



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

Номер 30  
*Issue 30*

2022

# 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  
ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИЙ  
ЖУРНАЛ**

***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.*

**№ 30, 2022**

Одеса

Одеський державний екологічний університет

2022

**Головний редактор**

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

**Заступники головного редактора**

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

**Т. А. Сафранов**, д-р геол.-мінер. наук, проф.,  
зав. кафедри екології та охорони довкілля ОДЕКУ;  
редактор розділу : Екологічні аспекти  
природокористування

**В. М. Хохлов**, д-р геогр. наук, проф. кафедри  
метеорології і кліматології ОДЕКУ;  
редактор розділів : Метеорологія  
і кліматологія, Агrometeorologiya

**Члени редакційної колегії**

**А. А. Бакланов**, д-р фіз.-мат. наук, проф. метеорології, геофізики,  
ст. наук. співроб. Датського метеорологічного інституту; асоційований  
проф. Інституту Нільса Бора Копенгагенського університету (Данія);  
**М. А. Берлінський**, д-р геогр. наук, проф., зав. кафедри океанології та  
морського природокористування ОДЕКУ; **В. В. Гребін**, д-р геогр.  
наук, проф. кафедри гідрології та гідроекології Київського  
національного університету ім. Тараса Шевченка; **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. Макаріньський**, PhD в географії,  
пров. наук. співроб., Австралійський інститут морських наук,  
дослідницький центр "Арафура-Тімор" (Австралія); **Д. Макаріньська**,  
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. Шакірманова**, 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.

**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. of the Department of Meteorology and  
Climatology of OSENU, Ukraine;  
Editor of the sections : Meteorology and Climatology,  
Agricultural Meteorology

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

**Tamerlan A. Safranov**, D. Sc. in Geology and Mineralogy,  
Prof., Head of the Department of Ecology and  
Environmental Protection of OSENU;  
Editor of the section : 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.

“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) 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 наук.

Журнал призначений для науковців, науково-педагогічних працівників закладів вищої освіти, студентів, аспірантів та докторантів, фахівців у галузі природничих наук за спеціальностями 103 «Науки про Землю» та 101 «Екологія».

**Ukrainian Hydrometeorological Journal** publishes the original results of fundamental and applied research in the following fields: ‘Hydrometeorology’ (Meteorology and Climatology; Agricultural Meteorology; Hydrology, Water Resources, Hydrochemistry; Oceanography) of the specialty ‘Earth Sciences’ and ‘Environmental Aspects of Nature Management’ of the specialty ‘Environmental Sciences’. 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 ‘Environmental Sciences’.



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

## ЗМІСТ

## CONTENTS

### Метеорологія і кліматологія

### Meteorology and Climatology

Грушевський О. М., Яцишен А. О. Застосування кліматологічного підходу для визначення температури туманоутворення радіаційних туманів

5 Hrushevskiy O. M., Yatsyshen A. O. Application of climatological approach to determine the temperature of radiation fogs formation

Рибченко Л. С., Савчук С. В., Тимофеев В. Є., Щеглов О. А. Динаміка фотосинтетично активної радіації за 1986 - 2015 рр. в Україні

12 Rybchenko L. S., Savchuk S. V., Timofeev V. E., Shcheglov A. A. Dynamics of photosynthetic solar active radiation in Ukraine over 1986 - 2015

### Агromетеорологія

### Agricultural Meteorology

Семенова І. Г. Сучасний режим хвиль тепла та їх вплив на урожайність зернових культур в Україні

24 Semenova I. G. The current regime of heat waves and their impact on the yield of cereal crops in Ukraine

### Гідрологія суші, водні ресурси, гідрохімія

### Hydrology and Water Resources, Hydrochemistry

Тучковенко Ю. С., Гаркуша О. П., Гриб О. М., Гуца С. Г., Деньга Ю. М., Калашнік К. С., Коева Х. О., Коморін В. М., Кошелев О. В., Мінічева Г. Г., Лобода Н. С., Погребний А. Л., Олейнік Ю. В., Степаненко С. М., Цуркан О. І. Результати гідрологічного, гідрохімічного, гідробіологічного та медико-біологічного обстеження Куяльницького лиману

40 Tuchkovenko Yu. S., Garkusha O. R., Gryb O. M., Gushcha S. G., Denha Yu. M., Kalashnik K. S., Koieva H. O., Komorin V. N., Koshelev O. V., Minicheva G. G., Loboda N. S., Pohrebnyi A. L., Oleynik Yu. V., Stepanenko S. M., Tsurcan O. I. Results of the hydrological, hydrochemical, biological and medico-hydrobiological studies of the Kuialnyk Estuary

### Екологічні аспекти природокористування

### Environmental Aspects of Nature Management

Гусєва К. Д., Сафранов Т. А. Перспективи розвитку «зеленої інфраструктури» для покращення комфортності проживання населення Одеси

65 Husieva K. D., Safranov T. A. Prospects for green infrastructure development to improve the living comfort for the population of Odesa

- Приходько В. Ю., Михайленко В. І., 73 Prykhodko V. Yu., Mykhailenko V. I.,  
Сафранов Т. А. Оцінка утворення окремих  
поллютантів в тілі полігону твердих побутових  
відходів  
Safranov T. A. Evaluation of certain pollutants  
generation inside municipal solid waste landfills
- Чугай А. В., Лавров Т. В. Громадський 81 Chugai A. V., Lavrov T. V. Public monitoring as a  
моніторинг як інструмент оцінки стану  
повітряного басейну в регіонах України  
tool for assessing the state of the air basin in the  
Ukrainian Regions

УДК 551.582

## ЗАСТОСУВАННЯ КЛІМАТОЛОГІЧНОГО ПІДХОДУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ТУМАНОУТВОРЕННЯ РАДІАЦІЙНИХ ТУМАНІВ

О. М. Грушевський, А.О. Яцишен

Одеський державний екологічний університет,  
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, [yatanatoli@gmail.com](mailto:yatanatoli@gmail.com)

Ефективність прогнозу радіаційних туманів визначається точністю прогнозу двох величин – температури туманоутворення і мінімальної температури повітря. Точність розрахунку першої істотно залежить від ступеня адаптованості способу її прогнозу до конкретних чинників, які впливають на утворення туманів – орфографія, місцеві циркуляції, сезони року, час доби, температуро-вологісна стратифікація у граничному шарі атмосфери тощо. Врахування кожного з них у конкретному пункті матиме свої особливості, а використання неадаптованих способів прогнозу туману знижуватиме їх ефективність.

У статті пропонується підхід, який дає можливість проведення порівняльного аналізу прогностичного значення температури туманоутворення та її середнього значення, характерного для конкретного пункту, сезону та часу доби.

Для реалізації підходу у дослідженні одержана добово-річна повторюваність туманів на ст. Київ за 2012-2020 рр., на підставі якої, для кожного поєднання місяця і часу доби, визначалася середня температура туманоутворення за даними фактичних спостережень і, для порівняння, за методом Сандерса, у якому, в якості вихідних, використовуються дані радіозондування атмосфери. За результатами аналізу структури розподілу повторюваності туманів проведена апроксимація добово-річного розподілу температури туманоутворення поліноміальними функціями та гармонічним двовимірним осцилятором. За обраним критерієм ефективності, шляхом послідовного відбору, визначено, що найефективнішою є поліноміальна апроксимація даних про фактичну температуру туманоутворення протягом року. Одержання аналітичного виду функції розподілу імовірності добово-річних значень температури туманоутворення дозволяє побудувати графіки її добової змінюваності для будь-якого місяця року. Цей результат дає можливість контролю викидів прогностичних значень температури туманоутворення для конкретного пункту, сезону та часу доби, що дозволить підвищити ефективність наявних способів її прогнозу.

**Ключові слова:** прогноз туману; температура туманоутворення; добово-річна повторюваність; апроксимація розподілу; поліном.

### 1. ВСТУП

Визначення температури туманоутворення може відбуватися різними шляхами, але найпоширенішими наразі способами є її визначення шляхом використання встановлених залежностей між певними предикторами, або на застосуванні способів, які базуються на врахуванні структури вертикального розподілу метеовеличин у граничному шарі атмосфери. Проте, при реалізації цих підходів, виникає низка ускладнень. До головних серед них можна віднести нівелювання адаптованості методу до умов конкретного пункту, суттєву чутливість результатів розрахунку до структури вертикальних профілів метеовеличин у момент радіозондування, якість даних радіозондування, а також вплив додаткових чинників, які

порушують локальність процесу.

Аналізуючи сучасні підходи до покращення справджуваності прогнозів туману, можна зупинитися на двох. Перший, досить кошковий, пов'язаний з впровадженням у практику оперативних метеопідрозділів даних, що надходять з метеодронів. Такий експеримент проводиться у аеропорту Цюриха і дозволяє, по-перше, одержувати в районі аеродрому метеорологічні дані з будь-яким просторово-часовим розділенням і, по-друге, виявляти особливості просторово-часової структури зон туманів з точністю, яка є недоступною для результатів супутникового моніторингу і даних чисельного моделювання [1].

Другий підхід, який є досить поширеною практикою у роботі оперативних

метеопідрозділів країн ЄС та США, полягає у врахуванні впливу місцевих фізико-географічних умов, що зумовлює необхідність налаштування блоків програмного забезпечення для прогнозу туманів під локальні умови пункту прогнозу. Перш за все, мається на увазі, що усі предиктори, що є значимими для прогнозу туману, мають враховуватися з певними – найоптимальнішими для пункту прогнозу – коефіцієнтами. Таким чином, той чи інший метод (індекс) проходить адаптацію до конкретного пункту [2].

Для кожного з таких індексів встановлюються межі градації, яка сигналізує про помірну імовірність утворення туману. Відповідно усі значення, які розташовуються ліворуч (праворуч) від зазначених меж градації, свідчать про низьку (високу) імовірність утворення туману.

Загальна методика прогнозування радіаційних туманів є достатньо опрацьованою, проте ефективність окремо взятих методів досить сильно залежить, як зазначалося, від їх адаптованості до місцевих умов [3, 4-6]. Це, насамперед, пояснюється досить широким спектром чинників, які впливають на їх утворення – орографія, місцеві циркуляції, сезон року, час доби, температурно-вологісна стратифікація у граничному шарі атмосфери, зовнішні впливи тощо. Врахування кожного з них у конкретному пункті матиме свої особливості, а використання неадапованих способів прогнозу туману знижуватиме їх ефективність.

Загалом, вся схема прогнозу радіаційного туману зводиться до порівняння двох величин – температури туманоутворення і мінімальної температури [3]. При цьому, для прогнозу температури туманоутворення, зазвичай, у якості вихідних даних використовуються значення метеовеличин у момент заходу Сонця, відомості про вертикальну структуру метеовеличин у ГША за даними радіозондування у 00 СГЧ або ж дані чисельного моделювання [6, 7, 8]. Подальші розрахунки базуються на використанні встановлених графічних (регресійних) залежностей між цими предикторами, і власне, температурою туманоутворення. Проте, при реалізації такого підходу, внаслідок дії низки чинників, виникає імовірність одержання таких її прогностичних значень, які є своєрідними «викидами» порівняно з реальною температурою туманоутворення [6,7].

