активації є застосування комбінованого способу модифікації – термообробка вихідного сорбенту із подальшою обробкою розчином ферум (III) хлоридом. Як свідчать отримані результати експериментальних досліджень, рівновага в системі сорбат-розчин для зразків бентонітової глини комбінованим методом модифікації складає 25 хвилин, швидкість сорбції є максимальною в перші 5-10 хвилин процесу. Ступінь очищення модельного розчину стічної води від іонів купруму (II) та хрому (III) харак-

теризується найвищим результатом, а саме 83,0 % та 65,0 % відповідно, що підтверджує спроможність використання бентонітової глини як природного сорбенту з метою очищення стічної води та покращення її фізико-хімічних та органолептичних показників за рахунок високих адсорбційних, іонообмінних і фільтраційних властивостей.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Мальований М. С., Петрушка І. М. Очищення стічних вод природними дисперсними сорбентами: монографія. Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2012. 180 с.
2. Сакалова Г. В., Василінич Т. М. Дослідження ефективності очищення стічних вод від іонів важких металів з використанням природних адсорбентів: монографія. Вінниця: ВДПУ ім. Михайла Коцюбинського, 2019. 92 с.
3. Kovo G. Akpomie, Folasegun A. Dawodu. Potential of a low-cost bentonite for heavy metal abstraction from binary component system. Beni-Suef University. *Journal of Basic and Applied Sciences*. 2015. Vol. 4, issue 1. Pp. 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.bjbas.2015.02.002>.
4. Saravanan D., Gomathi T., Sudha P. N. Sorption studies on heavy metal removal using chitin/bentonite biocomposite. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2013. Vol. 53. Pp. 67-71. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2012.11.005>.
5. Cadmium adsorption on manganese modified bentonite and bentonite-quartz sand blend. International / Tomáš Schütz, Silvia Dolinská et al. *Journal of Mineral Processing*. 2016. Vol. 150. Pp. 32-38. <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2016.03.003>.
6. Water Sorption Purification from Ammonium Pollution / Malyovanyi Myroslav, Sakalova Galina, Chornomaz Natalia, Nahurskyu Oleh. *Chemistry and Chemical Technology*. 2013. Vol. 7(3). Pp. 355-358. <https://doi.org/10.23939/chcht07.03.355>.
7. Bergaya F., Theng B. K. G., Lagaly G. Chapter 1. General Introduction: Clays, Clay Minerals, and Clay Science. *Developments in Clay Science, Elsevier*. 2006. Vol. 1. Pp. 1-18. [https://doi.org/10.1016/S1572-4352\(05\)01001-9](https://doi.org/10.1016/S1572-4352(05)01001-9)
8. Ик-спектральное исследование структуры и фазового состава бентонитов Украины / Т. Л. Ракитская, Т. А. Киосе, А. М. Джига, С. В. Топоров. *Вісник Одеського національного університету. Хімія*. 2012. 17(1). С.13-19.
9. Brown G., Nadeau P. Crystal Structures of Clay Minerals and Related Phyllosilicates [and Discussion]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*. 1984. Vol. 311(1517). Pp. 221-240
10. Наукові основи безвідходної технології доочищення промислових стічних вод від сумішей іонів важких металів / Е. С. Яновська, І. В. Затовський, М. С. Слободяник. *Екологія довкілля та безпека життєдіяльності*. 2008. №5. С. 50–54.
11. Танеева А. В. Анализ сорбционных характеристик сорбентов на основе бентонитов. *Поволжский научный вестник*. 2017. № 3. С. 31-36.

REFERENCE

1. Malovanyi, M.S. & Petrushka, I.M. (2012). *Ochyschennia stichnykh vod pryrodnymy dyspersnyy sorbentamy [Wastewater treatment with natural dispersed sorbents]*. Lviv: Publ "Lvivska politekhnik". (in Ukr).
2. Sakalova, H.V. & Vasylynych, T.M. (2019). *Doslidzhennia efektyvnosti ochyschennia stichnykh vod vid ioniv vazhkykh metaliv z vykorystanniam pryrodnykh adsorbentiv [Study of the effectiveness of wastewater treatment from heavy metal ions using natural adsorbents]*. Vinnytsia: The Mykhailo Kotsyubynsky VSPU (in Ukr).
3. Kovo, G. Akpomie & Folasegun, A. Dawodu. (2015). Potential of a low-cost bentonite for heavy metal abstraction from binary component system. Beni-Suef University. *Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(1), pp. 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.bjbas.2015.02.002>.
4. Saravanan, D., Gomathi, T. & Sudha, P.N. (2013). Sorption studies on heavy metal removal using chitin/bentonite biocomposite. *International Journal of Biological Macromolecules*, 53, pp. 67-71. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2012.11.005>.
5. Tomáš, Schütz et al. (2016). Cadmium adsorption on manganese modified bentonite and bentonite-quartz sand blend. *International Journal of Mineral Processing*, 150, pp. 32-38. <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2016.03.003>.
6. Malyovanyi, Myroslav et al. (2013). Water Sorption Purification from Ammonium Pollution. *Chemistry and Chemical Technology*, 7(3), pp. 355-358. <https://doi.org/10.23939/chcht07.03.355>.
7. Bergaya, F., Theng, B.K.G. & Lagaly, G. (2006). Chapter 1. General Introduction: Clays, Clay Minerals, and Clay Science. *Developments in Clay Science, Elsevier*, 1, pp. 1-18. [https://doi.org/10.1016/S1572-4352\(05\)01001-9](https://doi.org/10.1016/S1572-4352(05)01001-9)
8. Rakitskaya, T.L. et al. (2012). Ик-спектральное исследование структуры и фазового состава бентонитов Украины [IR-spectral study of the structure and phase composition of bentonites of Ukraine]. *Visnik Odeskoho natsionalnoho universitetu. Khimiia [Journal of Odessa National University. Chemistry]*, 17(1), pp.13-19. (in Ukr).
9. Brown, G. & Nadeau, P. (1984). Crystal Structures of Clay Minerals and Related Phyllosilicates [and Discussion]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 311(1517), pp. 221-240
10. Yanovska E.S. (2008). Naukovi osnovi bezvidkhodnoi tehnologii doochyshchennia promyslovykh stichnykh vod vid sumishei ioniv vazhkykh metaliv. [Scientific bases of waste-free technology of industrial wastewater treatment from mixtures of heavy metal ions]. *Ekolohiia dovkillia ta bezpeka zhyttiediialnosti [Ecology of the environment and safety of life]*, 5, pp. 50-54. (in Ukr).
11. Taneyeva, A.V. (2017). Analiz sorbtsionnykh kharakteristik sorbentov na osnove bentonitov [Analysis of sorption characteristics of sorbents based on bentonites] *Povolzhskiy nauchnyy vestnik [Povolzhsky Scientific Bulletin]*, 3, pp. 31-36. (in Ukr).

ANALYSIS OF SORPTION CAPACITY OF NATURAL SORBENTS IN RELATION TO AQUEOUS SOLUTIONS OF HEAVY METAL COMPOUNDS

O. M. Khomenko, O. V. Yehorova, O. O. Mysliuk

*Cherkasy state technological university,
460, Shevchenko boulevard, 18006, Cherkasy, Ukraine, o.khomenko@chdtu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0001-9329-0577>*

The main preconditions emergence of an environmental crisis in the country due to surface water pollution include irrational use of water resources in violation of the environmental requirements, discharge of untreated and insufficiently treated industrial and municipal wastewater into water bodies and inflow of polluting substances from agricultural lands as a result of surface water drainage. The whole set of considered factors leads to depletion and pollution of surface water of Ukraine, reduction of their self-cleaning capacity, degradation, impoverishment and collapse of aquatic ecosystems.

Excessive content of heavy metal ions in surface water has a negative impact on the environment, causing acute and chronic diseases. Ingress of such pollutants into surface water is almost entirely due to anthropogenic economic activity. Wastewater from chemical, ferrous and nonferrous metallurgy brings a great amount of such pollutants.

Among various methods used for removing heavy metal ions from aqueous media, sorption methods remain one of the most effective and popular, mainly due to the fact that they ensure a high degree of purification at relatively low costs. Along with the adsorbents traditionally involved in these processes, a number of studies and practical implementations with use of natural dispersed minerals as adsorbents were conducted lately.

The research aims at studying the sorption capacity and efficiency of natural and modified sorbent such as bentonite clay for purification of aqueous solutions containing heavy metal ions in the form of dissolved compounds and justifying its potential application.

It studies the efficiency of wastewater treatment aimed at removing heavy metal ions by the natural clay sorbent of bentonite clays of the Cherkaskyi Deposit (Dashukovskyi deposit).

The paper presents a technique for modification of bentonite clay in order to increase its adsorption capacity for heavy metal ions using the following three methods: physical (thermal), chemical (processing with application of Iron(III) chloride solution) and combined (thermal processing of the original sorbent followed by processing with application of Iron(III) chloride solution).

It has been experimentally proved that a natural sorbent modified via thermal and chemical processing is characterized by a high absorption capacity to heavy metal ions contained in water solutions, in particular to chromium(VI) ions, copper(II) ions and aluminum(III) ions with the purification degree ranging from 5% to 83%. The highest adsorption rate, 83%, is demonstrated by the combined method of bentonite clay modification, therefore proving the effectiveness of application of environmentally friendly natural sorbents for wastewater treatment processes aimed at removing heavy metal ions. The paper indicates the advantages of wastewater treatment sorption methods allowing removal of pollutants of different origin and any concentration.

Key words: wastewater, bentonite clays, sorbent, adsorption, modification.

АНАЛИЗ СОРБЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ПРИРОДНЫХ СОРБЕНТОВ ПО ОТНОШЕНИЮ К ВОДНЫМ РАСТВОРАМ СОЕДИНЕНИЙ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Е.М. Хоменко, О.В. Егорова, О.А. Мыслюк

*Черкасский государственный технологический университет
бул. Шевченка, 460, 18006, Черкассы, Украина, o.khomenko@chdtu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0001-9329-0577>*

Основными предпосылками возникновения в стране кризисного экологического состояния, связанного с загрязнением поверхностных вод, является нерациональное

использование водных ресурсов с нарушением экологических требований, сброс в водные объекты неочищенных и недостаточно очищенных промышленных и коммунальных сточных вод. Весь комплекс рассматриваемых факторов является причиной истощения и загрязнения поверхностных вод Украины, снижения их самоочистки, что приводит к деградации водных экосистем.

Превышение содержания ионов тяжелых металлов в поверхностных водах оказывает негативное влияние на окружающую среду, вызывает острые и хронические заболевания населения. Попадание таких поллютантов в поверхностные воды практически полностью обуславливается антропогенной хозяйственной деятельностью и значительную долю этих загрязнений составляют стоки сточных вод предприятий стратегических для Украины промышленных направлений: химического, целлюлозно-бумажного, кожевенно-мехового, а особенно черной и цветной металлургии.

Среди различных методов устранения ионов тяжелых металлов из водных сред одними из наиболее эффективных и популярными остаются сорбционные методы, преимущественно благодаря тому, что при сравнительно небольших затратах удается достичь высокой степени очистки. Наряду с адсорбентами, традиционно применяемыми в этих процессах, в последнее время проводится ряд исследований и практических внедрений с использованием в качестве адсорбентов природных дисперсных минералов.

Целью данной работы является исследование сорбционной способности и эффективности применения природного и модифицированного сорбента – бентонитовой глины – в процессах очистки водных растворов, содержащих в своем составе ион тяжелых металлов в виде растворенных соединений и обоснование перспектив их использования.

Исследована сорбционная способность природных глинистых сорбентов – бентонитовой глины Черкасского месторождения (Дашуковское месторождение) по отношению к водным растворам соединений тяжелых металлов. Предложена методика модификации бентонитовой глины с целью повышения ее адсорбционной способности к ионам тяжелых металлов тремя способами: физическим (термическим), химическим (обработка раствором феррум (III) хлоридом) и комбинированным (термообработка исходного сорбента) с последующей обработкой раствором.