Саме тут виникає необхідність порівняння прогностичного значення температури туманоутворення з її кліматологічними показниками, які є характерними для конкретного пункту, сезону року і часу доби. Це дозволило б здійснювати своєрідну фільтрацію прогностичних значень і мінімізувати суттєві помилки розрахунків.

Метою дослідження є розробка підходу для визначення температури туманоутворення радіаційних туманів через кліматологічні показники її добово-річного розподілу.

## 2. ВИХІДНІ ДАНІ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Адаповані критеріальні значення індексів (параметрів) туману також будуть залежати від таких факторів, як місяць року, час доби, напрямок вітру. Ці фактори утворюють другу групу – так званих спеціальних предикторів – ваговий внесок яких також має бути врахованим при розробці прогнозу туману. Очевидно, що для їх визначення необхідно одержати кліматологічні характеристики туманів для окремо взятого пункту. При цьому вони мають наочно відображати хід повторюваності туманів залежно як від сезону року, так і від часу доби. Враховуючи кількісні показники кліматології туманів, можна адаптувати будь-який набір предикторів, інформативність яких, стосовно його прогнозу, буде доведена.

Корегування критеріальних значень основного предиктора(ів) здійснюється шляхом надання кожному спеціальному предиктора вагового коефіцієнту, який визначається з кліматології туманів для конкретного пункту. При цьому збільшення повторюваності туманів, при даному значенні спеціального предиктора, має наближати значення основного предиктора до критеріального значення.

У якості вихідних даних для проведення дослідження використовувалися дані спостережень за фактичною погодою на станції Київ (Жуляни) за період з 2012 по 2020 роки. Протягом цього періоду відбиралися випадки з радіаційним туманом, для яких була розрахована їх повторюваність по місяцям та часу доби, а також фіксувалися температури туманоутворення (температура повітря біля поверхні землі у строк найближчий до моменту утворення туману).

За наявності туману бралися усі години, протягом яких він відзначався, а за значення температури туманоутворення – її значення у

строк, найближчий до моменту утворення туману. Паралельно з визначенням фактичної температури туманоутворення, визначалися її значення за методом Сандерса. Для цього використовувалися дані радіозондування на ст. Київ за 00 СГЧ поточної доби протягом того ж періоду.

### 3. ОТРИМАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Використовуючи кліматологію туманів на ст. Київ, побудований добово-річний розподіл температури туманоутворення на підставі розрахунку її середніх значень для кожного поєднання місяцю року та часу доби. Паралельно з цим, аналогічний розподіл одержаний і для температури туманоутворення, розрахованої за методом Сандерса (рис. 1).

Аналіз добово-річного розподілу повторюваності туманів для станції Київ (рис. 1) свідчить, що переважна більшість випадків туману спостерігається протягом перехідних сезонів року з вираженим максимумом у вересні-грудні в період з 02 до 06 години місцевого часу.

Підбір апроксимуючої функції, яка виражатиме залежність між добово-річним розподілом і значеннями самої температури туманоутворення, здійснювався з використанням програмного забезпечення Origin. Важливу

перевагою такого підходу є можливість обмеження при подальших розрахунках деяких параметрів, що входять у апроксимуючу функцію, рядами відносно невеликої довжини порівняно, наприклад, з довжиною рядів необхідної для одержання стійких значень повторюваності цієї ж величини, що рідко спостерігається.

Використовуючи дані добово-річного розподілу температури туманоутворення і враховуючи циклічність повторюваності туманів у площині  $x, y$ , спочатку апроксимуємо дані простим гармонічним двовимірним осцилятором виду

$$z = z_0 + A \cos\left(\frac{x}{\omega_1}\right) + B \sin\left(\frac{x}{\omega_1}\right) + C \cos\left(\frac{y}{\omega_2}\right) + D \sin\left(\frac{y}{\omega_2}\right) \quad (1)$$

де  $A, B, C, D$  – коефіцієнти апроксимації;  $x, y$  – час доби та місяць року відповідно;  $\omega_1, \omega_2$  – циклічна частота.

Дані (рис.2) були оформлені у тривимірному домені  $(x; y; z)$ , де  $x$  – час доби;  $y$  – місяць року,  $z$  – температура туманоутворення.

Параметри апроксимації повторюваності добово-річного розподілу туманів, наведені у (табл. 1).

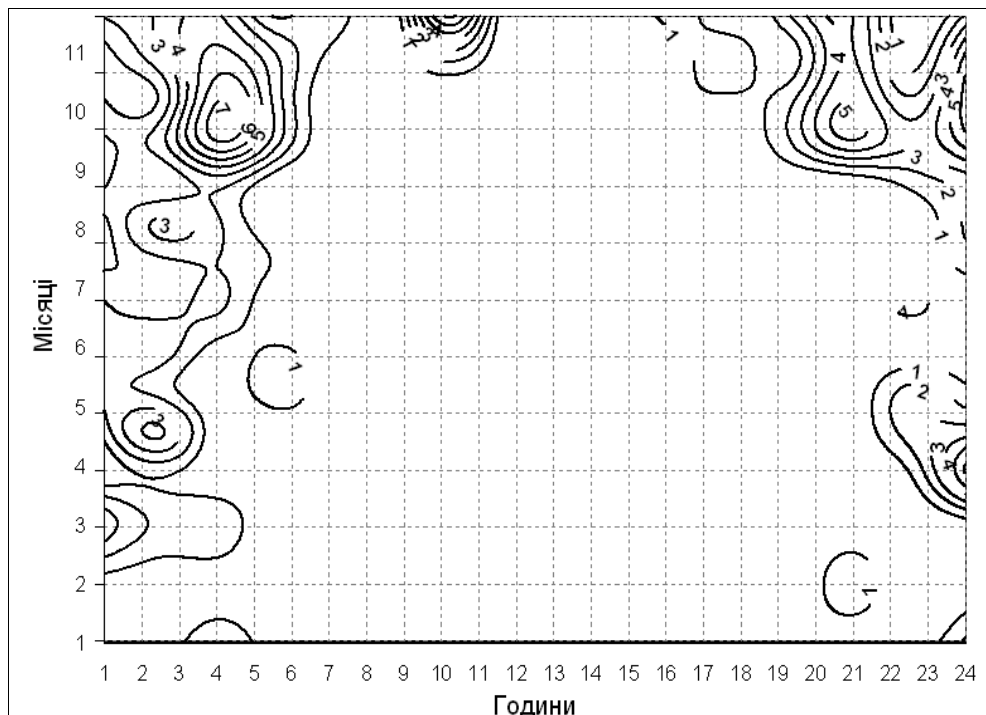
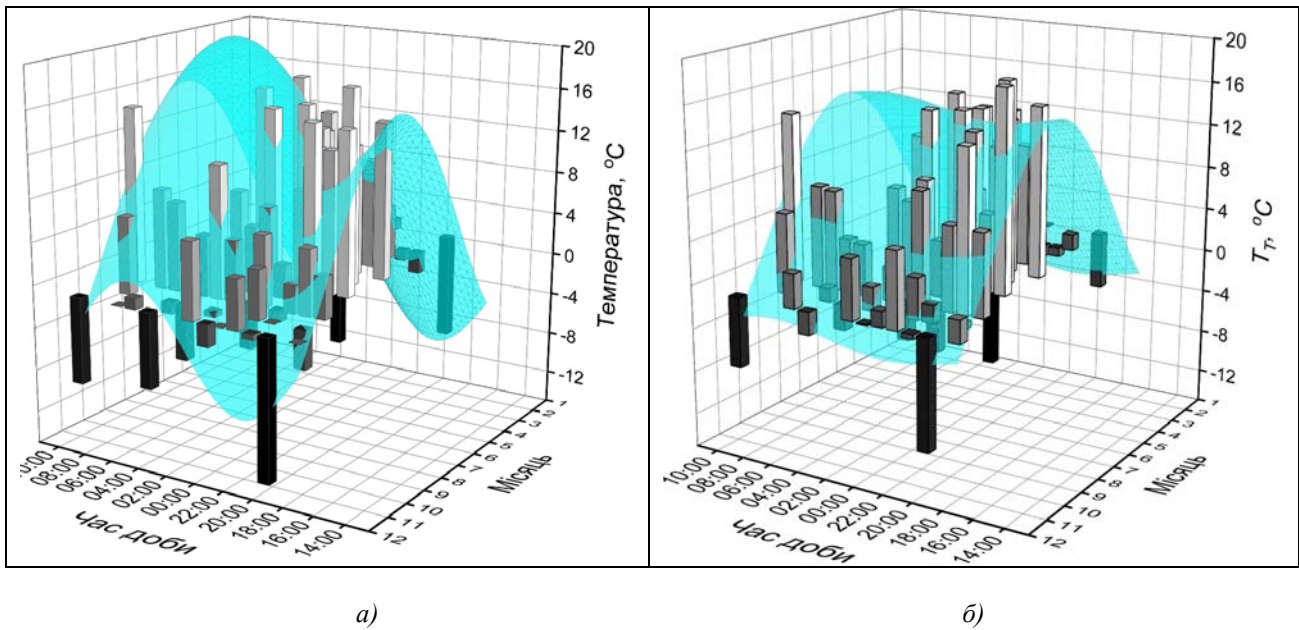


Рис. 1 – Добово-річна повторюваність туманів на ст. Київ в період з 2012 по 2020 р.

Fig. 1 - Daily-annual recurrence of fogs at Kyiv station in the period in the period from 2012 to 2020



**Рис. 2** – Апроксимація добово-річного ходу туманів на ст. Київ з використанням функції (1) для фактичної температури туманоутворення (а) та температури туманоутворення, розрахованої за методом Сандерса (б)

**Fig. 2** - Approximation of the diurnal-annual course of fogs in Kyiv station using function (1) for the actual fogging temperature (a) and the fogging temperature calculated by the Sanders method (b)

**Таблиця 1** – Параметри апроксимації для виразу (1) («±» похибка апроксимації)

**Table 1** - Approximation parameters for expression (1) ("±" approximation error)

|            | для фактичної $T_T$ | для $T_T$ , за методом Сандерса |
|------------|---------------------|---------------------------------|
| $z_0$      | $3,45 \pm 0,51$     | $4,00 \pm 0,43$                 |
| $A$        | $-12,04 \pm 1,44$   | $-9,97 \pm 1,22$                |
| $B$        | $3,99 \pm 1,14$     | $3,50 \pm 0,97$                 |
| $C$        | $-5,11 \pm 1,08$    | $-0,73 \pm 0,15$                |
| $D$        | $0,14 \pm 0,40$     | $0,25 \pm 0,38$                 |
| $\omega_1$ | $2,44 \pm 0,71$     | $2,40 \pm 0,72$                 |
| $\omega_2$ | $2,44 \pm 0,36$     | $2,39 \pm 2,19$                 |
| $R^2$      | 0,54                | 0,59                            |

Таким чином, аналітичний вираз функції розподілу для добово-річної повторюваності туманів за даними про фактичну температуру туманоутворення набуде виду:

$$T_T = 3,45 - 12,04 \cos\left(\frac{t}{2,44}\right) + 3,99 \sin\left(\frac{t}{2,44}\right) - 5,11 \cos\left(\frac{M}{2,44}\right) + 0,14 \sin\left(\frac{M}{2,44}\right) \quad (2)$$

а за даними про температуру туманоутворення, визначену за методом Сандерса

$$T_T = 4,00 - 9,97 \cos\left(\frac{t}{2,40}\right) + 3,5 \sin\left(\frac{t}{2,40}\right) - 0,72 \cos\left(\frac{M}{2,39}\right) + 0,25 \sin\left(\frac{M}{2,39}\right) \quad (3)$$

де  $t$  – час утворення туману;

$M$  – номер місяця, для якого розробляється прогноз.