Экспериментально доказано, что модифицированный природный сорбент путем термической и химической обработок характеризуется высокой поглощающей способностью ионов тяжелых металлов из водных растворов, в частности ионов хрома (VI), купрума (II) и алюминия (III), степень очистки которых находится в пределах от 5 % до 83%. Самая высокая степень поглощения, 83%, наблюдается для комбинированного способа модификации бентонитовой глины, что доказывает эффективность использования экологически безопасных природных сорбентов в процессах очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов. Приведены преимущества сорбционных методов очистки сточных вод с возможностью извлечения загрязняющих веществ различного происхождения и концентрации.

Ключевые слова: сточные воды; бентонитовые глины; сорбент; адсорбция; модификация

*Подання до редакції: 04. 11. 2021
Надходження остаточної версії: 15. 11. 2021
Публікація статті: 26. 11. 2021*

УДК 504.3:004.424

АНАЛІЗ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ М. ОДЕСА ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ДАНИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

А. В. Чугай, Т. В. Лавров, Г. О. Боровська, О. І. Чернякова

Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, avchugai@ukr.net
<http://orcid.org/0000-0002-8091-8430>

У роботі проведено аналіз забруднення атмосферного повітря м. Одеса, в тому числі із застосуванням даних автоматизованих спостережень. Також виконано оцінку стану повітряного басейну із застосуванням окремих параметрів сталого розвитку.

В останні роки за офіційними даними м. Одеса за рівнем забруднення атмосфери входить до переліку найбільш забруднених міст України. За результатами ранжування отримано, що за більшістю забруднюючих речовин рівень забруднення атмосфери м. Одеса можна характеризувати як підвищений. За окремими речовинами (діоксид сірки і оксид азоту) він характеризується як допустимий, а за вмістом формальдегіду – як екстремально високий.

Порівняння даних спостережень за вмістом окремих полутантів на пункті спостережень ОДЕКУ з даними багаторічних спостережень по місту показав, що вміст діоксиду азоту в цілому відповідає середньому багаторічному. Вміст оксиду вуглецю на два порядки нижче за даними спостережень на мережі пунктів по місту, вміст PM_{10} на порядок нижче концентрацій пилу. Підвищення вмісту в атмосферному повітрі певних забруднюючих речовин (діоксид азоту, оксиду вуглецю тощо) відзначається у літньо-осінній період, що є наслідком інтенсифікації автотранспортного руху.

Оцінка стану повітряного басейну міста із застосуванням окремих параметрів індексу екологічного виміру показала, що більш кращі умови відзначались у 2014 і 2016 рр. Умови сталого розвитку характеризуються середніми показниками, але у бік погіршення ситуації.

Отримані у роботі результати є основою для подовження імплементації Постанови Кабінету Міністрів України щодо впровадження нового порядку здійснення державного моніторингу атмосферного повітря в Україні. Існуюча лабораторна база пунктів спостережень потребує докорінного переобладнання. Також необхідним є проведення обстеження забруднення атмосферного повітря для виявлення пріоритетних забруднюючих речовин і, відповідно, розробки програм спостережень з урахуванням необхідності контролю певних домішок.

Ключові слова: автоматизовані спостереження; атмосферне повітря; забруднення; сталий розвиток

1. ВСТУП

Урбанізовані території є окремими джерелами забруднення та одним із головних чинників зміни навколишнього середовища. Одеса – це не тільки велике поліфункціональне місто на півдні України, але й територія, що зумовлює формування несприятливої екологічної ситуації. Серед існуючих сучасних екологічних проблем Одеси пріоритетним є забруднення повітряного басейну.

В останні роки за даними Центральної геофізичної обсерваторії ім. Б. Срезневського м. Одеса за значенням індексу забруднення атмосфери (ІЗА) входить до переліку найбільш забруднених міст України: 2016 р. – 3 місце, 2017 р. – 4 місце, 2018 – 2019 рр. – 3 місце [1 – 4].

У 2019 р. в Україні Постановою Кабінету Міністрів України було затверджено новий «Порядок здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря» [5]. Імплементація цієї Постанови на даний час ще триває.

В межах введення в дію цієї Постанови актуальним є впровадження у регіонах України автоматизованих систем спостережень за якістю атмосферного повітря.

Автоматизовані пункти спостереження за забруднення атмосфери (ПСЗ) на даний час діють в окремих регіонах України. Так, у рамках виконання «Програми охорони навколишнього природного середовища в м. Бровари Київської області на 2019 – 2020 рік» була розроблена і впроваджена відповідна автоматизована система екологічного моніторингу атмосферного повітря

(АСЕМА) [6]. У Дніпропетровській області станом на листопад 2020 р. мережа спостережень за станом атмосферного повітря у житлових зонах включала 14 автоматизованих ПСЗ [7]. У м. Івано-Франківськ в рамках міжнародного проекту «Кампанія за чисте повітря в містах Східної України» розпочато роботу над встановленням стаціонарної громадського моніторингу якості повітря [8]. В Одеській області на даний час також почали функціонувати автоматизовані ПСЗ, а саме спостереження проводяться на пункті у Нових Білярах (Лиманський район) і на пункті, встановленому в ОДЕКУ.

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження було проведення аналізу забруднення атмосферного повітря м. Одеса за даними автоматизованих спостережень, а також оцінка стану повітряного басейну із застосуванням окремих параметрів сталого розвитку.

В якості вихідних даних в роботі використані дані моніторингових спостережень за якістю атмосферного повітря м. Одеса (в тому числі інформація про вміст окремих забруднюючих речовин (ЗР) за багаторічний період) і відомості щодо викидів окремих речовин в атмосферне повітря стаціонарними і пересувними джерелами.

На автоматизованому ПСЗ, встановленому на території ОДЕКУ, спостереження виконуються із застосуванням приладу AQТ420 за вмістом певних ЗР і окремими метеопараметрами. В тому числі визначаються тверді частинки двох розмірів ($PM_{2.5}$ і PM_{10}), які згідно із затвердженням Порядком [5] віднесені до Списку А, тобто переліку ЗР, які необхідно визначати обов'язково. Слід відзначити, що на мережі стаціонарних ПСЗ у м. Одеса визначення цих речовин на даний час не виконується.

Методичні аспекти оцінки якості атмосферного повітря при визначенні $PM_{2.5}$ і PM_{10} представляють певну проблему. Керівними принципами ВООЗ рекомендовані такі рівні: для $PM_{2.5}$ – середньорічний рівень 10 $мкг/м^3$, середньодобовий рівень – 25 $мкг/м^3$; для PM_{10} – середньорічний рівень – 20 $мкг/м^3$, середньодобовий рівень – 50 $мкг/м^3$ [9]. У країнах ЄС, як зазначено у роботі [9], діють такі нормативи: для $PM_{2.5}$ – середньорічний рівень 2,5 $мкг/м^3$; для PM_{10} – середньорічний рівень 40 $мкг/м^3$, середньодобовий рівень – 50 $мкг/м^3$.

Для оцінки стану повітряного басейну із застосуванням окремих параметрів сталого розвитку була застосована метрика для вимірювання

процесів сталого розвитку (МВРС) [10]. Відповідно до МВРС сталий розвиток оцінюється з позицій економічного, екологічного і соціально-інституціонального характеру. Екологічна складова оцінюється на основі розрахунку індексу екологічного виміру (I_e), який визначається з урахуванням трьох категорій екологічної політики: 1) екологічні системи (I_{SYS}); 2) екологічне навантаження (I_{STR}); 3) регіональне екологічне керування (I_{REG}). Ці категорії містять 13 індикаторів і 44 показники [10].

Вихідні дані для оцінки були нормовані так, щоб усі параметри приймали значення від 0 до 1. При цьому кращі значення показників наближені до 0.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Аналіз забруднення атмосферного повітря м. Одеса із застосуванням даних автоматизованих спостережень проведено за період з червня 2019 р. по грудень 2020 р.

На рис. 1 – 6 наведено динаміку зміни середньорічних концентрацій окремих ЗР у м. Одеса за даними автоматизованих спостережень.

Середньомісячні концентрації NO_2 (рис. 1) перевищували $ГДК_{сд}$ у літньо-осінній сезон. Максимальні значення концентрацій відзначались у липні 2020 р. (2,75 $ГДК_{сд}$). У холодний період року концентрації NO_2 знаходились в межах норми. Мінімальне значення відзначено у січні 2020 р. (0,1 $ГДК_{сд}$).

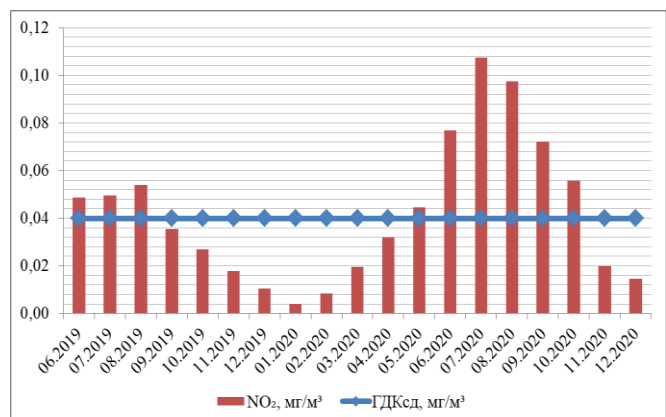


Рис. 1 – Динаміка зміни середньомісячних концентрацій NO_2

Fig. 1 – Dynamics of change in average monthly NO_2 concentrations

Середньомісячні концентрації CO (рис. 2) не перевищували $ГДК_{сд}$. Їх значення варіюються в межах від 0,04 $ГДК_{сд}$ у травні та червні 2020 р. до 0,08 $ГДК_{сд}$ у жовтні 2019 р. і липні 2020 р.

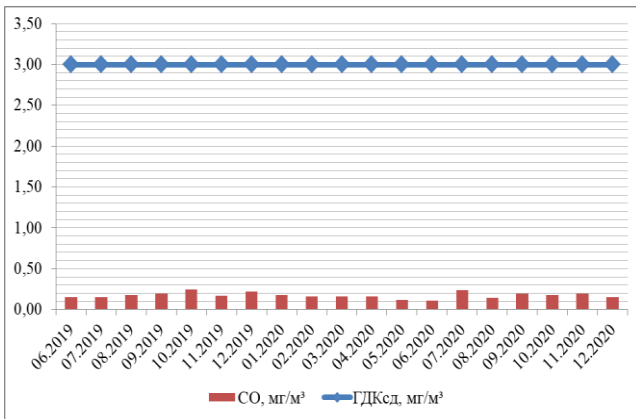


Рис. 2 – Динаміка зміни середньомісячних концентрацій CO

Fig. 2 – Dynamics of change in average monthly CO concentrations

Тенденція змін середньомісячних концентрації SO_2 (рис. 3) схожа з тенденцією змін концентрації NO_2 . Найбільші перевищення $ГДК_{сд}$ аналогічно спостерігаються у літньо-осінній сезон. Максимальні значення концентрації відзначені в липні 2020 р. (4,8 $ГДК_{сд}$), мінімальне – в лютому 2020 р. (0,1 $ГДК_{сд}$).

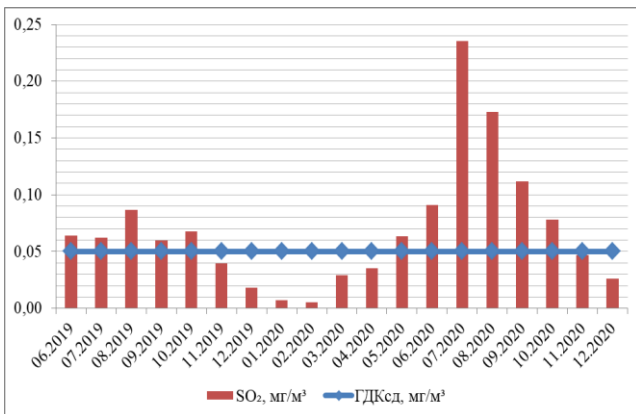


Рис. 3 – Динаміка зміни середньомісячних концентрацій SO_2

Fig. 3 – Dynamics of change in average monthly SO_2 concentrations

Така ж тенденція зберігається і за даними спостережень за вмістом O_3 (рис. 4). Кількість місяців, коли концентрація O_3 була в межах норми, складає 5 (листопад, грудень 2019 р. і січень, лютий, грудень 2020 р.). Усі інші місяці відзначаються перевищенням $ГДК_{сд}$ з максимумом у липні 2020 р., де значення концентрації складало 7 $ГДК_{сд}$. Слід відзначити, що постійні спостереження за вмістом O_3 на стаціонарній мережі майже не проводяться, що ускладнює порівняльний аналіз отриманих даних з даними по місту в цілому.

Більш цікавим було проаналізувати вміст твердих частинок з різним розміром (PM_{10} і $PM_{2.5}$). Вміст PM_{10} (рис. 5) порівнювався з трьома нормативами: $ГДК_{сд}$ для пилу і нормативи ВООЗ і ЄС для PM_{10} . Отримані результати дещо різняться. Перевищення $ГДК_{сд}$ не відзначалось, перевищення нормативів ЄС відзначено в листопаді 2019 р., а перевищення нормативів ВООЗ – у переважній більшості випадків за період спостережень.

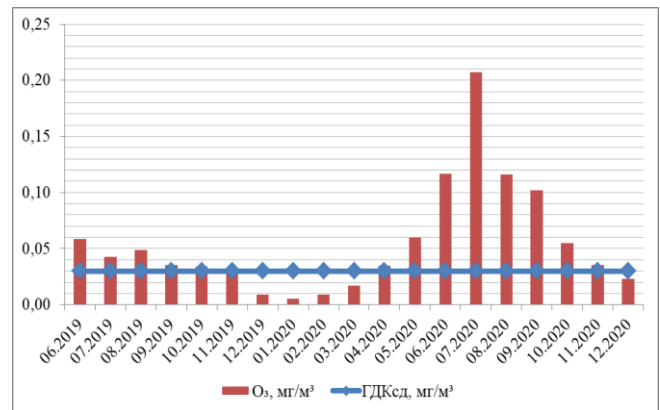


Рис. 4 – Динаміка зміни середньомісячних концентрацій O_3

Fig. 4 – Dynamics of change in average monthly O_3 concentrations

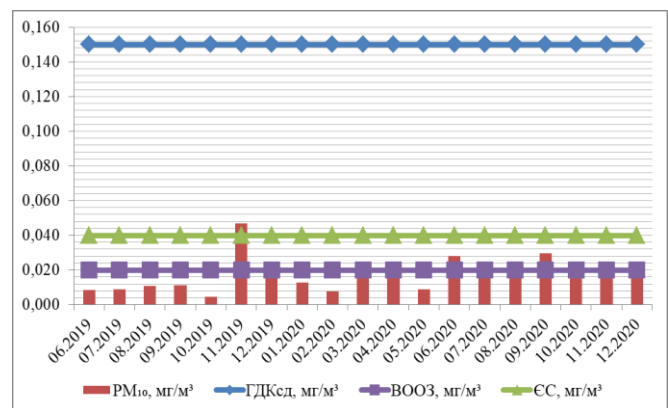


Рис. 5 – Динаміка зміни середньомісячних концентрацій PM_{10}

Fig. 5 – Dynamics of change in average monthly PM_{10} concentrations

Вміст $PM_{2.5}$ (рис. 6) порівнювався з нормативами ВООЗ і ЄС. Аналіз показав, що концентрації не перевищують встановлених стандартів жодного разу протягом всього періоду спостережень.

Цікавим також було порівняння отриманих результатів за даними автоматизованих спостережень з середньорічними концентраціями окремих ЗР в атмосферному повітрі по місту в цілому.

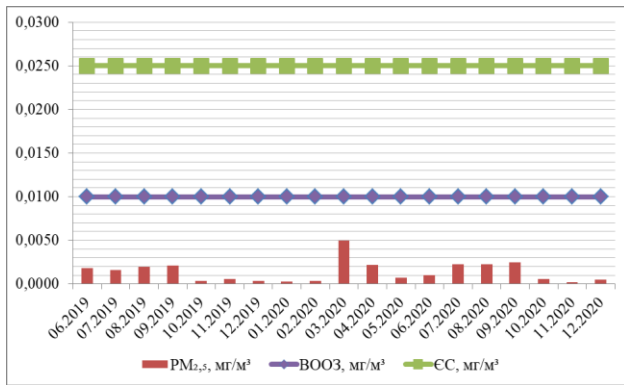


Рис. 6 – Динаміка зміни середньомісячних концентрацій $PM_{2.5}$

Fig. 6 – Dynamics of change in average monthly $PM_{2.5}$ concentrations

Такий аналіз був проведений за даними 2019 р. з урахуванням матеріалів, наведених у [11]. На рис. 7 наведено результати порівняльного аналізу. Як видно з представленого рисунку, майже по всіх речовинах рівень забруднення за даними автоматизованих спостережень нижче середньорічних концентрацій по місту в цілому. Виключення складає вміст SO_2 .

Отримані результати можна пояснити тим, що автоматизований пост знаходиться у приморській зоні і суттєво віддалений від основних стаціонарних джерел забруднення атмосфери. Хоча літньо-осінній сезон, як показали результати, відзначається збільшенням концентрацій майже по всіх ЗР, що може бути наслідком інтенсифікації автотранспортного руху в ці сезони року.

З урахуванням вище зазначеного для двох домішок (NO_2 і CO) було проведено детальний аналіз динаміки зміни концентрацій в літньо-осінній період 2019 р. Було обрано для аналізу терміни у нічний (1:00 – 3:15 год.), ранковий (7:00 – 9:15 год.), денний (13:00 – 15:15 год.) і вечірній (19:00 – 21:15 год.) періоди. Дані були осереднені з кроком 1 хв. Порівняння проводилось з $ГДК_{cd}$, а також розрахованою середньосезонною концентрацією ($q_{сез.сез.}$) згідно [12].

Аналіз показав, що максимальні концентрації NO_2 відзначались у липні і серпні. У більшості випадків отримані значення перевищують і $ГДК_{cd}$, і $q_{сез.сез.}$. Також слід відзначити, що більш високий рівень забруднення відзначався у денні і вечірні часи. Протягом кожного місяця підвищені рівні забруднення відзначались

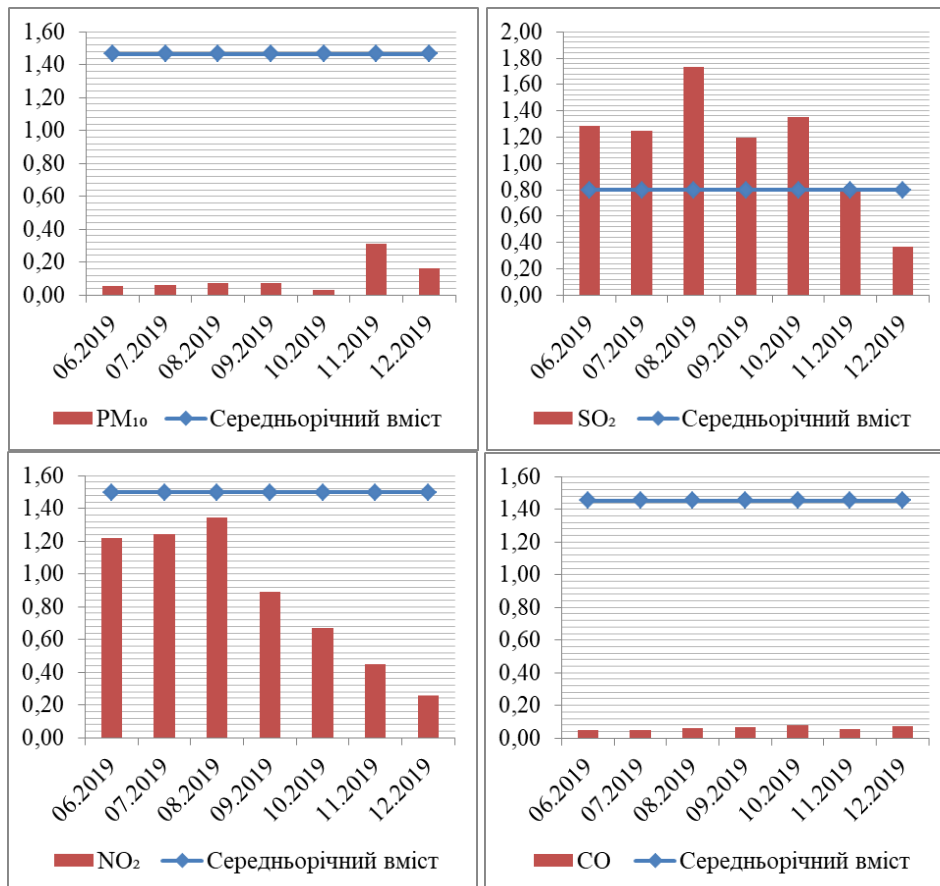


Рис. 7 – Порівняльний аналіз даних спостережень на АQT420 і по м. Одеса в цілому у 2019 р. (од. $ГДК_{cd}$)

Fig. 7 – Comparative analysis of observational data on AQT420 and in Odessa as a whole in 2019 (MPC unit)

у другій декаді червня, першій і третій декадах липня, а також другій половині серпня.

В осінній період відзначається незначне зменшення рівня забруднення атмосфери NO_2 , особливо у жовтні – листопаді. Перевищення $ГДК_{сd}$ і $q_{сер.сез}$ відзначаються в середньому у 50 % випадків у вересні і жовтні. У листопаді це одиничні випадки, проте відзначається різке зростання концентрацій наприкінці місяця (28 – 29 листопада). Також слід відзначити, що перевищення $ГДК_{сd}$ відзначаються у денні і вечірні часи спостережень. Зменшення вмісту NO_2 в осінній період є закономірним, оскільки зменшився транспортний потік, в т.ч. і за рахунок зменшення перевезень відпочиваючих на міські пляжі.

Максимальні концентрації CO влітку відзначались у вечірні та нічні часи, мінімальні – у денні часи. Значні і постійні перевищення $q_{сер.сез}$ відзначались у червні і серпні.

В осінній період відзначалось деяке підвищення загального рівня забруднення CO , особ-

ливо у вересні. Максимальні концентрації, як і влітку, відзначались у вечірні і нічні часи. Відзначено декілька екстремумів у жовтні і листопаді. На наш погляд вони не відображають добовий хід концентрацій CO . Можливо це обумовлено деякими порушеннями у роботі обладнання. Також слід зазначити, що вміст CO за наявними даними на два порядки нижче за даними спостережень на мережі пунктів по місту.

Для вказаних двох домішок було розраховано $ІЗА$ атмосферного повітря діоксидом азоту за даними автоматизованого ПСЗ (рис. 8). Так, за вмістом NO_2 , в літній період якість атмосферного повітря не відповідала вимогам. Максимум забруднення відзначався у серпні. З вересня рівень забруднення суттєво зменшився і відповідав вимогам якості атмосферного повітря. Рівень забруднення атмосферного повітря CO в літньо-осінній період суттєво збільшився. Проте $ІЗА$ не перевищує 1, тобто атмосфера умовно чиста.