Далі проведемо апроксимацію поліномами, починаючи з 2-ої степені, і зупинимось на тому з них, який засвідчить найвищий коефіцієнт детермінації  $R^2$ . Візуалізація апроксимації даних добово-річного розподілу температури

туманоутворення двовірним поліномом 5-ої степені виду.

$$z = z_0 + \sum_{i=1}^5 (A_i x^i + B_i y^i), \quad (4)$$

представлена на (рис. 3), з параметрами апроксимації, наведеними у (табл. 2). Вираз (4), з урахуванням даних (табл. 2), для даних про фактичну температуру туманоутворення набуде виду

$$T_T = -164,8 - 27,2t + 95,9M + 12,2t^2 - 18,87M^2 - 1,9t + 1,7M^3 + 0,1t^4 - 0,1M^4 - 0,002t^5 + 0,001M^5, \quad (5)$$

а для значень температури туманоутворення, розрахованої за методом Сандерса, наступного виду

$$T_T = -158,5 - 34,2t + 94,2M + 16,1t^2 - 18,4M^2 - 2,8t^3 + 1,7 \cdot M^3 + 0,2t^4 - 0,01M^4 - 0,01t^5 + 0,001M^5. \quad (6)$$

Порівняння коефіцієнтів детермінації представлених функцій свідчить, що найефективнішою є апроксимація добово-річного розподілу двовірним поліномом 5-ої степені для фактичної температури туманоутворення ( $R^2 = 0,74$ ).

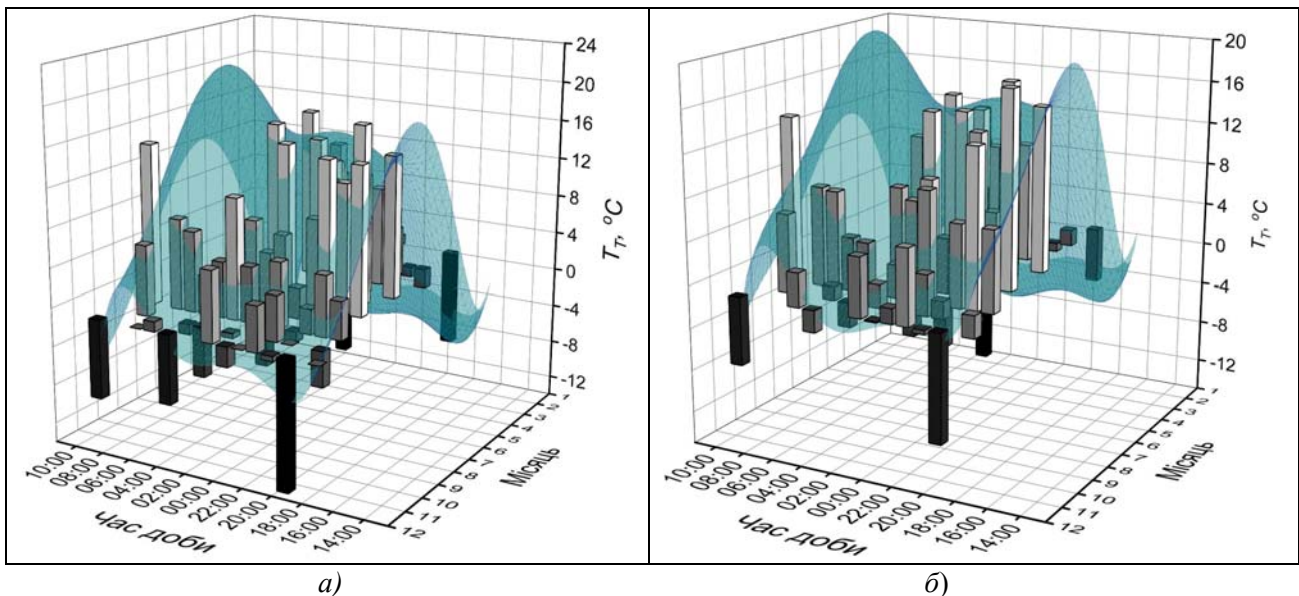


Рис. 3 – Те ж, що й на рис. 3, але з використанням поліноміальної функції (4)

Fig. 3 - The same as in Fig. 3, but using the polynomial function (4)

Таблиця 2 – Параметри апроксимації для виразу (4) («±» похибка апроксимації)

Table 2 - Approximation parameters for expression (4) ("±" approximation error)

|       | Для фактичної $T_T$ | Для $T_T$ , за методом Сандерса |
|-------|---------------------|---------------------------------|
| $z_0$ | $-164,79 \pm 81,96$ | $-158,50 \pm 89,49$             |
| $A_1$ | $-27,23 \pm 14,17$  | $-34,21 \pm 14,73$              |
| $A_2$ | $12,23 \pm 5,85$    | $16,09 \pm 6,09$                |
| $A_3$ | $-1,89 \pm 1,05$    | $-2,75 \pm 1,09$                |
| $A_4$ | $0,12 \pm 0,08$     | $0,20 \pm 0,09$                 |
| $A_5$ | $-0,002 \pm 0,003$  | $-0,01 \pm 0,003$               |
| $B_1$ | $95,87 \pm 43,63$   | $94,21 \pm 47,48$               |
| $B_2$ | $-18,87 \pm 8,67$   | $-18,36 \pm 9,38$               |
| $B_3$ | $1,74 \pm 0,81$     | $1,67 \pm 0,87$                 |
| $B_4$ | $-0,08 \pm 0,04$    | $-0,07 \pm 0,04$                |
| $B_5$ | $0,001 \pm 0,0006$  | $0,001 \pm 0,0007$              |
| $R^2$ | 0,74                | 0,69                            |

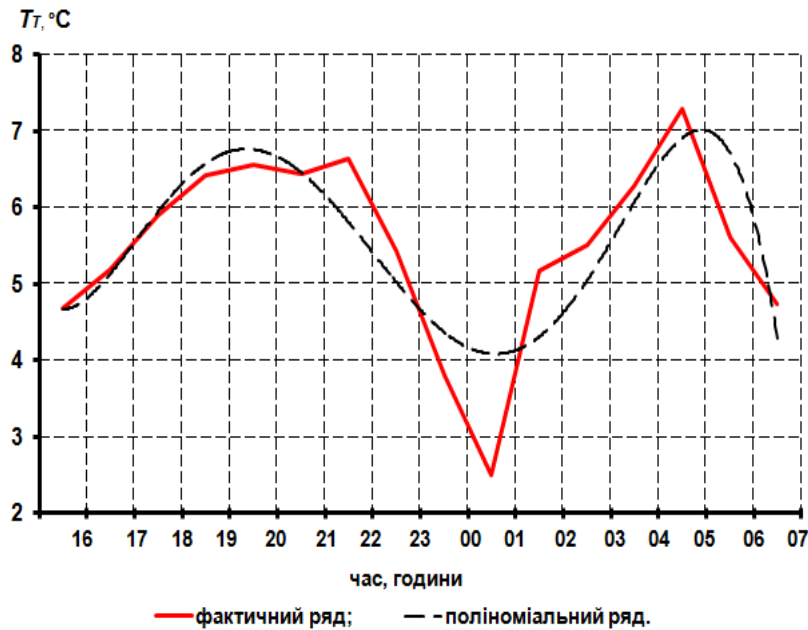


Рис. 4 – Адаптований графік добового ходу температури туманоутворення у жовтні на ст. Київ

Fig. 4 - Adapted schedule of daily fog temperature in October station Kyiv

Отже, за наявності функції розподілу добово-річної повторюваності температури туманоутворення, можливо визначити її «середній» добовий хід для будь-якого місяця року.

Наведений у якості прикладу графік на (рис. 4) можна вважати деяким «кліматологічним» для станції Київ розподілом температури туманоутворення, який доцільно використовувати при порівнянні прогностичної температури туманоутворення з мінімальною температурою.

Для виконання процедури згладжування одержаних розподілів застосуємо поліноміальну апроксимацію, результати якої також наведені (на рис. 4).

Таким чином, доцільно будувати подібні графіки для кожного місяця на конкретній станції. Це дозволить при визначенні температури туманоутворення уникнути «викидів» у її значеннях, які можуть бути спричинені різними факторами, шляхом порівняння прогностичного значення з кліматологічним.

#### 4. ВИСНОВКИ

1. Добово-річна повторюваність туманів на станції Київ характеризується можливістю їх утворення майже протягом усього року у нічні та ранкові години, період з 06 до 19 годин за досліджуваний період років тумани на станції

Київ не фіксувалися;

2. Проведена на підставі розрахунку середніх фактичних температур туманоутворення та середніх температур туманоутворення за методом Сандерса для різних поєднань місяця та часу доби для досліджуваного періоду апроксимація їх розподілу є найефективнішою для фактичних температур туманоутворення з використанням поліному 5-ої степені.

3. Аналітичний вираз теоретичної функції розподілу «кліматичної» температури туманоутворення дозволяє одержати графік її добового ходу для будь-якого місяця року.

4. Визначені з використанням теоретичної функції розподілу температури туманоутворення значення можуть використовуватися у якості додаткового критерію при визначенні співвідношення між мінімальною температурою і температурою туманоутворення при прогнозі туману.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Meteomatics Whitepaper Meteodrones. URL: [https://www.meteomatics.com/files/Verification-Documents / Meteomatics Whitepaper Meteodrones](https://www.meteomatics.com/files/Verification-Documents/Meteomatics%20Whitepaper%20Meteodrones) 2020. Pp. 1-18..
2. Environmental Research Services LLC. The Complete Rawinsonde Observation Program: User Guide and Technical manual. 2016, ver. 6.6 . Pp. 88-95.
3. Кошеленко И. В. Туманы. Труды Украинского научно-исследовательского гидрометеорологического института. Москва: Гидрометеиздат, 1977. Вып. 155. 157 с.