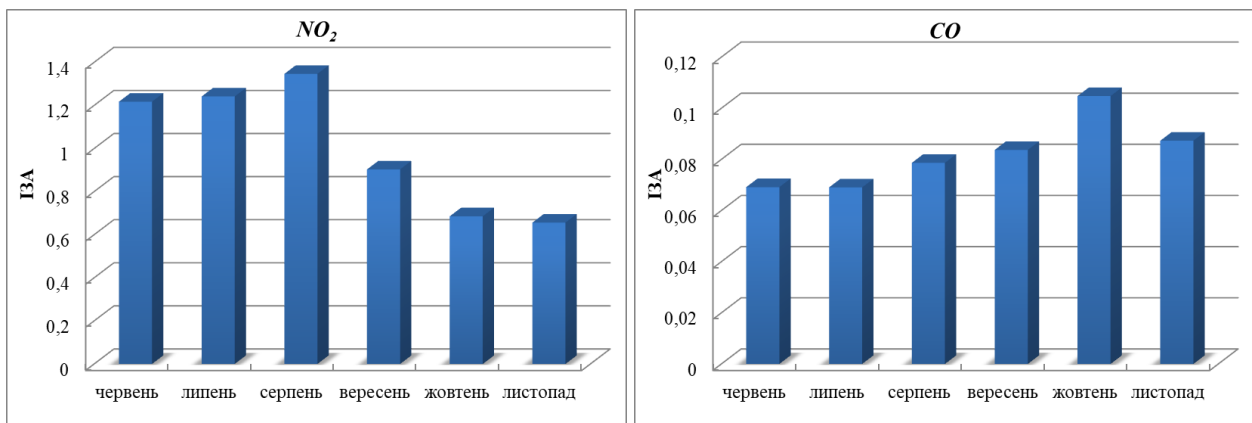


Рис. 8 – Значення $ІЗА$ діоксидом азоту і оксидом вуглецю (пункт спостережень ОДЕКУ, 2019 р.)

Fig. 8 – The value of API with nitrogen dioxide and carbon monoxide (OSENu observation point, 2019)

Аналіз офіційних даних щодо рівня забруднення атмосферного повітря по місту в цілому (аналітичні довідки Департаменту екології і природних ресурсів ОДА) [13] показав наступне:

- у червні максимальні перевищення $ГДК_{сd}$ спостерігалися по CO (2,8 $ГДК_{сd}$) і NO_2 (0,6 $ГДК_{сd}$) в районі Центрального автовокзалу (ПСЗ № 17);
- у липні – по CO (2,8 $ГДК_{сd}$) в районі вул. Балківської (ПСЗ № 18), NO_2 (0,6 $ГДК_{сd}$) – в районі вул. Чорноморського козацтва (ПСЗ № 10);
- у серпні – по CO (2,8 $ГДК_{сd}$) і NO_2 (0,6 $ГДК_{сd}$) в районі Центрального автовокзалу;

- у вересні – по CO (1,6 $ГДК_{сd}$) в районі Центрального автовокзалу, NO_2 (0,7 $ГДК_{сd}$) – в районі вул. Чорноморського козацтва.

Всі ці райони є районами інтенсивного руху автотранспорту.

За отриманими нами результатами рівень забруднення атмосфери CO складав 0,05 – 0,08 $ГДК_{сd}$, NO_2 – 0,66 – 1,35 $ГДК_{сd}$. Тобто в цілому рівень забруднення діоксидом азоту значно вище.

Стосовно рівня забруднення NO_2 , то концентрації цієї домішки за результатами отриманих даних дещо вищі також концентрацій в районі розташування ПСЗ № 8, який в м. Одеса оцінюється як фоновий. За даними багаторічних спос-

тережень концентрації на даному пунктів складають 0,72 – 0,79 ГДК_{ср}.

Для узагальненої оцінки стану повітряного басейну м. Одеса було виконано ранжування і оцінка із застосуванням окремих параметрів сталого розвитку.

Для ранжування рівня забруднення було використано методику, запропоновану авторами роботи [14]. Результати наведено у табл. 1. Так, за більшістю ЗР рівень забруднення атмосфери м. Одеса можна характеризувати як підвищений. За окремими речовинами (діоксид сірки і оксид азоту) рівень забруднення характеризується як допустимий, а за вмістом формальдегіду – як екстремально високий.

Таблиця 1 – Ранжування забруднення атмосферного повітря м. Одеса за рівнем перевищення ГДК_{ср} окремими ЗР (2003 – 2019 рр.)

Table 1 – Ranking of air pollution in Odessa by the level of exceeding the MPC_{ср} by individual pollutants (2003 – 2019)

Допустимий рівень (< 1 ГДК)	Підвищений рівень (1 – 2 ГДК)	Високий рівень (2 – 3 ГДК)	Екстремально високий рівень (3 – 6 ГДК)
пил			
–	+	–	–
діоксид сірки			
+	–	–	–
оксид вуглецю			
–	+	–	–
діоксид азоту			
–	+	–	–
оксид азоту			
+	–	–	–
сажа			
–	+	–	–
фенол			
–	+	–	–
фтористий водень			
–	+	–	–
формальдегід			
–	–	–	+

Для оцінки стану повітряного басейну міста із застосуванням окремих показників сталого розвитку використано такі параметри: середні концентрації діоксиду азоту I_{NO_2} , діоксиду сірки I_{SO_2} і пилу I_{TSP} в атмосферному повітрі, викиди оксидів азоту I_{NOx} , діоксиду сірки I_{SO_2} і ЗР від автомобільного транспорту I_{CAR} . Оцінку виконано за даними моніторингових спостережень 2014 – 2019 рр.

На рис. 9 наведено результати оцінки стану повітряного басейну м. Одеса за період дослід-

ження. Як видно, більш кращі умови відзначались у 2014 і 2016 рр. Досить високі показники у 2015 р., які суттєво погіршили ситуацію, пояснюються значними концентраціями пилу і діоксиду азоту, а також обсягами викидів сполук азоту і сірки. В останні роки ситуація майже не змінюється. Умови сталого розвитку характеризуються середніми показниками, але у бік погіршення ситуації.

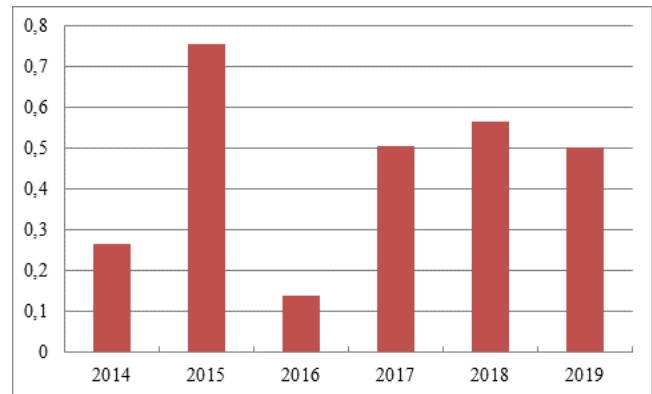


Рис. 9 – Оцінка стану повітряного басейну м. Одеса за показниками сталого розвитку

Fig. 9 – Assessment of the state of Odessa air basin on the indicators of sustainable development

Якщо рівень екологічної безпеки стаціонарних джерел забруднення можна підвищувати за рахунок удосконалення повітряно-охоронних заходів і технологічних процесів, упорядкування конфігурації санітарно-захисних зон і т.ін., тоді як домінування пересувних джерел забруднення в місті ускладнює ситуацію, оскільки ці заходи слід застосовувати до великої кількості джерел забруднення.

Важливим фактором впливу на якість атмосферного повітря є також стан зелених насаджень. Площа зелених насаджень міста становить 742 га, що у розрахунку на 1 мешканця міста складає 7,4 м²/особу і становить 61,7%. В окремих районах кількість зелених насаджень на одного мешканця становить лише 17% від національного нормативу. Слід зауважити, що ВООЗ в якості необхідної норми для забезпечення здоров'я населення пропонує ще більш високу цифру – 50 м² на одного міського жителя.

4. ВИСНОВКИ

В результаті проведеного аналізу забруднення атмосферного повітря м. Одеса за даними автоматизованих спостережень і узагальненої оцінки стану повітряного басейну можна зробити такі висновки:

1. Порівняння даних спостережень за вмістом окремих поллютантів на автоматизованому ПСЗ ОДЕКУ з даними багаторічних спостережень по місту показало, що вміст діоксиду азоту в цілому відповідає середньому багаторічному по місту в цілому. Вміст оксиду вуглецю на два порядки нижче за даними спостережень на мережі пунктів по місту, вміст PM_{10} на порядок нижче концентрацій пилу.

2. Аналіз динаміки зміни концентрацій діоксиду азоту в літній період показали, що максимальні концентрації відзначались у липні і серпні. У більшості випадків отримані значення перевищують і $ГДК_{сд}$, і $q_{сер.сез}$. Підвищений рівень забруднення відзначався у денні і вечірні часи. В осінній період відзначається незначне зменшення рівня забруднення, особливо у жовтні – листопаді. Перевищення $ГДК_{сд}$ відзначаються також у денні і вечірні часи. Зменшення вмісту діоксиду азоту в осінній період є закономірним через зменшення транспортного потоку.

3. Максимальні концентрації оксиду вуглецю в літній період відзначались у вечірні та нічні часи, мінімальні – у денні. Значні і постійні перевищення $q_{сер.сез}$ відзначались у червні і серпні. В осінній період відзначається підвищення загального рівня забруднення, особливо у вересні. Максимальні концентрації, як і влітку, відзначались у вечірні і нічні часи. Відзначено декілька екстремумів у жовтні і листопаді. Вони не відображають добовий хід концентрацій оксиду вуглецю і можуть бути обумовлені деякими порушеннями у роботі обладнання.

4. За значенням $ІЗА$ діоксидом азоту в літній період 2019 р. якість атмосферного повітря не відповідала вимогам, $ІЗА$ оксидом вуглецю в літньо-осінній період суттєво збільшився. Проте атмосфера умовно чиста. Вміст оксиду вуглецю за наявними даними на два порядки нижче за даними спостережень на мережі пунктів по місту.

5. Концентрації діоксиду азоту за результатами отриманих даних дещо вище концентрацій в районі розташування ПСЗ № 8, який в м. Одеса оцінюється як фоновий.

6. За результатами ранжування отримано, що за більшістю ЗР рівень забруднення атмосфери м. Одеса можна характеризувати як підвищений. За окремими речовинами (діоксид сірки і оксид азоту) він характеризується як допустимий, а за вмістом формальдегіду – як екстремально високий.

7. Оцінка стану повітряного басейну міста із застосуванням окремих параметрів індексу екологічного виміру показала, що більш кращі умо-

ви відзначались у 2014 і 2016 рр. Високі показники у 2015 р. сформувались за рахунок значних концентрацій пилу і діоксиду азоту, а також обсягами викидів сполук азоту і сірки. Умови сталого розвитку характеризуються середніми показниками, але у бік погіршення ситуації.