4. Craddock J. M., Prichard D. L., Forecasting the formation of radiation fog – a preliminary approach. *Met. Res. Pap.* 1951. No. 624. Pp. 1-28.
  5. Forecasting radiation fog at climatologically contrasting sites: evaluation of statistical methods and WRF / Román-Cascón C. et al. 2014. Vol. 142. Issue 695 January, part B. Pp. 1048 – 1063.
  6. Brown R., Roach W.T. The physics of radiation fog II-a numerical study. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society.* 1976. Vol. 102. Pp. 351- 354.
  7. Swagata Payra, Manju Mohan Multirule. Based Diagnostic Approach for the Fog Predictions Using WRF Modelling Tool. *Advances in Meteorology.* 2014 .Vol. 2014.
  8. Saunders W.E. A method of forecasting the temperature of fog formation. *Meteorological Society.* 1950. Pp. 2403-2413.
  3. Koshelenko, I.V. (1977). *Tumany. Trudy Ukrainskogo nauchno-issledovatel'skogo gidrometeorologicheskogo instituta [Fogs. Proceedings of the Ukrainian Research Hydrometeorological Institute]*. Moscow: Gidrometeoizdat, 155. (in Russ.)
  4. Craddock, J.M. & Prichard, D.L. (1951). Forecasting the formation of radiation fog – a preliminary approach. *Met. Res. Pap.*, 624, pp. 1-28.
  5. Román-Cascón C. et al. (2014) *Forecasting radiation fog at climatologically contrasting sites: evaluation of statistical methods and WRF*, Vol. 142, Issue 695 January, part B, pp. 1048 – 1063.
  6. Brown, R. & Roach, W.T. (1976). The physics of radiation fog II-a numerical study. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 102, pp. 351- 354.
  7. Swagata, Payra & Manju, Mohan Multirule. Based Diagnostic Approach for the Fog Predictions Using WRF Modelling Tool (2014). *Advances in Meteorology*, vol. 2014.
  8. Saunders, W.E. (1950). A method of forecasting the temperature of fog formation. *Meteorological Society*, pp. 2403-2413.
- REFERENCES**
1. *Meteomatics Whitepaper Meteodrones* (2020). Available at: [https://www.meteomatics.com/files/Verification-Documents / Meteomatics Whitepaper Meteodrones](https://www.meteomatics.com/files/Verification-Documents/Meteomatics%20Whitepaper%20Meteodrones), pp. 1-18.
  2. Environmental Research Services LLC (2016). *The Complete Rawinsonde Observation Program: User Guide and Technical manual*, ver. 6.6 , pp. 88-95.

## APPLICATION OF CLIMATOLOGICAL APPROACH TO DETERMINE THE TEMPERATURE OF RADIATION FOGS FORMATION

O. M. Hrushevskyi, A. O. Yatsyshen

*Odessa State Environmental University, 15, Lvivska St., 65016 Odesa, Ukraine, yatanatoli@gmail.com*

The effectiveness of a radiation fog forecast is determined by the accuracy of a forecast for two values – temperature of fog formation and minimum air temperature. The accuracy of the first measurement significantly depends on a degree of adaptability of a forecast method to specific factors affecting the formation of fogs – orthography, local circulations, seasons, time of day, temperature-humidity stratification in the boundary layer of the atmosphere, etc. Taking into account each of them in a specific point will dictate its characteristics, whereas use of non-adapted fog forecasting methods will reduce their effectiveness.

The article suggests an approach that makes it possible to carry out a comparative analysis of the prognostic value of the fog formation temperature and its average value pertaining to a specific point, season and time of day.

In order to implement the studied approach the research considered a daily-annual repeatability of fogs at Kyiv station over 2012-2020. Based on this an average temperature of fog formation for each combination of month and time of day was determined according to actual observation data and, for the purpose of comparison, according to the Sanders method that uses data from radio sounding of the atmosphere as its baseline. The results of the analysis of the structure of the fog repeatability distribution allowed approximation of the daily-annual distribution of fog formation temperature via polynomial functions and a harmonic two-dimensional oscillator. Based on the selected efficiency criterion it was determined, via sequential selection, that the polynomial approximation of the data indicating the actual temperature of fog formation during the year is the most effective method. Obtaining an analytical form of the probability distribution function of daily and annual values of the fog formation temperature allows us to plot graphs of its daily variability for any month of the year. Such result makes it possible to control emissions of forecast values of fog formation temperature for a specific point, season and time of day, which will increase the effectiveness of the existing ways of making the forecasts in question.

**Keywords:** fog forecast; fog formation temperature; daily-annual repeatability; distribution approximation; polynomial.

Подання до редакції : 13. 06. 2022  
Надходження остаточної версії : 15. 12. 2022  
Публікація статті : 27. 12. 2022

УДК 551.580

## ДИНАМІКА ФОТОСИНТЕТИЧНО АКТИВНОЇ РАДІАЦІЇ ЗА 1986 - 2015 РР. В УКРАЇНІ

Л. С. Рибченко, С. В. Савчук, В. Є. Тимофєєв, О. А. Щеглов

Український гідрометеорологічний інститут,  
пр. Науки, 37, 03028, Київ, Україна, [L.S.Rybchenko@gmail.com](mailto:L.S.Rybchenko@gmail.com)

Основою життєдіяльності рослин, що зумовлює їх фотосинтез, є фотосинтетично активна радіація (ФАР) – випромінювання Сонця в діапазоні довжин хвиль 380 ... 750 нм. В Україні вимірювання ФАР не проводять через відсутність стандартних приладів. Пряму, розсіяну, сумарну ФАР рахують за вимірами та коефіцієнтами переходу; сумарну ФАР за тривалістю сонячного саява (ТСС) – за непрямим методом. Мета публікації – визначення ФАР, її динаміки в окремі місяці та теплий період року (квітень-жовтень). Залучуючи математичну статистику, кліматологічними методами отримано складові радіаційного режиму на мережі актинометричних і метеорологічних спостережень в Україні за 1986 - 2015 рр., 1986 - 1995 рр., 1996 - 2005 рр., 2006 - 2015 рр. Визначено зміни у формуванні ФАР за окремі місяці та теплий період окремо за десятиріччя впродовж терміну досліджень. За територією впродовж 1986 - 2015 рр. протягом місяців теплої періоду пряма, розсіяна, сумарна ФАР, сумарна ФАР за ТСС зростала з заходу, північного заходу чи Українських Карпат до Південного степу та Криму. За теплий період у 1986 - 1995 рр. сума прямої ФАР змінюється в межах – 472 ... 891 МДж / м<sup>2</sup>, розсіяної – 887 ... 1156 МДж / м<sup>2</sup>, сумарної – 1457 ... 1917 МДж / м<sup>2</sup>, сумарної ФАР за ТСС – 1621 ... 2056 МДж / м<sup>2</sup>; у 1996 - 2005 рр. сума прямої ФАР у межах – 469 ... 1030 МДж / м<sup>2</sup>, розсіяної – 802 ... 1004 МДж / м<sup>2</sup>, сумарної – 1305 ... 1973 МДж / м<sup>2</sup>, сумарної ФАР за ТСС – 1654 ... 2192 МДж / м<sup>2</sup>; у 2006 - 2015 рр. сума прямої ФАР у межах – 485 ... 1065 МДж / м<sup>2</sup>, розсіяної – 737 ... 951 МДж / м<sup>2</sup>, сумарної ФАР – 1270 ... 1977 МДж / м<sup>2</sup>, сумарної ФАР за ТСС – 1649 ... 2233 МДж / м<sup>2</sup>. Збільшення інтегральної прямої сонячної радіації в 1996 - 2005 рр. порівняно з 1986 - 1995 рр., а також у 2006 - 2015 рр. щодо 1996 - 2005 рр. зумовило зростання прямої ФАР; зменшення розсіяної сонячної радіації зумовило зменшення розсіяної ФАР; а неоднозначні зміни складових сумарної сонячної радіації приводять до флуктуації сумарної ФАР; збільшення ТСС супроводжується збільшенням ФАР за ТСС. Робота доцільна через сучасне коливання клімату глобального та регіонального масштабу. Вивчення змін ФАР – актуальне завдання сучасної агрометеорології для довгострокового ефективного планування сільськогосподарського розвитку.

**Ключові слова:** пряма, розсіяна, сумарна, сумарна за тривалістю сонячного саява фотосинтетично активна радіація.

### 1. ВСТУП

Фотосинтетично активна радіація (ФАР) – поглинута радіація випромінювання Сонця в діапазоні довжин хвиль 380 ... 710 нм, що зумовлює фотосинтез рослин, є основою їх життєдіяльності при створенні високоенергетичних органічних з'єднань.

Актуальність дослідження зумовлена сучасним коливанням клімату глобального та регіонального масштабів [1].

Внаслідок відсутності вимірювань ФАР, розрахунки та вивчення її змін за період вегетації сільськогосподарських культур – новітнє та нагальне завдання агрометеорології при оцінці енергетичних ресурсів клімату, зокрема сонячної енергії, для підвищення продуктивності посівів, прогнозування врожаїв,

розрахунку коефіцієнту корисної дії ФАР, довгострокового ефективного планування сільськогосподарського розвитку регіонів країни.

Дослідження сучасного стану складових радіаційного режиму, визначення ФАР має наукове та практичне значення у можливості застосування результатів для оперативного обслуговування агрометеорологічною інформацією користувачів, зокрема у підрозділах УкрГМЦ ДСНС України.

Об'єкт дослідження – ФАР в окремі місяці та теплий період року (квітень - жовтень) за 1986 - 2015 рр., окремі десятиріччя 1986 - 1995 рр., 1996 - 2005 рр., 2006 - 2015 рр. в Україні.

Метою роботи є визначення ФАР, її динаміки в окремі місяці та теплий період.

## 2. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Сонячна радіація – джерело енергії біологічних процесів. Радіаційний баланс сонячної радіації визначає сумарний ефект радіації у тепловому режимі рослин. Перенос сонячної радіації у рослинному покриві зумовлюється її властивостями, геометричними, оптичними, структурними характеристиками рослинності [2 - 4].

Робота продовжує аналітичні дослідження зі зміни складових радіаційного режиму з застосуванням результатів вивчення ФАР різного часового вирішення для обслуговування галузей економіки, визначення умов виникнення та попередження небезпечних погодних явищ – посух, хвиль тепла, опустелювання, рентабельного використання ресурсів геліоенергетики в забезпеченні енергетичної незалежності [1, 5 - 12].

Крім того, вивчення складових сонячної радіації допомагає в дослідженні проявів глобального потепління. Клімат України у цілому є сприятливим для розвитку різних галузей економіки, зокрема землеробства та тваринництва, для використання сонячної енергії, завдяки сприятливому рівню інсоляції, кількості тепла, вологі.

Але певні сполучення агрокліматичних умов у різні сезони можуть зумовлювати несприятливі явища, значну частку яких становлять посушливі, що завдають шкоди сільськогосподарському виробництву, енергетиці, транспорту й іншим галузям економіки, населенню.

Внаслідок потепління практично у всі сезони року, в останнє десятиріччя загалом посилюється екстремальність клімату. Впродовж літа, на тлі зростаючого дефіциту атмосферних опадів, виділяють райони півдня (станції Причорномор'я, Криму, межуючі райони півдня), осередки сходу, центру – найбільш кліматовразливі, що найчастіше перебувають під впливом показників екстремальності, де цей вплив посилюється. Тобто збільшилась частота посух, особливо у виділених районах, за календарне літо, що є дуже важливим фактором, який необхідно враховувати при складанні довгострокових прогнозів на майбутнє [13].

Визначено важливі зміни у режимі складових радіаційного балансу та тривалості сонячного сяйва (ТСС). Протягом сучасного кліматичного періоду потепління відзначається зростанням прямої сонячної радіації, альbedo підстильної поверхні та ТСС. Зміни складових радіаційного

режиму супроводжуються коливаннями за вегетаційний період із тенденцією посилення посушливості; що істотно впливає на умови вирощування сільськогосподарських культур у нашій країні, зумовлюючи їх поширення території.

Зміни умов великомасштабної циркуляції атмосфери наведено у [14]. Зміни інтенсивності термохалінної циркуляції пояснюють значну мінливість річної ТСС у Центральній Європі, до 64 %. Зміни температури поверхні води Північної Атлантики (ТПК) пояснюють 1/3 загальної дисперсії; зміни частоти макротипів W (західна) і E (східна) за О. Гірсом, викликані змінами ТПК, пояснюють, кожне з них окремо, близько 22 % і 26 % мінливості річної суми ТСС. Зміни тих самих взаємопов'язаних факторів досить добре пояснюють і поведінку багаторічних змін ТСС над Центральною Європою зі зменшенням СКО у 1960 - 1980 рр., і появу статистично значущого позитивного тренду в 1990 - ті рр. на початку ХХІ ст.

Пояснення мінливості ТСС описаними процесами у системи океан-атмосфера далеко від пояснення повної мінливості. Безсумнівно, на мінливість ТСС впливає й мінливість інших чинників, переважно хмарності. Проведені дослідження дозволили виявити новий механізм регулювання ТСС, хоча не показано можливий внесок мінливості антропогенного впливу.

Проведений аналіз показує, що в кліматичній системі океан-атмосфера функціонують відносно прості внутрішньосистемні процеси, дія яких через більш тривалий ланцюжок подій регулюється значним відсотком зміни ТСС.

## 3. ОПИС ОБ'ЄКТА І МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Природною освітленістю зумовлено формування прямої, розсіяної, сумарної ФАР В Україні вимірювання ФАР не проводять через відсутність стандартних приладів.

Пряму, розсіяну, сумарну ФАР обчислюють за вимірами та коефіцієнтами переходу від інтегральної сонячної радіації, одержаними за спектральними експериментальними дослідженнями в УкрГМІ [3 - 4, 15].

Сумарну ФАР за ТСС розраховано за непрямим методом, отриманим у МО МДУ [16].

З 80 - х рр. ХХ ст. дослідження ФАР за супутниковими вимірами, що вирішує проблему отримання даних про ФАР, стають мейнстрімом і проводять у низці країн, зокрема у США, Іспанії, Китаї, Канаді, Німеччині, Росії тощо [17 - 19].

Різноманітність і якість супутникових спостережень швидко змінюються, хоча деякі з них зараз добре вдосконалені. Супутникові прилади дуже складні, часто проводять багато тисяч окремих спостережень одночасно в одному місці та вимагають складних методів для інтерпретації інформації, яку вони містять.

Для виконання задач дослідження, залучуючи математичну статистику, кліматологічними методами отримано складові радіаційного режиму (прямої, розсіяної, сумарної сонячної радіації, тривалості сонячного сйива) на мережі актинометричних і метеорологічних спостережень в Україні в 1986 - 2015 рр.

Визначено зміни у формуванні прямої, розсіяної, сумарної ФАР за окремі місяці та теплий період у 1986 - 1995 рр., 1996 - 2005 рр., 2006 - 2015 рр.

У 1996 - 2005 рр. щодо 1986 - 1995 рр., 2006 - 2015 рр. щодо 1996 - 2005 рр. збільшення інтегральної прямої сонячної радіації зумовило зростання прямої ФАР; внаслідок зменшення інтегральної розсіяної сонячної радіації, відбулось зменшення розсіяної ФАР; неоднозначні зміни складових інтегральної сумарної сонячної радіації зумовили флуктуації сумарної ФАР в окремі місяці та теплий період року на території країни.

#### 4. ОПИС І АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

Зміни ФАР пов'язані з ходом складових радіаційного режиму.

За останнє 30 - річчя відносно попереднього найбільших змін зазнали ТСС, пряма та розсіяна сонячна радіація. Істотні коливання ходу ТСС відбуваються за сучасних умов [2].

В Україні ТСС досягає 1800 год за рік на північному заході та збільшується у південному напрямі до 2300 год у Криму.

В гірських районах Українських Карпат вона знижується до 1500 год. Розподіл ТСС в Україні можна знайти у попередніх роботах [1].

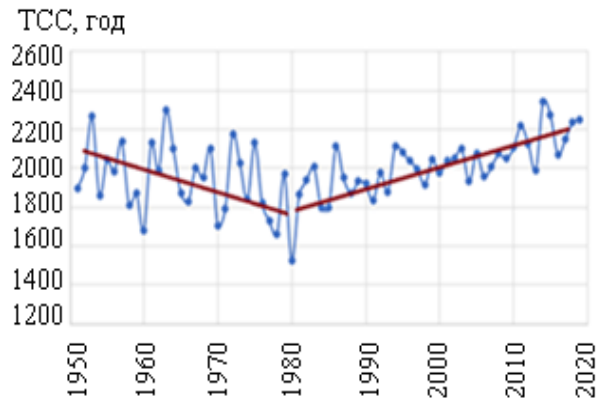
Цікаві зміни багаторічної мінливості ТСС відзначаються у центральній і східній Європі. Так, у статті А. Andrzej [14] показано зміну знаку багаторічного тренду цієї величини, зі зменшення до зростання, з середини 1990 - х рр.

Аналогічна зміна нами виявлена для півночі країни. Нижче наведено графік багаторічної зміни річної кількості ТСС для Києва (рис. 1).

Згідно графіку також видно щонайменше 2 періоди змін – зменшення до початку 1980 - х рр., і подальше зростання. Явним є вплив зміни клімату, на загальному тлі підвищення

приземної температури повітря.

За територією у 1986 - 2015 рр. впродовж місяців теплового періоду року пряма, розсіяна, сумарна ФАР та сумарна ФАР за ТСС зростала з заходу, північного заходу чи Українських Карпат на Південний степ і АР Крим (табл. 1).

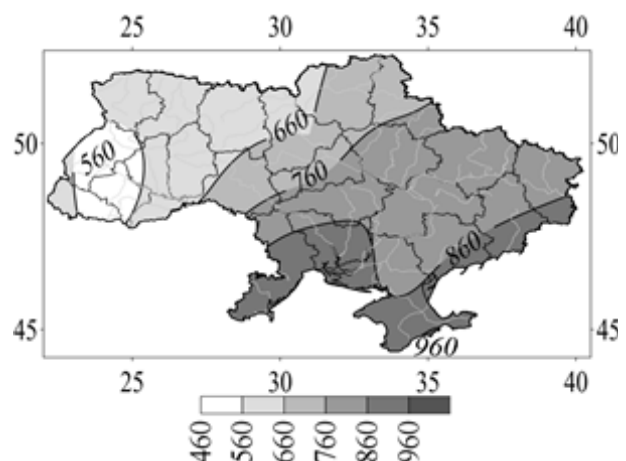


**Рис. 1** – Багаторічна зміна річної кількості тривалості сонячного сйива (год.) для Києва, 1951 - 2019 рр.

**Fig. 1** – Long-term change in the annual amount of sunshine duration (hours) for Kyiv, 1951 - 2019

У 1986 - 2015 рр. протягом місяців теплового періоду з травня по липень зростала пряма, розсіяна, сумарна ФАР, сумарна ФАР за ТСС [3, 5].

За теплий період у 1986 - 2015 рр. сума прямої ФАР зростала з Українських Карпат, північного заходу на Південний берег Криму (ПБК) (рис. 2).



**Рис. 2** – Сума прямої ФАР (МДж / м<sup>2</sup>) за теплий період в 1986 - 2015 рр.

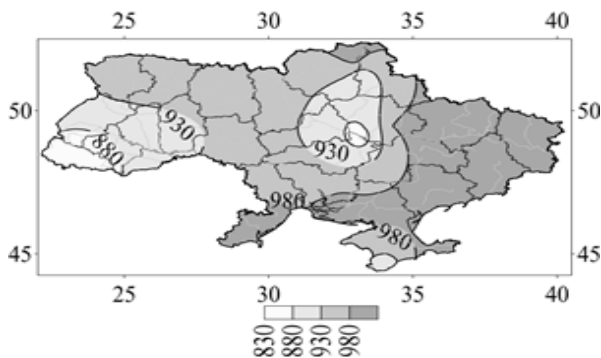
**Fig. 2** – The amount of direct photosynthetically active solar radiation (PSR, MJ / m<sup>2</sup>) for the warm period in 1986 - 2015

Сума розсіяної ФАР за теплий період року в 1986 - 2015 рр. зростала з заходу, Українських Карпат, іноді з північного сходу на південь, південний Степ (рис. 3).