Отримані дані є основою для подовження імплементації Постанови Кабінету Міністрів України щодо впровадження нового порядку здійснення державного моніторингу атмосферного повітря в Україні. Існуюча лабораторна база стаціонарних ПСЗ потребує докорінного переобладнання. Необхідно проведення обстеження забруднення атмосферного повітря з метою виявлення в сучасних умовах пріоритетних ЗР і, відповідно, розробки програм спостережень з урахуванням необхідності контролю певних домішок.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Огляд стану забруднення навколишнього природного середовища на території України за даними спостережень гідрометеорологічних організацій у 2016 році. Київ: ЦГО ім. Б. Срезневського, 2017. 47 с.
2. Огляд стану забруднення навколишнього природного середовища на території України за даними спостережень гідрометеорологічних організацій у 2017 році. Київ: ЦГО ім. Б. Срезневського, 2018. 50 с.
3. Огляд стану забруднення навколишнього природного середовища на території України за даними спостережень гідрометеорологічних організацій у 2018 році. Київ: ЦГО ім. Б. Срезневського, 2019. 50 с.
4. Огляд стану забруднення навколишнього природного середовища на території України за даними спостережень гідрометеорологічних організацій у 2019 році. Київ: ЦГО ім. Б. Срезневського, 2020. 44 с.
5. Деякі питання здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/827-2019-%D0%BF#Text> (дата звернення: 2.12.2020).
6. Про автоматизовану систему екологічного моніторингу атмосферного повітря у місті Бровари Київської області. URL: <https://ecolog-ua.com/news/pro-avtomatyzovanu-sistemu-ekologichnogo-monitoryngu-atmosfernogo-povitrya-u-misti-brovary> (дата звернення: 27.05.2021).
7. Інформаційно-аналітичний огляд стану атмосферного повітря Дніпропетровської області. URL: <https://adm.dp.gov.ua/storage/app/uploads/public/5fae8b/2a9/5fae8b2a9a9ee492080056.pdf> (дата звернення: 27.05.2021).
8. Кампанія за чисте повітря в містах Східної України. URL: <https://arnika.org/ru/novaia-tehnologija-monitoringa-vozdukh-dlia-ukrainy> (дата звернення: 27.05.2021).
9. Качество атмосферного воздуха и здоровье. URL: [https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) (дата звернення: 2.12.2020).
10. Сталый розвиток регіонів України. URL: http://nung.edu.ua/files/attachments/stalyy_rozvytok_regioniv_ukrayiny.pdf (дата звернення:

- 07.06.2020).
11. Екологічний паспорт. Одеська область. 2019 рік. Одеса, 2020. 201 с.
 12. Збірник методичних вказівок до практичних робіт з дисципліни «Моніторинг довкілля» / Чугай А.В. та ін. Одеса: ОДЕКУ, 2006. 139 с.
 13. Стан навколишнього природного середовища Одеського регіону. URL: <http://ecology.odessa.gov.ua/montorg/> (дата звернення 22.11.2019).
 14. Яценко Ю., Шевченко О., Сніжко С. Класифікація міст України за рівнем забруднення атмосферного повітря. Вісник КНУ ім. Тараса Шевченка. Серія: Географія. 2017. № 3 (68) / 4 (69). С. 25 – 30.
- REFERENCES**
1. *Ohliad stanu zabrudnennia navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha na terytorii Ukrainy za danymy sposterezhen hidrometeorologichnykh orhanizatsii u 2016 rotsi* [Review of the state of environmental pollution on the territory of Ukraine according to the observations of hydrometeorological organizations in 2016] (2017). Kyiv: CGO named after B. Sreznovskyi (in Ukr.)
 2. *Ohliad stanu zabrudnennia navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha na terytorii Ukrainy za danymy sposterezhen hidrometeorologichnykh orhanizatsii u 2017 rotsi* ч [Review of the state of environmental pollution on the territory of Ukraine according to the observations of hydrometeorological organizations in 2017] (2017). Kyiv: CGO named after B. Sreznovskyi (in Ukr.)
 3. *Ohliad stanu zabrudnennia navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha na terytorii Ukrainy za danymy sposterezhen hidrometeorologichnykh orhanizatsii u 2018 rotsi* [Review of the state of environmental pollution on the territory of Ukraine according to the observations of hydrometeorological organizations in 2018] (2019). Kyiv: CGO named after B. Sreznovskyi (in Ukr.)
 4. *Ohliad stanu zabrudnennia navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha na terytorii Ukrainy za danymy sposterezhen hidrometeorologichnykh orhanizatsii u 2019 rotsi* [Review of the state of environmental pollution on the territory of Ukraine according to the observations of hydrometeorological organizations in 2019] (2020). Kyiv: CGO named after B. Sreznovskyi (in Ukr.)
 5. *Deiaki pytannia zdiisnennia derzhavnoho monitorynhu v haluzi okhorony atmosferного povitria* [Some issues of state monitoring in the field of air protection]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/827-2019-%D0%BF#Text> (Accessed: 2 December 2020) (in Ukr.)
 6. *Pro avtomatyzovanu systemu ekolohichnoho monitorynhu atmosferного povitria u misti Brovary Kyivskoi oblasti* [On the automated system for environmental monitoring of air in Brovary, Kyiv region]. Available at: <https://ecology-ua.com/news/pro-avtomatyzovanu-systemu-ekolohichnoho-monitorynhu-atmosferного-povitrya-u-misti-brovary> (Accessed: 27 May 2021) (in Ukr.)
 7. *Informatsiino-analitychnyi ohliad stanu atmosferного povitria Dnipropetrovskoi oblasti* [Information and analytical review of the air of Dnipropetrovsk region]. Available at: <https://adm.dp.gov.ua/storage/app/uploads/public/5fae8b2a9/5fae8b2a9a9ee492080056.pdf> (Accessed: 27 May 2021) (in Ukr.)
 8. *Kampaniia za chyste povitria v mistakh Skhidnoi Ukrainy* [Campaign for clean air in the cities of Eastern Ukraine]. Available at: <https://arnika.org/ru/novaia-tekhnologiia-monitoringa-vozdrukha-dlia-ukrainy> (Accessed: 27 May 2021) (in Ukr.)
 9. *Kachestvo atmosferного vozdukha i zdorov'e* [Air quality and health]. Available at: [https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) (Accessed: 2 December 2020) (in Russ.)
 10. *Stalyi rozvytok rehioniv Ukrainy* [Sustainable development of the regions of Ukraine]. Available at: http://nung.edu.ua/files/attachments/stalyy_rozvytok_rehioniv_ukrayiny.pdf (Accessed: 7 June 2020) (in Ukr.)
 11. *Ekolohichniy pasport. Odeska oblast. 2019 rik* [Ecological passport. Odesa region. 2019] (2020). Odesa (in Ukr.)
 12. Chugai, A.V. et al. (2006). *Zbirnyk metodychnykh vkazivok do praktychnykh robіt z dystsypliny «Monitorynh dovkillia»* [Collection of methodical instructions for practical works in the discipline "Environmental Monitoring"]. Odesa: OSENU (in Ukr.)
 13. *Stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha Odeskoho rehionu* [The state of the environment of the Odesa region]. Available at: <http://ecology.odessa.gov.ua/montorg/> (Accessed: 22 November 2019) (in Ukr.)
 14. Iatsenko, Yu., Shevchenko, O. & Snizhko, S. (2017) *Klasyfikatsiia mist Ukrainy za rivnem zabrudnennia atmosferного povitria* [Classification of cities of Ukraine by the level of air pollution]. *Visnyk KNU im. Tarasa Shevchenka. Seriia: Heohrafiia* [Bulletin of KNU. Taras Shevchenko. Series: Geography], 3 (68) / 4 (69), pp. 25 – 30 (in Ukr.)

ANALYSIS OF AIR POLLUTION IN THE CITY OF ODESA USING AUTOMATED OBSERVATION DATA

A. V. Chugai, T. V. Lavrov, H. O. Borovska, O. I. Chernyakova

Odessa State Environmental University,
15, Lvivska St., 65016 Odesa, Ukraine, avchugai@ukr.net
<http://orcid.org/0000-0002-8091-8430>

The work presents the analysis of air pollution in the City of Odesa using, among others, the data of automated observations. The air basin state was also evaluated using individual parameters of sustainable development.

According to the official data of the recent years the City of Odesa belongs to the most polluted cities of Ukraine in terms of air pollution. Based on the ranking results it was established that the level of atmospheric pollution in the City of Odesa can be classified as high for the most of pollu-

tants. It is classified as acceptable for some substances (sulfur dioxide and nitrogen oxide) and as extremely high for formaldehyde concentration.

After comparing the observational data related to content of individual pollutants at the OSE-NU's observation point and the data of long-term observations in the city it was found that the content of nitrogen dioxide generally corresponds to the average long-term values. The observations conducted at the points of the city network indicated that the content of carbon monoxide is two orders of magnitude lower and the content of PM₁₀ is one order of magnitude lower than dust concentrations. The increased content of certain pollutants in the air (nitrogen dioxide, carbon monoxide, etc.) is observed in the summer-autumn period and caused by the traffic intensification.

The evaluation of the city's air basin state using individual parameters of the environmental measurement index showed that we observed better conditions in 2014 and 2016. The conditions for sustainable development are characterized by average indicators, however, towards worsening of the situation.

The results obtained in this paper form a basis for extending the implementation of the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine on introducing a new procedure for state monitoring of the atmospheric air in Ukraine. The existing laboratory base of the observation points requires radical re-equipment. It is also necessary to conduct an air pollution survey for identification of high priority pollutants and, based thereon, development of monitoring programs with consideration of the necessity for keeping certain impurities under control.

Key words: automated observations, atmospheric air, pollution, sustainable development

АНАЛИЗ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА Г. ОДЕССА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

А. В. Чугай, Т. В. Лавров, Г. А. Боровская, О. И. Чернякова

*Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, avchugai@ukr.net
<http://orcid.org/0000-0002-8091-8430>*

В работе проведен анализ загрязнения атмосферного воздуха г. Одеса с использованием данных автоматизированных наблюдений. Также выполнена оценка состояния воздушного бассейна с применением отдельных параметров устойчивого развития.

Сравнение данных наблюдений за содержанием отдельных поллютантов на пункте наблюдений ОГЭКУ с данными многолетних наблюдений по городу показал, что содержание диоксида азота в целом соответствует среднему многолетнему. Содержание оксида углерода на два порядка ниже по данным наблюдений на сети пунктов по городу, содержание PM₁₀ на порядок ниже концентраций пыли. Повышение содержания в атмосферном воздухе некоторых загрязняющих веществ (диоксид азота, оксида углерода и др.) отмечается в летне-осенний период, что является следствием интенсификации автотранспортного движения.

Оценка состояния воздушного бассейна города с применением отдельных параметров индекса экологического измерения показала, что более лучшие условия отмечались в 2014 и 2016 гг. Условия устойчивого развития характеризуются средними показателями, но в сторону ухудшения ситуации.

Полученные результаты являются основой для продолжения имплементации Постановления Кабинета Министров Украины по внедрению нового Порядка осуществления государственного мониторинга атмосферного воздуха в Украине. Существующая лабораторная база пунктов наблюдений нуждается в коренном переоборудовании. Также необходимо проведение обследования загрязнения атмосферного воздуха для выявления приоритетных загрязняющих веществ и, соответственно, разработки программ наблюдений с учетом необходимости контроля определенных примесей.

Ключевые слова: автоматизированные наблюдения, атмосферный воздух, загрязнение, устойчивое развитие.

*Подання до редакції : 29. 09. 2021
Надходження остаточної версії : 08. 10. 2021
Публікація статті : 26. 11. 2021*

УДК 911.53

ОЦІНКА ЕКОЛОГО-ГЕОХІМІЧНОГО СТАНУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД ДОНБАСУ

Є. О. Яковлев¹, А. О. Сплодитель², С. М. Чумаченко³

¹Інститут телекомунікації і глобального інформаційного простору НАН України,
Чоколівський б-р, 13, 03086, Київ, Україна, yakovlev@niss.gov.ua
<https://orcid.org/0000-0001-6934-618X>

²Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М. П. Семененка НАН України,
просп. Академіка Палладіна, 34, 03142, Київ, Україна, asplodytel@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0002-8109-3944>

³Національний університет харчових технологій,
вул. Володимирська, 68, 01033, Київ, Україна, sergiy23.chumachenko@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0002-8894-4262>

Стаття присвячена оцінці еколого-геохімічного стану поверхневих вод Донбасу, їхньому забрудненню внаслідок просторово-часових змін природних та техногенних факторів. Встановлено, що хімічне забруднення виникає внаслідок проникнення елементів-полутантів в поверхневі води в результаті фільтраційних витоків з відстійників, скидів вод підприємствами вугільної, хімічної, металургійної, коксохімічної і нафтохімічної промисловості. Зафіксовано підвищені концентрації біогенних елементів (мінеральних форм азоту і заліза) у водах річки Сіверський Донець та Лугань. Найбільш істотне погіршення якості підземних вод за рахунок високого вмісту сульфатів та хлоридів спостерігається на вододілах долини річки Лугань.