**Таблиця 1** – Сума прямої, розсіяної, сумарної ФАР (МДж / м<sup>2</sup>) за 1986 - 2015 рр.

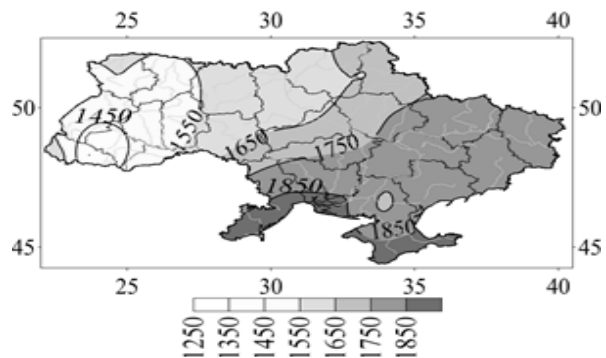
**Table 1** – The amount of direct, diffused, total PSR (MJ / m<sup>2</sup>) for 1986 - 2015

| Станція        | Сума     | IV  | V   | VI  | VII | VIII | IX  | X   | IV-X |
|----------------|----------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|------|
| 1              | 2        | 3   | 4   | 5   | 6   | 7    | 8   | 9   | 10   |
| Покошичі       | Пряма    | 80  | 131 | 137 | 144 | 118  | 66  | 33  | 708  |
|                | Розсіяна | 138 | 173 | 184 | 178 | 153  | 105 | 64  | 997  |
|                | Сумарна  | 216 | 310 | 322 | 322 | 269  | 163 | 93  | 1691 |
| Конотоп        | Пряма    | 84  | 136 | 142 | 146 | 120  | 67  | 36  | 732  |
|                | Розсіяна | 125 | 155 | 163 | 159 | 137  | 95  | 61  | 897  |
|                | Сумарна  | 210 | 300 | 313 | 311 | 258  | 159 | 93  | 1643 |
| Ковель         | Пряма    | 70  | 105 | 113 | 113 | 96   | 53  | 32  | 575  |
|                | Розсіяна | 134 | 161 | 173 | 177 | 150  | 106 | 69  | 961  |
|                | Сумарна  | 197 | 272 | 293 | 289 | 253  | 159 | 100 | 1552 |
| Бориспіль      | Пряма    | 73  | 120 | 125 | 133 | 111  | 65  | 34  | 662  |
|                | Розсіяна | 127 | 161 | 169 | 165 | 145  | 100 | 65  | 935  |
|                | Сумарна  | 197 | 286 | 301 | 298 | 254  | 161 | 97  | 1593 |
| Нова Ушиця     | Пряма    | 70  | 117 | 114 | 122 | 108  | 69  | 38  | 637  |
|                | Розсіяна | 121 | 159 | 162 | 164 | 139  | 104 | 70  | 920  |
|                | Сумарна  | 196 | 288 | 278 | 290 | 241  | 163 | 103 | 1553 |
| Полтава        | Пряма    | 83  | 140 | 148 | 155 | 134  | 86  | 42  | 789  |
|                | Розсіяна | 139 | 170 | 177 | 173 | 150  | 105 | 68  | 984  |
|                | Сумарна  | 216 | 311 | 326 | 338 | 289  | 185 | 106 | 1768 |
| Світловодськ   | Пряма    | 94  | 158 | 170 | 171 | 151  | 90  | 46  | 848  |
|                | Розсіяна | 128 | 152 | 153 | 153 | 135  | 99  | 67  | 856  |
|                | Сумарна  | 221 | 318 | 332 | 341 | 294  | 189 | 111 | 1738 |
| Міжгір'я       | Пряма    | 55  | 82  | 83  | 92  | 86   | 48  | 31  | 476  |
|                | Розсіяна | 116 | 140 | 150 | 147 | 129  | 91  | 66  | 839  |
|                | Сумарна  | 170 | 227 | 237 | 248 | 224  | 143 | 98  | 1346 |
| Берегове       | Пряма    | 73  | 106 | 120 | 119 | 115  | 66  | 39  | 635  |
|                | Розсіяна | 120 | 143 | 152 | 154 | 136  | 103 | 70  | 869  |
|                | Сумарна  | 197 | 260 | 287 | 295 | 269  | 177 | 112 | 1596 |
| Одеса          | Пряма    | 108 | 165 | 171 | 188 | 164  | 105 | 57  | 958  |
|                | Розсіяна | 142 | 165 | 164 | 166 | 147  | 115 | 82  | 983  |
|                | Сумарна  | 242 | 331 | 330 | 350 | 303  | 209 | 128 | 1891 |
| Болград        | Пряма    | 100 | 157 | 168 | 183 | 153  | 101 | 60  | 920  |
|                | Розсіяна | 141 | 170 | 172 | 173 | 154  | 116 | 82  | 1011 |
|                | Сумарна  | 233 | 331 | 331 | 350 | 297  | 206 | 128 | 1874 |
| Херсон         | Пряма    | 100 | 159 | 160 | 183 | 155  | 101 | 56  | 912  |
|                | Розсіяна | 138 | 169 | 172 | 170 | 151  | 114 | 83  | 1000 |
|                | Сумарна  | 232 | 327 | 323 | 350 | 296  | 204 | 127 | 1857 |
| Асканія Нова   | Пряма    | 89  | 139 | 139 | 160 | 139  | 92  | 52  | 804  |
|                | Розсіяна | 135 | 166 | 175 | 169 | 153  | 119 | 86  | 994  |
|                | Сумарна  | 214 | 303 | 300 | 320 | 286  | 201 | 126 | 1730 |
| Карадаг        | Пряма    | 106 | 161 | 175 | 197 | 173  | 119 | 65  | 992  |
|                | Розсіяна | 150 | 172 | 166 | 164 | 146  | 116 | 88  | 991  |
|                | Сумарна  | 242 | 330 | 337 | 358 | 313  | 228 | 145 | 1929 |
| Нікітський Сад | Пряма    | 107 | 159 | 174 | 198 | 171  | 118 | 70  | 955  |
|                | Розсіяна | 133 | 155 | 157 | 151 | 139  | 111 | 85  | 897  |
|                | Сумарна  | 239 | 319 | 329 | 353 | 303  | 220 | 145 | 1897 |



**Рис. 3** – Сума розсіяної ФАР (МДж / м<sup>2</sup>) за теплий період в 1986 -2015 рр.

**Fig. 3** – The amount of diffused PSR (MJ / m<sup>2</sup>) for the warm period in 1986 - 2015

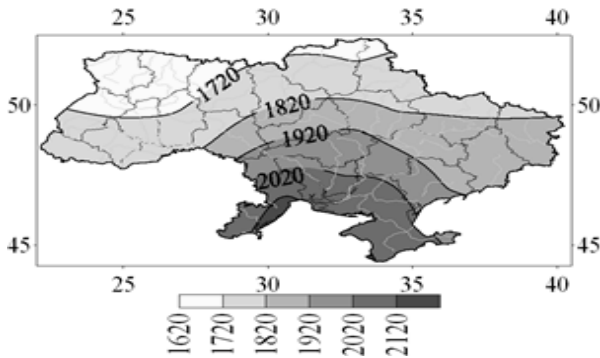


**Рис. 4** – Сумарна ФАР (МДж / м<sup>2</sup>) за теплий період в 1986 - 2015 рр.

**Fig. 4** – Total PSR (MJ / m<sup>2</sup>) for the warm period in 1986 - 2015

Сумарна ФАР за теплий період року в 1986 - 2015 рр. збільшувалась із заходу й Українських Карпат на ПБК (рис. 4).

Сумарна ФАР за ТСС зростала з північного заходу України на південний захід Степової зони та Крим (рис. 5).



**Рис. 5** – Сумарна ФАР (МДж / м²) за ТСС у теплий період в 1986 -2015 рр.

**Fig. 5** – Total PSR (MJ / m²) calculated via sunshine duration ( $Q_{\phi}$ ) for the warm period in 1986 - 2015

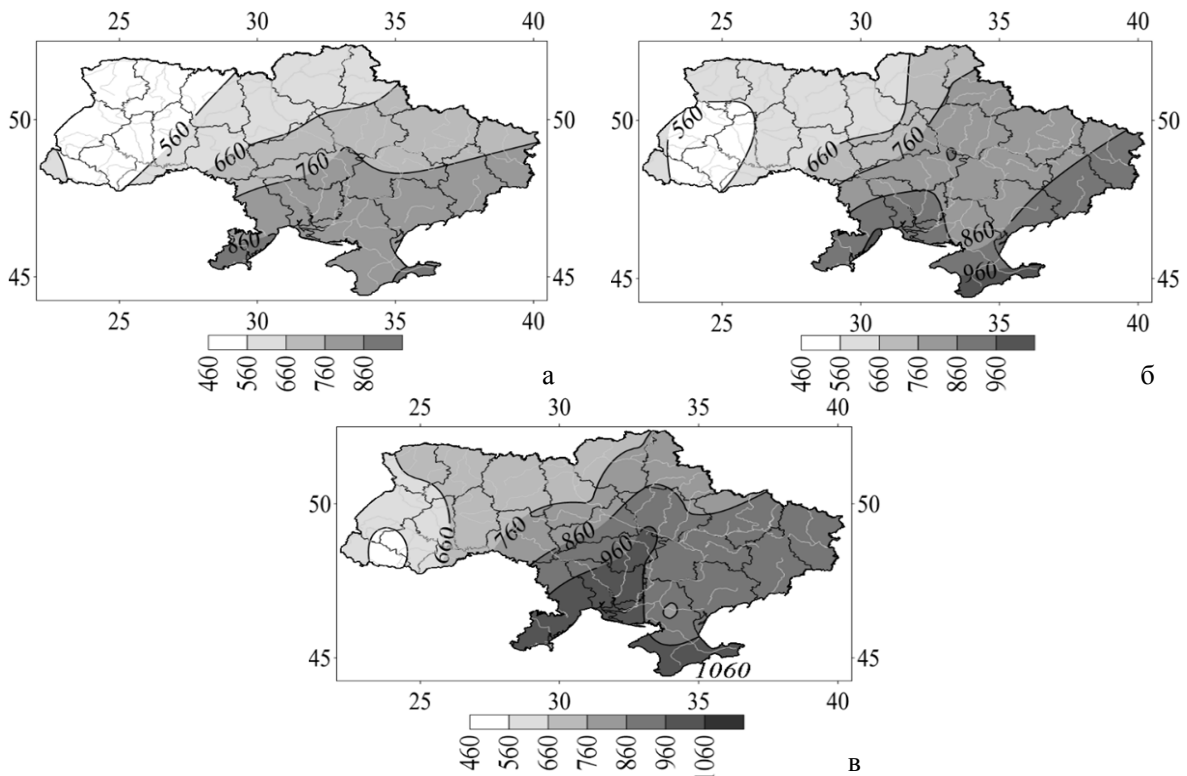
У 1986 - 2015 рр. за теплий період року пряма, розсіяна, сумарна ФАР набувала

меридіонального спрямування територією, а сумарна ФАР за ТСС – широтного (рис. 2 - 5).

Просторові зміни складових радіаційного балансу за теплий період в 1986 - 1995 рр., 1996 - 2005 рр., 2006 - 2015 рр., зумовили територіальний розподіл прямої, розсіяної, сумарної ФАР [2, 4, 8 - 9].

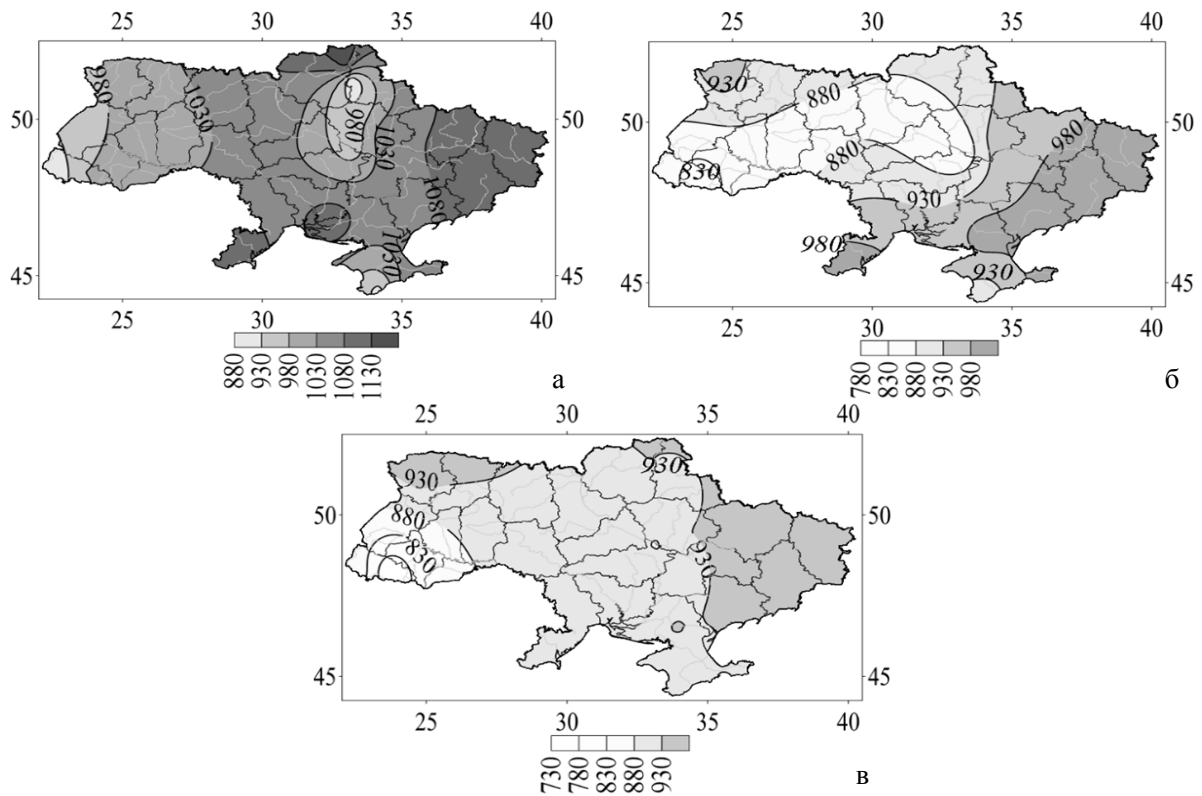
Впродовж 1986 - 2015 рр. за теплий період пряма, розсіяна, сумарна ФАР, сумарна ФАР за ТСС зростала з заходу, північного заходу країни чи Українських Карпат на Південний степ і Крим (рис. 6 а - в – 9 а - в).

За теплий період у 1986 - 1995 рр. сума прямої ФАР змінюється в межах – 472 ... 891 МДж / м², розсіяної – 887 ... 1156 МДж / м², сумарної – 1457 ... 1917 МДж / м², сумарної ФАР за ТСС – 1621 ... 2056 МДж / м²; у 1996 - 2005 рр. сума прямої ФАР у межах – 469 ... 1030 МДж / м², розсіяної – 802 ... 1004 МДж / м², сумарної – 1305 ... 1973 МДж / м², сумарної ФАР за ТСС – 1654 ... 2192 МДж / м²; у 2006 - 2015 рр. сума прямої ФАР у межах – 485 ... 1065 МДж / м², розсіяної – 737 ... 951 МДж / м², сумарної ФАР – 1270 ... 1977 МДж / м², сумарна ФАР за ТСС – 1649 ... 2233 МДж / м².

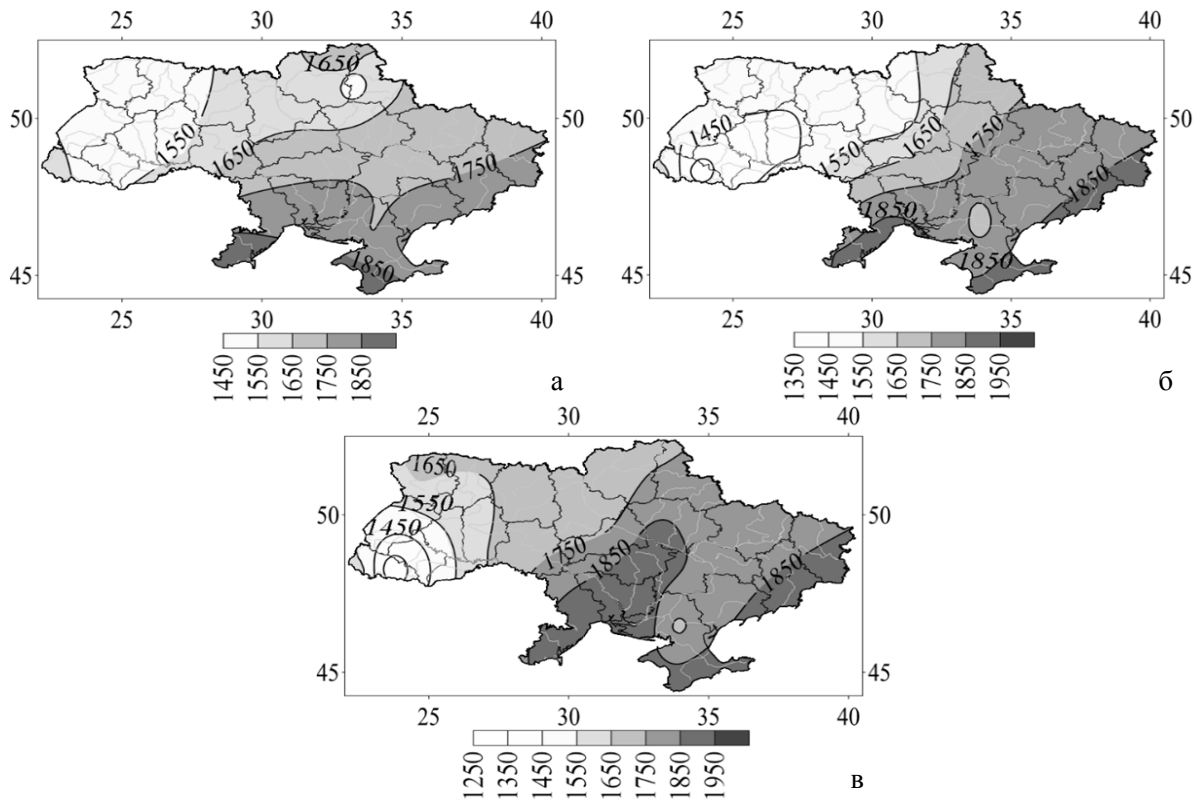


**Рис. 6** – Сума прямої ФАР (МДж / м²) за теплий період в 1986 - 1995 рр. (а), 1996 - 2005 рр. (б), 2006 - 2015 рр. (в)

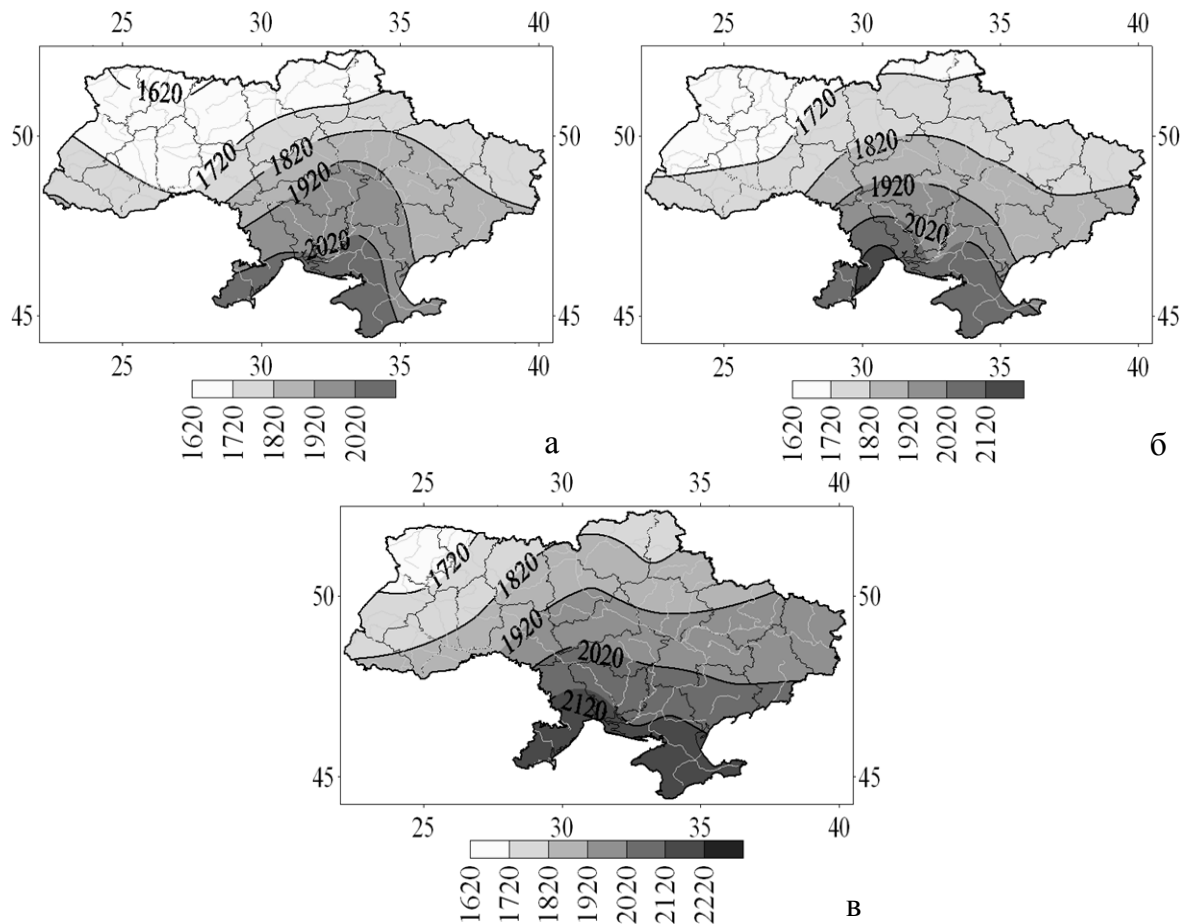
**Fig. 6** – The amount of direct PSR (MJ / m²) for the warm period in 1986 - 1995 (а), 1996 - 2005 (б), 2006 - 2015 (в)



**Рис. 7** – Сума розсіяної ФАР (МДж / м<sup>2</sup>) за теплий період в 1986 - 1995 рр. (а), 1996 - 2005 рр. (б), 2006 - 2015 рр. (в)  
**Fig. 7** – The amount of diffused PSR (MJ / m<sup>2</sup>) for the warm period in 1986 - 1995 (a), 1996 - 2005 (б), 2006 - 2015 (в)



**Рис. 8** – Сумарна ФАР (МДж / м<sup>2</sup>) за теплий період в 1986 - 1995 рр. (а), 1996 - 2005 рр. (б), 2006 - 2015 рр. (в)  
**Fig. 8** – Total PSR (MJ / m<sup>2</sup>) for the warm period in 1986 - 1995 (a), 1996 - 2005 (б), 2006 - 2015 (в)



**Рис. 9** – Сумарна ФАР (МДж / м<sup>2</sup>) за ТСС у теплий період в 1986 - 1995 рр. (а), 1996 - 2005 рр. (б), 2006 - 2015 рр. (в)

**Fig. 9** – Total PSR (MJ / m<sup>2</sup>) calculated via sunshine duration ( $Q_{\phi}$ ) for the warm period in 1986 - 1995 (a), 1996 - 2005 (б), 2006 - 2015 (в)

За результатами порівняння прямої, розсіяної, сумарної радіації за 1986 - 1995 рр., 1996 - 2005 рр., 2006 - 2015 рр. для забезпечення розрахунків ФАР в окремі місяці вегетаційного періоду та теплий період в Україні отримано у кожному десятиріччі відносно попереднього збільшення прямої та зменшення розсіяної сонячної радіації.