Результати вимірювань вмісту металів засвідчили підвищений вміст міді та марганцю, окремі значення виходять за межі середньорічної концентрації встановленого нормативу. В цілому, аналіз результатів вмісту забруднюючих речовин в досліджуваних річкових басейнах не виявив значних змін вмісту важких металів за період військових дій у порівнянні з результатами державного моніторингу до 2014 р. Отримані експериментальні дані свідчать, що у всіх досліджуваних об'єктах за вмістом в донних відкладах домінує ванадій, хром, мідь. Найбільше накопичення вмісту важких металів відбувається в р. Бахмутка та р. Кривий Торець. Встановлено, що в пробах донних відкладів р. Кривий Торець кратність перевищення фонових значень для міді та свинцю становить 4-5 разів. Перевищення фонових значень цинку сягає 10 разів, ванадію – 4 рази. Аналогічні показники дещо нижчі у Волинцевському водосховищі, що пов'язано з більш інтенсивними процесами водообміну та особливостями гранулометричного складу донних відкладів. Концентрація цинку перевищує фоновий рівень у 3 рази, ванадію і марганцю в 2 рази.

Важкі метали в донних відкладах досліджуваних водних об'єктів розподілені нерівномірно. Домінуючу роль за вмістом в донних відкладах займає ванадій та мідь. Концентрація цинку, ванадію, нікелю в окремих об'єктах також перевищує їх регіональний фоновий вміст. У мінімальних кількостях виявлений титан.

Ключові слова: еколого-геохімічні умови; поверхневі води; донні відклади; важкі метали; промислові стоки.

1. ВСТУП

Прискорений розвиток промисловості у Донбасі призвів до широкомасштабного зарегулювання поверхневих вод у малих та середніх річках Донбасу, а також визначив нові еколого-геохімічні умови формування поверхневого стоку. Техногенний вплив комунально-промислових стоків на річковий стік Донбасу за умов нестійкої роботи очисних споруд більшості міст та селищ є досить небезпечним. Крім того, зростання впливу додаткового територіального забруднення як поверхневих, так і підземних джерел господарсько-питного водопостачання

(ГПВ) при затопленні шахт і неконтрольованих витоків мінералізованих і забруднених вод є підставою виникнення надзвичайних ситуацій на об'єктах, що є ключовими елементами критичної інфраструктури життєзабезпечення місцевого населення. Така техногенна вразливість джерел ГПВ формує високий ризик надзвичайних ситуацій екологічного походження, в тому числі інфекційних та неінфекційних захворювань, що можуть виникати через вживання забрудненої питної води.

Збройний конфлікт, що триває тут з 2014 року, окрім інших проблем, став також причиною

нових екологічних загроз у регіоні. Дослідження сучасного еколого-геохімічного стану поверхневих та підземних вод Донбасу ускладнені важкою доступністю до багатьох територій, неможливістю виконання повноцінних експериментальних робіт та отримання необхідної інформації.

Головною метою роботи є оцінка еколого-геохімічного стану поверхневих вод Донбасу як джерел господарсько-питного водопостачання для населення Донецької і Луганської областей.

Аналіз досліджень і публікацій. Численні наукові прогнози екологічних змін природного середовища Донбасу відображені в працях В.Д. Бабушкіна, Г.І. Рудька, М.М. Коржнева, Н.Г. Лютої, А.В. Лушика, С.М. Чумаченка, В.М. Шестопалова, С.О. Яковлева та інших науковців.

Оснвою еколого-геохімічних досліджень техногенно забруднених територій складають праці Б.Ф. Міцкевича (1971, 1981), Е.В. Собоновича (1991, 2002), А.С. Войновського (1983), Л.Л. Малишевої (1998), В.В. Доліна (2004, 2011), І.В. Кураєвої (2002, 2015, 2019), Н.Г. Лютої (2003), інших дослідників.

Дослідження свідчать про нестабільність показників хімічного складу та водно-фізичних параметрів (температура, прозорість, смак тощо) поверхневих вод регіону, що визначається перманентною гірничодобувною діяльністю. Зниження водовідливу обумовлює прискорення затоплення шахт і збільшення перетоків шахтних забруднених мінералізованих вод у горизонт ґрунтових вод та поверхневий стік річок, які є провідним и джерелами ГПВ.

Оцінка еколого-геохімічного стану поверхневих вод Донбасу на підконтрольній та невідконтрольній українському уряду територіях була обумовлена активним використанням місцевим населенням локальних джерел за межами центральної системи водопостачання «Вода Донбасу». Тому з урахуванням рекомендацій місцевих підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій, Міністерства охорони здоров'я та обласних військово-цивільних адміністрацій були визначені пункти обстеження поверхневих водотоків з метою виявлення джерел забруднення та встановлення рівня небезпеки.

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Регіональні геохімічні оцінки вразливості поверхневих вод Донбасу до природних та техногенно-порушених умов регіону були виконані за ініціативою Центру гуманітарного діалогу імені Анрі Дюнан (HD center, Швейцарія) групою фахівців НАН України в рамках проєкту «Попе-

редня оцінка екологічної небезпеки резервних джерел господарсько-питного водопостачання населення Донбасу (Донецька та Луганська області) за умов АТО» та науково-дослідної роботи відділу геохімії техногенних металів та аналітичної хімії Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України «Трансформація сполук важких металів у компонентах довкілля урбанізованих території України» (2017-2021).

Лабораторні дослідження проб води виконано методами мас-спектрометрії з індукційно зв'язаною плазмою (ICP-MS аналіз, аналізатор ELEMENT-2, виробництво Німеччина) в Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України та в науково-технічному центрі випробування води Інституту колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України. Досліджено 338 проб води.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Гідрогеологічні умови.

В регіональному аспекті умови накопичення ресурсів і формування якості поверхневих та підземних вод Донбасу є складними і різноманітними. Специфіка гідрогеологічних умов різних зон Донецької і Луганської областей на сучасному етапі формування є результатом складної взаємодії геологічних (склад водоносних порід, їх розчинність та ін.), фізико-географічних (кількість опадів, розвиток річкової мережі, клімат та ін.) та, в останні десятиріччя техногенних (дренування шахтами, кар'єрами, водозаборами, інфільтрація техногенних забруднень та інші) чинників. Характерними є розвиток тріщинувато-пористих вод з достатньою промітністю водоносних порід до глибини 100-200 м [1-3].

Дніпровсько-Донецький артезіанський басейн багатий на прісні підземні води, які формуються у мезо-кайнозойських відкладах. У Донецькій гідрогеологічній складчастій області в межах поширення палеозойського складчастого комплексу метаморфізованих осадових порід (від девону до початку мезозою) запаси підземних вод приурочені до водоносних комплексів юрських, тріасових, нижньопермських і кам'яновугільних відкладів [3].

Природні та техногенно-порушені території у вугледобувних районах Донбасу у теперішніх умовах функціонування гірничо-добувних комплексів, промислово-міських агломерацій, об'єктів критичної інфраструктури, в тому числі систем ПГВ, а також в зонах бойових дій мають

певні особливості та відміни. До особливостей природних та техногенно-порушених територій Донбасу належать [3,4]:

- *геолого-структурні*: різноманітність форм та розмірів складчастих структур басейну (по формі це синклінальні та антиклінальні споруди від лінійних до брахіскладок із заляганням верств порід від горизонтального до майже вертикального); приналежність шахт до певних геоморфологічних елементів та ступінь розчленування рельєфу в зонах формування водозбору над шахтними полями; анізотропність кам'яновугільних відкладів у просторі і часі;

- *гідрологічні*: залежність площ підземних прісних та слабо- мінералізованих вод від протягання порід та перешарування добре- і слабо-проникних порід, що складають водоносні горизонти кам'яновугільних відкладів; скорочення кількості їх ділянок та площ з початком процесу затоплення нерентабельних шахт та кар'єрів;

- *способи і система розробки родовищ кам'яного вугілля*: наявність дуже складної системи гірничих виробок у широкому діапазоні глибин з великою кількістю закритих і затоплених шахт; тривалість експлуатації шахт;

- *гідродинамічні*: неврегульований характер руху підземних вод в діючих та закритих шахтах; наявність регіональних та місцевих депресійних воронок, що поширюються далеко за межі шахтних полів;

- *інженерно-геологічні*: формування мульд просідання земної поверхні над шахтними полями, в яких утворились ділянки підтоплених територій; гідростатичне та дегідратійне стискання ґрунтового покриву внаслідок утворення депресійних воронок.

Фактори впливу екологічно небезпечних об'єктів.

Екологічний вплив промислових об'єктів Донбасу здебільшого залежить від їх положення відносно регіонально розвинутої техногенної тріщинуватості порід, тектонічних порушень.

Результатом комплексного впливу посиленої інфільтрації мінералізованих шахтних вод, геохімічного забруднення, порушення регіональних водотривів та інших процесів стала практично повна трансформація ландшафтно-геохімічної структури території [2,3].

В зв'язку з різкою різницею проникності та величини інфільтраційного живлення покривних та кам'яновугільних відкладів у межах більшості територій Донбасу сформувалася двошарова структура гідрогеофільтраційного потоку [3]:

- латеральний розвиток техногенного ґрунтового водоносного горизонту, що мають природно-техногенний режим живлення;

- площинні групи локальних депресій рівнів підземних вод в межах шахтних полів та ділянок геологічних структур, що приурочені до зон підвищеного дренажного впливу гірничих робіт (пласти проникних піщаників, вугілля, тектонічні порушення, гідравлічні збійки виробок та ін.).

Технічний вплив підприємств вугільної промисловості на водні ресурси здійснюється також через породні відвали шахт та збагачувальні фабрики, які містять сполуки сірки та є активними джерелами сульфатів. З одного породного відвалу дощовий стік вимиває 407 т/год зважених речовин і до 8 т солей.

Всі ці забруднювальні речовини потрапляють в водотоки та ґрунтові води. Використовувані в басейні джерела підземних вод не захищені з поверхні та мають тісний гідравлічний зв'язок не лише з сильно забрудненими водоймами, але з великою кількістю ставків-накопичувачів, хвостосховищ, відстійників, масивами зрошення поверхневими стічними водами [2,3].

Поверхневий стік середніх і малих річок в басейні формується, в основному, за рахунок забруднюючих промислових скидів, шахтних водовідливів (табл. 1). Ці водотоки є основними

Таблиця 1 – Розподіл забруднюючих промислових скидів
Table 1 – Distribution of industrial polluting discharges

	Скид підприємствами, млн. м ³ /год						
	Донецька обл.	Луганська обл.	р. Казенний Торець	р. Кальміус	р. Сіверський Донець	р. Лугань	Азовське море
Всього	2731,92	1053,65	422,23	1012,24	1966,38	356,70	4661,38
Стічних	2177,45	746,95	389,76	830,34	1698,32	214,76	3578,79
Шахтно-рудничих	447,09	287,02	29,31	177,68	243,87	133,47	686,05
Колекторно-дренажних	6,76	11,54	2,17	4,26	16,05	7,84	397,54

приймачами всіх стічних вод і наносів, які не справляються з обсягами забруднення.

Саме тому в них не відбувається природна очистка за рахунок розбавлення природними водами річок та природних біологічних процесів.

Шахтні води щодобово привносять лише в басейн р. Лугань більше 1000 т солей переважно сульфатно-хлоридного складу. Річки Сіверський Донець і Лугань в середньоводні роки приймають в 2,2 рази більше обсягів промислових стоків з водозбірної площі Луганської області в порівнянні з маловодними фазами.

В Луганській області шахтний водовідлив є одним з основних факторів, що призводить до осушення окремих водоносних горизонтів. Найбільше зниження рівня підземних вод спостерігається в шахтах Горської-Первомайськ-Кіровської групи. Вплив шахтного водовідливу проявляється в дренаванні підземних вод всіх основних водоносних горизонтів, де депресійні воронки досягнули значних розмірів. Орієнтовна площа здренованого четвертинного водоносного горизонту для вищезазначеної території складає 9 км² [4-6].

Хімічному забрудненню сприяє проникнення елементів-поллютантів в поверхневі та підземні води в результаті фільтраційних витоків з відстійників, скидів вод підприємствами вугільної, хімічної, металургійної, коксохімічної і нафтохімічної промисловості. Найбільший осередок засолення підземних вод площею 66 км² сформувався в басейні р. Сіверський Донець в районі відходів Лисичанського содового заводу (Лисичанськ), ПрАТ «Северодонецьке об'єднання Азот» (Северодонецьк), ТОВ «Рубіжанський Краситель» (Рубіжне). Мінералізація підземних вод досягає 124 г/дм³, фенолу – 0,8 г/л, амінопродуктів – 0,16 г/дм³, нітропродуктів – 0,57 г/дм³. Аналіз міграції високотоксичних рідинно-газових аерозолів в гірничих виробках свідчить про їх об'ємний розподіл в поровому просторі, синергізмі з органічно-мінеральними спо-

луками гірничих порід (вугільна смолка, сульфідні сполуки піриту), можливості надходження з парами шахтної води. Крім того, температура випаровування багатьох токсичних сполук (нітрозних, хлорбензолних та ін.) складає 7-700° С, в зв'язку з чим можлива їх локальна концентрація в рідкій (при зниженні температури) та газовій (при нагріванні) формах.

Другий осередок забруднення продуктами нафтопереробної промисловості площею 9,8 км² і на глибину 0,4 м сформований Лисичанським нафтопереробним заводом.

Найбільш істотне погіршення якості підземних вод за рахунок високого вмісту сульфатів та хлоридів спостерігається на вододілах долини річки Лугань (табл. 2), нижче Хорошанського вододілу:

- Родаківський водозбір – зростання мінералізації з 930 до 972 мг/дм³;
- Насосна станція м. Луганська №3 – з 793 до 835 мг/дм³;
- Насосна станція №4 м. Луганська – з 1055 до 1129 мг/дм³;
- Насосна станція «Луганськтепловоз» – 1319 до 1445 мг/дм³.

В водах р. Сіверський Донець в межах Луганської області перевищені ГДК за сухим залишком, азотом та фенолом. Нижче за течією від ТОВ «Рубіжанський Краситель» в воді зафіксовано амінопродукти (анілін), нітропродукти (нітрохлорбензол), цинк, азот нітритний, феноли.

Більшість підземних джерел питного водопостачання розташовані в долинах річок та малих водотоків і пов'язані з крейдовими відкладами. Тому їхнє забруднення досягає критичних значень, що може призвести водопостачання регіонів до катастрофічних наслідків в найближчій перспективі [4].

Визначення впливу підприємств вугледобувної промисловості на формування екологічних параметрів поверхневого стоку

Таблиця 2 – Вміст забруднювальних речовин в водах р. Лугань
Table 2 – Pollutants content in the waters of river Luhan

Найменування пункту відбору	Вміст, мг/дм ³ (гх10 ⁻³ /л)			
	Сухий залишок, мінералізація	Азот амонійний	Хлориди (ГДК-250,0)	Нафтопродукти (ГДК-0,1)
ГДК	100,0	0,5	250,0	0,1
Вище м. Кадіївка (до впадіння в р. Камишуваху)	2220,5	0,35	424,0	не визначено
У м. Луганськ (біля насосної станції)	1890,0	1,0	386,0	0,6

Таблиця 3 – Вміст забруднювальних речовин в басейнах річок Казенний Торець, Кривий Торець, Бахмутка та по руслу р. Сіверський Донець (2018-2019 р.р.), (мг/дм³)**Table 3** – Pollutants content in river basins of Kazennyi Torets, Kryvyi Torets, Bakhmutka also along the Siverskyi Donets riverbed (2018-2019), (mg/dm³)

ЗР	Сіверський Донець нижче гирла Казенний Торець	Сіверський Донець нижче міста Лисичанськ	Кривий Торець	Казенний Торець	Бахмутка	Лугань	ГДК [7,8]
Азот амон.	1,42	0,97	1,75	1,81	1,92	1,43	0,5
Залізо заг.	0,421	0,347	0,378	0,342	0,702	0,532	0,2
Кобальт	0,08	0,09	0,05	0,2	0,3	0,08	0,1
Марганець	0,02	0,07	0,03	0,05	0,04	0,03	0,05
Мідь	0,4	0,2	0,4	0,8	0,2	0,4	1
Хром	0,03	0,02	0,04	0,05	0,07	0,02	0,05
Свинець	0,007	0,003	0,003	0,006	0,005	0,004	0,01
Цинк	0,42	0,28	0,57	0,98	0,46	0,68	1
Сульфати	1126	1145	782	728	1350	1120	250
Нафтопродукти	0,25	-	0,28	0,25	0,19	0,21	0,1
Нітрити	0,072	0,079	0,054	0,072	0,061	0,057	0,5

базувалося на зіставленні природних показників режиму річок в непорушеному стані з такими показниками в умовах техногенного впливу. Зафіксовано підвищені концентрації біогенних елементів (мінеральних форм азоту і заліза) у водах всіх річок, що досліджувалися (табл. 3).

Результати вимірювань вмісту металів засвідчили підвищений вміст міді та марганцю, окремі значення виходять за межі середньорічної концентрації встановленого нормативу. В цілому, аналіз результатів вмісту забруднювальних речовин в досліджуваних річкових басейнах не

виявив значних змін вмісту важких металів за період військових дій в порівнянні з результатами державного моніторингу до 2014 р.

Підвищений вміст амонійного азоту в порівнянні з річкою Сіверський Донець було відзначено у воді річок Казенний Торець і Кривий Торець: його вміст сягав 1,81 мг/дм³, і це також може вказувати на забруднення води сполуками азоту зі стічних вод (табл.4,5). Для води гирлової частини річки Казенний Торець встановлено зростання вмісту нафтопродуктів та нітратів.

Таблиця 4 – Якість води річки Казенний Торець та Кривий Торець (мг/дм³)**Table 4** – River water quality of Kazennyi Torets, Kryvyi Torets (mg/dm³)

Назва забруднюючої речовини	р. Казенний Торець 2018 рік	р. Кривий Торець, 2018 рік
Сульфати	724	776
Хлориди	428	523
Сухий залишок	2842	2606
Залізо загальне	0,381	0,358
Азот амонійний	1,81	1,75
Нітрити	0,345	0,311
Нітрати	21,0	16,6
Нафтопродукти	0,28	0,23
БСК5	4,26	4,18
Фосфати	1,34	0,92
Завислі речовини	52,7	42,4

Таблиця 5 – Середньорічний вміст забруднювальних речовин в р. Казенний Торець

Table 5 – Average annual content of pollutants in Kazennyi Torets

Компоненти	Середньорічний вміст, мг/дм ³			
	Створ №1 (вище від м. Краматорськ)	Створ №2 (нижче скиду вод заводу КМЗ)	Створ №3 (нижче скиду КМЗ, м Краматорськ)	ГДК [7,8]
Ціаніди	0,44	0,001	0,063	0,050
Роданіди	0,189	0,282	0,251	-
Феноли	0,125	0,255	0,090	0,001
Залізо загальне	0,62	0,63	0,58	0,2
Фтор	0,95	0,97	0,84	-
Сухий залишок	2003	2015	1876	1000,0
Аміак	2,91	3,14	3,75	0,5
Хлориди	334	342	337	250,0
Сульфати	648	676	626	250,0
Нітрити	0,27	0,28	0,39	0,5
Нітрати	2,68	3,68	2,81	50,0
Загальна жорсткість, моль/м ³	14,7	15,1	14,1	7,0

Більшість річкових систем регіону збагачені широким спектром металів. У таблиці 6 представлено дані вмісту ВМ в донних відкладах річок Донбасу. Оскільки на сьогодні не існує ГДК для вмісту ВМ у донних відкладах, тому порівняння вмісту проводилося за регіональними фоновими значеннями в ґрунтах. Отримані експериментальні дані свідчать, що у всіх досліджуваних об'єктах за вмістом в донних відкладах домінує ванадій, хром, мідь. Найбільше накопичення вмісту ВМ відбувається в р. Бахмутка та р. Кривий Торець.

Техногенне надходження ВМ в водне середовище річок очевидно здійснюється внаслідок діяльності ряду підприємств: шахта «Голубівська», ТОВ ЦЗФ «Узловська» (м. Горлівка), ТОВ

«Інтер-інвест Вугілля» (м. Первомайськ), Кіровський ковальський завод «Центрокуз», ПрАТ «Бахмутський аграрний союз», Ясиновський КХЗ (м. Макіївка), Ясинуватський машзавод (м. Ясинувата), ЗАТ «Еластомер» (м. Горлівка) тощо [5,6].

Так, в пробах донних відкладів р. Кривий Торець кратність перевищення фонових значень для міді та свинцю становить 4-5 разів. Перевищення фонових значень вмісту цинку сягає 10 разів, ванадію – 4 рази. Аналогічні показники дещо нижчі в Волинцевському водосховищі, що, мабуть, пов'язано з більш інтенсивними процесами водообміну та особливостями гранулометричного складу донних відкладів. Концентрація цинку

Таблиця 6 – Результати аналізу вмісту ВМ у донних відкладах поверхневих водних об'єктів Донбасу (мг/кг)

Table 6 – Results of analysis of HM content in bottom sediments of surface water bodies of Donbas (mg/kg)

Точка відбору проби	V	Cr	Cu	Pb	Ti	Mn	Zn	Ni
Фонове значення	20	100	15	15	-	500	50	20
р. Лугань	23,5	28,2	12,7	5,8	3,62	223	15,2	6,7
Нижньокальміуське водосховище	68,2	43,2	16,2	11,3	2,64	480	45,7	23,7
Волинцевське водосховище	43,2	54,3	23,4	22,4	1,45	985	143,7	20,2
р. Кривий Торець	83,4	119	65,5	87,2	2,87	1134	587	43,3
р. Бахмутка	48,2	51,8	117	16,3	3,02	452	124	27,6
р. Сіверський Донець	17,3	19,4	14,2	7,2	1,41	148	24,2	4,8
водосховище Клебан-Бик	72,5	87,7	21,3	15,6	3,07	321	57,3	42,5

перевищує фоновий рівень у 3 рази, ванадію і марганцю в 2 рази.

Мінімальні концентрації ВМ характерні для приуслових ділянок р. Лугань, що пов'язано з піщаним гранулометричним складом відкладів. Вміст титану та свинцю знаходиться в інтервалі 3,21-5,8 мг/кг, що значно нижче середніх значень по інших об'єктах дослідження.

Резюмуючи вищенаведене, можна констатувати, що важкі метали в донних відкладах досліджуваних водних об'єктів розподілені нерівномірно. Домінуючу роль за вмістом в донних відкладах займає ванадій та мідь. Концентрація цинку, ванадію, нікелю в окремих об'єктах також перевищує їх регіональний фоновий вміст. У мінімальних кількостях виявлений титан. Накопичення ВМ у донних відкладах залежить від їх гранулометричного складу та вмісту органічної речовини. Найбільша кількість забруднювачів виявлена в мулах дрібнодисперсних фракцій, багатих органічною речовиною.

4. ВИСНОВКИ

Сучасні еколого-геохімічні умови формування поверхневого і підземного стоку в Донбасі внаслідок значних просторово-часових змін природних і техногенних факторів є вкрай складними, що формує високі ризики надзвичайних ситуацій екологічного походження. В умовах інтенсивного антропогенного впливу на ландшафти Донбасу відбувається підвищення рівня фонових характеристик водного середовища, посилюються рівні коливання концентрацій хімічних сполук, змінюються закономірності процесів формування хімічного складу поверхневих і підземних вод. Шахтні води Донбасу є потужним провідним джерелом забруднення природних вод регіону. Першочерговими заходами із забезпечення екологічної безпеки є проведення системного екологічного моніторингу зони АТО з метою вивчення потенційних шляхів міграції забруднювальних речовин на території та наукового обґрунтування системи заходів з відновлення критичної інфраструктури, зокрема водопостачання та очистки промислових стоків.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Екогеологія України: навчальний посібник / Шестопапов В. М., Коржнев М. М., Вишва С. А. та ін. Київ, 2011. 671 с.
2. Яковлев Є. О. Асиміляційний потенціал геологічного середовища гірничо-добувних регіонів України як провідний показник екологічних проблем надрокористування. *Мінеральні ресурси України*. 2015. 4. С. 37–43.
3. Яковлев Є. О. Теоретичні основи оцінки часу затоплення шахт і кар'єрів. *Мінеральні ресурси України*. 2010. 2. С. 35–39.
4. Яковлев Е. А., Госк Е. В., Сляднев В. А. Предварительная оценка регионального влияния закрытия шахт Макеевско-Горловско-Енакиевской горно-городской агломерации на активизацию процесса подтопления, ухудшение инженерно-геологических условий и рост экологической уязвимости подземных вод. *Галузеві інформаційні бюлетені 1, 2*. Київ-Донець-Копенгаген: Державні геологічні служби України та Данії, 2001. 57 с.
5. Экологическая гидрогеология / Белоусова А. П., Гавич И. К., Лисенков А. Б., Попов Е. В. Москва, 2006. 397 с.
6. Бондар О. І., Улицький О. А., Єрмаков В. М. Звіт про результати вивчення екологічної ситуації на території Донецької та Луганської області / Міністерство з питань тимчасово окупованих територій та внутрішньо переміщених осіб України. Київ, 2018. 70 с.
7. ДСТУ 7525:2014. Вода питна та методи контролювання якості. Київ. Мінекономрозвитку, 2014. 26 с.
8. Керівництво з контролю якості питної води. Т.2. Гігієнічні критерії та інша релевантна інформація / Всесвітня організація охорони здоров'я. Москва: Медицина, 1987. 325 с.

REFERENCES

1. Shestopalov, V.M., Korzhnev, M.M., Vyzhva, S.A. et al. (2011). *Ekoheolohiia Ukrainy [Ecogeology of Ukraine]*. Kyiv. (in Ukr.)
2. Yakovliev, Ye.O. (2015). Asymiliatsiyni potentsial heolohichnoho seredovyshcha himycho-dobuvnykh rehioniv Ukrainy yak providnyi pokaznyk ekolohichnykh problem nadrokorystuvannia. [Assimilation potential of the geological environment of mining regions of Ukraine as a leading indicator of ecological problems of subsoil use]. *Mineral resources of Ukraine*, 4, pp. 37-43 (in Ukr.)
3. Yakovliev, Ye.O. (2010). [Theoretical bases for estimating the time of flooding of mines and quarries]. *Mineral resources of Ukraine*, 2, pp. 35–39 (in Ukr.)
4. Yakovlev, E.A., Gosk, E.V. & Slyadnev, V.A. (2001). Predvaritelnaya otsenka regionalnogo vliyaniya zakrytiya shakht Makeevsko-Gorlovsko-Enakievskoy gorno-gorodskoy aglomeratsii na aktivizatsiyu protsessu podtopleniya, ukhudshenie inzhenerno-geologicheskikh usloviy i rost ekologicheskoy uyazvimosti podzemnykh vod [Preliminary assessment of the regional impact of the closure of mines in the

Makeyevsko-Gorlovsko-Yenakievskaya mountain-urban agglomeration on the intensification of the process of flooding, deterioration of engineering and geological conditions and an increase in the ecological vulnerability of groundwater]. *Haluzevi informatsiini biuleteni 1, 2 [Branch news bulletins 1, 2].* Kiev-Donetsk-Copenhagen: State Geological Services of Ukraine and Denmark (in Ukr.)

5. Belousova, A.P. et al. (2006). *Ekologicheskaya gidrogeologiya [Ecological hydrogeology]*. Moscow (in Russ.)

6. Bondar, O.I., Ulytskyi, O.A., & Yermakov, V.M. (2018). *Zvit pro rezultaty vyvchennia ekolohichnoi sytuatsii na terytorii Donetskoi ta Luhanskoi oblasti [Report on the results of studying the ecological situation in the Donetsk and Luhansk re-*

gions]. Kyiv: Ministry of the Temporarily Occupied Territories and Internally Displaced Persons of Ukraine. (in Ukr.)

7. DSTU 7525: 2014. *Voda pytna ta metody kontroliuvannia yakosti. [State Standard of Ukraine 7525: 2014. Drinking water and quality control methods]*. Kyiv. Ministry of Economic Development. (in Ukr.)

8. *Kerivnytstvo z kontroliu yakosti pytnoi vody [Guide to drinking water quality control]*. Vol.2. *Hihienichni kryterii ta insha relevantna informatsiia. [Hygienic criteria and other relevant information]*. (1987). World Health Organization. Moscow: Medytyna (in Ukr.)

EVALUATION OF THE ECOLOGICAL AND GEOCHEMICAL STATE OF SURFACE WATER IN DONBAS

Ye. O. Yakovliev¹, A. O. Splodytel², S. M. Chumachenko³

¹*Institute of telecommunication and Global Information Space of National Academy of Science of Ukraine, Chokolivskyi Blvd., 13, 03086, Kyiv, Ukraine, yakovlev@niss.gov.ua*
<https://orcid.org/0000-0001-6934-618X>

²*M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the National Academy of Sciences of Ukraine, 34 Palladin Ave., 03142, Kyiv, Ukraine, asplodytel@gmail.com*
<http://orcid.org/0000-0002-8109-3944>

³*National University of Food Technologies, Volodymyrska St., 68, 01033, Kyiv, Ukraine, sergiy23.chumachenko@gmail.com*
<http://orcid.org/0000-0002-8894-4262>

The article covers evaluation of the ecological and geochemical state of surface water and bottom sediments in Donbas, as well as their pollution resulting from spatio-temporal changes of natural and anthropogenic factors. It was established that chemogenic pollution occurs due to penetration of polluting elements into surface water as a result of filtration leaks from sedimentation tanks and water discharges made by enterprises of coal, chemical, metallurgical, coke-chemical and petrochemical industries. Increased concentrations of biogenic elements (mineral forms of nitrogen and iron) were recorded in the water of the Siverskyi Donets and the Luhan rivers. The most significant deterioration of groundwater quality because of high content of sulfates and chlorides is observed within the watersheds of the Luhan River's valley.

Measurement results of the metals content indicated an increased content of copper and manganese. Some values even exceed the average annual concentrations specified by the existing normative values. In general, the results of the pollutants content analysis in the river basins under study did not reveal significant changes in the content of heavy metals during the period of military actions as compared to the results of government monitoring by 2014. The obtained experimental data indicate that vanadium, chromium and copper dominate in bottom sediments of all the studied objects. The greatest accumulation of heavy metals is observed in the Bakhmutka River and the Kryvyi Torets River. The research established that copper and plumbum in the bottom sediment samples taken from the Kryvyi Torets exceed the background values by 4-5 times. Zinc and vanadium exceed the background content values by 10 and 4 times, respectively. The same indicators are slightly lower in the Volyntsevske Reservoir and this fact is associated with more intense processes of water exchange and certain peculiarities of bottom sediments granulometric composition. Concentration of zinc is 3 times as much as the background level, vanadium and manganese – twice as much.

Heavy metals in the bottom sediments of the studied water bodies are characterized by uneven distribution. Vanadium and copper dominate in the content of bottom sediments. Concentrations of zinc, vanadium and nickel at certain objects also exceed their regional background content values. Titanium was detected in minimum quantities.

Keywords: ecological and geochemical conditions; surface water; bottom sediments; heavy metals; industrial discharges.

ОЦЕНКА ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ДОНБАССА

Е. А. Яковлев¹, А. О. Сплодитель², С. М. Чумаченко³

¹Институт телекоммуникаций и глобального информационного пространства НАН Украины,
Чоколовский б-р, 13, 03086, Киев, Украина, yakovlev@niss.gov.ua
<https://orcid.org/0000-0001-6934-618X>

²Институт геохимии, минералогии и рудообразования им. Н.П. Семеновко НАН Украины,
просп. Академика Палладина, 34, 03142, Киев, Украина, asplodytel@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0002-8109-3944>

³Национальный университет пищевых технологий,
ул. Владимирская, 68, 01033, Киев, Украина, sergiy23.chumachenko@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0002-8894-4262>

Статья посвящена оценке эколого-геохимического состояния поверхностных вод Донбасса, их загрязнения в результате пространственно-временных изменений природных и техногенных факторов. Установлено, что хемотропное загрязнение возникает вследствие проникновения элементов-загрязнителей в поверхностные воды в результате фильтрационных утечек из отстойников, сбросов вод предприятиями угольной, химической, металлургической, коксохимической и нефтехимической промышленности. Зафиксировано повышенные концентрации биогенных элементов (минеральных форм азота и железа) в водах рек Северский Донец и Лугань. Наиболее существенное ухудшение качества подземных вод в результате высокого содержания сульфатов и хлоридов наблюдается на водоразделах долины реки Лугань.

Результаты измерений содержания металлов показали повышенное содержание меди и марганца, отдельные значения выходят за пределы среднегодовой концентрации установленного норматива. В целом, анализ результатов содержания загрязняющих веществ в исследуемых речных бассейнах не выявил значительных изменений содержания тяжелых металлов за период военных действий по сравнению с результатами государственного мониторинга до 2014 г. Полученные экспериментальные данные свидетельствуют, что во всех исследуемых объектах (по содержанию в донных отложениях) доминирует ванадий, хром, медь. Наибольшее накопление тяжелых металлов происходит в реках Бахмутке и Кривой Торец. Установлено, что в пробах донных отложений р. Кривой Торец кратность превышения фоновое значения меди и свинца составляет 4-5 раз. Превышение фоновое содержания цинка достигает 10 раз, ванадия – 4 раза. Аналогичные показатели несколько ниже в Волынецком водохранилище, что связано с более интенсивными процессами водообмена и особенностями гранулометрического состава донных отложений. Концентрация цинка превышает фоновый уровень в 3 раза, ванадия и марганца в 2 раза.

Тяжелые металлы в донных отложениях исследуемых водных объектов распределены неравномерно. Доминирующую роль по содержанию в донных отложениях занимает ванадий и медь. Концентрация цинка, никеля в отдельных объектах также превышает их региональное фоновое содержание. В минимальных количествах обнаружен титан.

Ключевые слова: эколого-геохимические условия; поверхностные воды; донные отложения; тяжелые металлы; промышленные стоки.

Подання до редакції : 01. 11. 2021
Надходження остаточної версії : 12. 11. 2021
Публікація статті : 26. 11. 2021

Видання зареєстровано в Державному комітеті інформаційної політики, телебачення та радіомовлення України. Реєстраційне свідоцтво серія **КВ 23515-13355ПР** від 25.07.2018

The state registration of print media is **КВ 23515-13355ПР**, originating date is 25.07.2018

Рекомендовано до друку вченою радою Одеського державного екологічного університету, протокол № 10, 26. 11. 2021 р.

Recommendations from Science Council of Odessa State Environmental University, Protocol no.10, 26. 11. 2021

Адреса редакційної колегії:

65016, м. Одеса, вул. Львівська, 15,
Одеський державний екологічний університет,
тел.: (0482)-32-67-58
redactor@odeku.edu.ua

Editorial board address:

65016, Odesa, 15 Lvivska st.
Odessa State Environmental University
tel.: (0482)-32-67-58
redactor@odeku.edu.ua

Видавець і виготовлювач

Одеський державний екологічний університет
вул. Львівська, 15, м. Одеса, 65016
тел./факс: (0482) 32-67-35
E-mail: info@odeku.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 5242 від 08.11.2016

ISSN 2311-0902 (print). Український гідрометеорологічний журнал. 2021. № 28. 1 – 138.

ISSN 2616-7271 (online). Ukraïns'kij gidrometeorologičnij žurnal. 2021. № 28. 1 – 138.
Український гідрометеорологічний журнал
Ukrainian Hydrometeorological Journal