Сумарна радіація змінюється значно менше, ніж її складові, проте збільшуючись, особливо на півночі, півдні [2, 8 - 9].

У зв'язку з ходом складових радіаційного балансу послідовно впродовж десятиріч 1986 - 2015 рр. збільшується пряма; зменшується розсіяна; мало змінна, при незначному збільшенні, сумарна ФАР (табл. 2).

За просторовим розподілом між десятиріччями за теплий період року сума прямої ФАР зростала з північного заходу на ПБК, а в деяких регіонах – знизилась (рис. 10 а - б).

Сума розсіяної ФАР – знижувалась в Українських Карпатах, особливо на північному сході (рис. 11 а - б).

Порівняння суми сумарної ФАР між десятиріччями визначили значні коливання значень окремих станцій, розташованих у суміжних регіонах. Проте можна відмітити зменшення сумарної ФАР у західній частині території України та збільшення на східній (рис. 11 а - б).

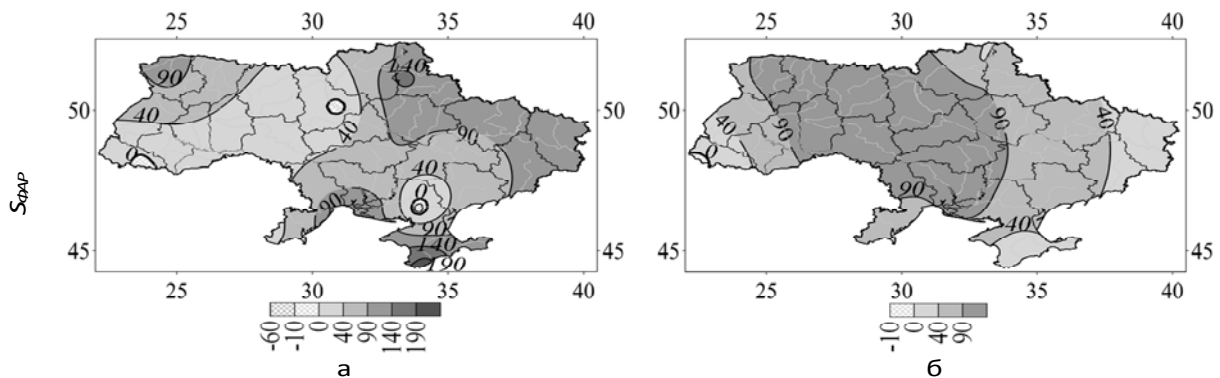
Визначено територіально часові зміни ТСС за теплий період в 1986 - 2015 рр. й окремі десятиріччя [2, 8 - 9].

Згідно з цим коливалась сума сумарної ФАР за ТСС: зростаючи з північного заходу на південний захід Степової зони та Крим (рис. 9 а - в).

Вона збільшувалась від десятиріччя до десятиріччя з північного заходу до південного заходу Степової зони (рис. 11 а - б).

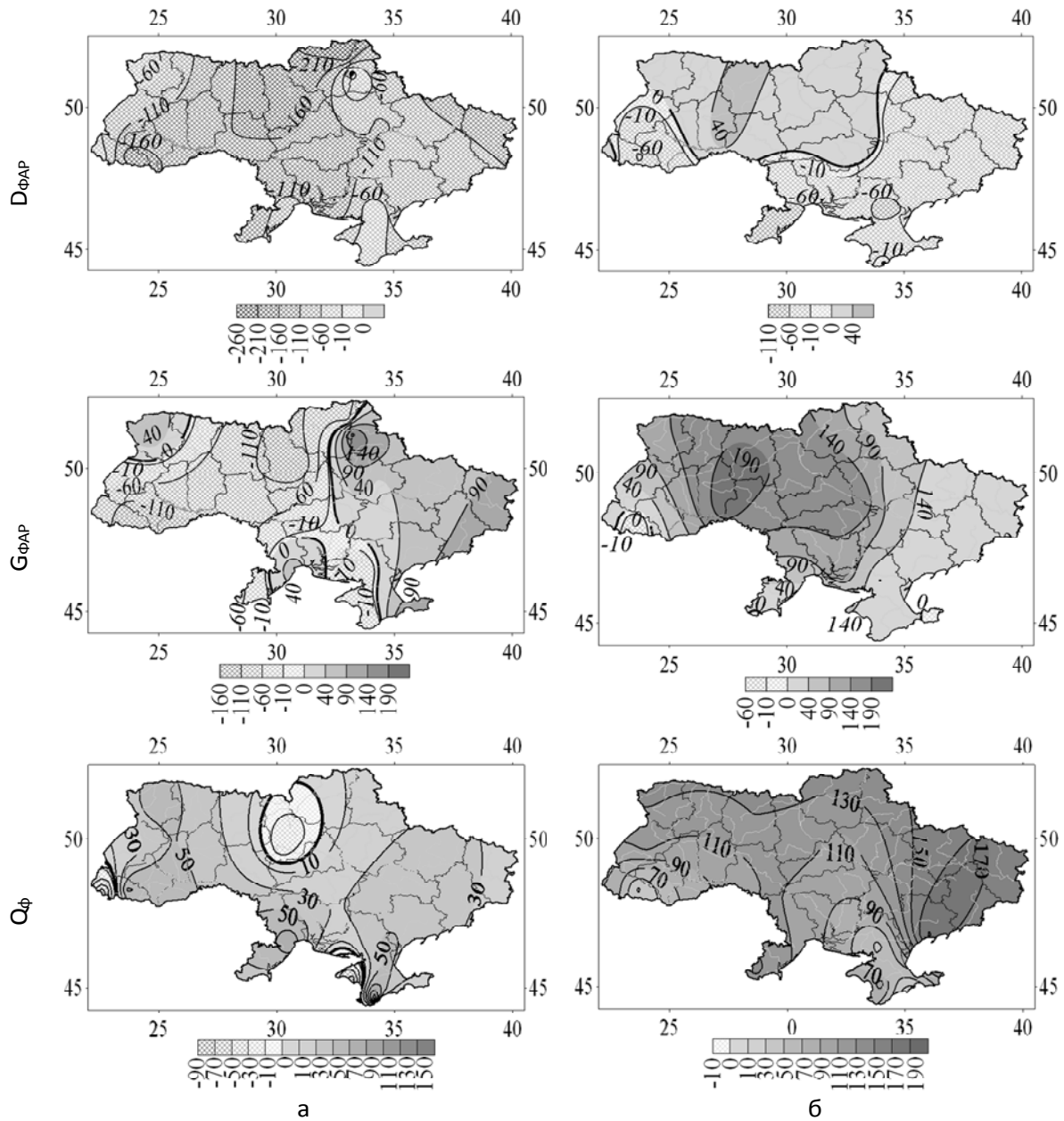
**Таблиця 2** – Відхилення суми прямої, розсіяної, сумарної ФАР (МДж / м<sup>2</sup>) між десятиріччями  
**Table 2** – Deviation of the amount of direct, diffused, total PSR (MJ / m<sup>2</sup>) between decades

| Станція        | Сума     | IV                                         | V   | VI  | VII | VIII | IX  | X   | IV-X | IV                                         | V   | VI  | VII | VIII | IX  | X   | IV-X |
|----------------|----------|--------------------------------------------|-----|-----|-----|------|-----|-----|------|--------------------------------------------|-----|-----|-----|------|-----|-----|------|
|                |          | У 1996 - 2005 рр. відносно 1986 - 1995 рр. |     |     |     |      |     |     |      | У 2006 - 2015 рр. відносно 1996 - 2005 рр. |     |     |     |      |     |     |      |
| Покошичі       | Пряма    | 28                                         | 17  | 19  | -4  | 14   | 22  | -12 | 88   | -6                                         | 3   | 23  | 7   | 6    | -1  | 5   | 37   |
|                | Розсіяна | -27                                        | -44 | -49 | -43 | -43  | -32 | -14 | -252 | 4                                          | 2   | 2   | -3  | 2    | 18  | 5   | 28   |
|                | Сумарна  | 13                                         | -12 | -16 | -44 | -17  | -2  | -27 | -94  | -5                                         | 2   | 25  | 10  | 11   | 14  | 12  | 70   |
| Конотоп        | Пряма    | 32                                         | 41  | 31  | 22  | 22   | 13  | -6  | 154  | 2                                          | 15  | 27  | 11  | 14   | 9   | 2   | 80   |
|                | Розсіяна | -8                                         | -3  | 7   | 6   | 9    | -2  | 1   | 10   | 8                                          | 5   | -11 | -2  | -4   | 5   | 7   | 8    |
|                | Сумарна  | 34                                         | 49  | 45  | 32  | 37   | 14  | -7  | 204  | 9                                          | 23  | 26  | 12  | 15   | 14  | 7   | 107  |
| Ковель         | Пряма    | 31                                         | 22  | 28  | -4  | 21   | 18  | -6  | 107  | 4                                          | 0   | 18  | 38  | 14   | 9   | 6   | 97   |
|                | Розсіяна | -18                                        | -11 | -9  | 4   | -11  | -5  | 6   | -42  | -2                                         | 7   | 1   | -11 | 1    | 2   | -4  | 7    |
|                | Сумарна  | 20                                         | 18  | 10  | -2  | 19   | 19  | -3  | 79   | 10                                         | -3  | 24  | 39  | 20   | 14  | 5   | 129  |
| Бориспіль      | Пряма    | 10                                         | 3   | 4   | -19 | 1    | 3   | -9  | -8   | 16                                         | 16  | 36  | 32  | 20   | 11  | 8   | 139  |
|                | Розсіяна | -30                                        | -26 | -34 | -35 | -27  | -19 | -10 | -181 | 8                                          | 0   | -3  | 6   | 3    | 6   | 4   | 24   |
|                | Сумарна  | -12                                        | -17 | -8  | -48 | -20  | -12 | -26 | -143 | 28                                         | 19  | 28  | 45  | 28   | 18  | 13  | 179  |
| Нова Ушиця     | Пряма    | 15                                         | 21  | 17  | -16 | -10  | -7  | -7  | 13   | 16                                         | -5  | 16  | 33  | 39   | 19  | 8   | 126  |
|                | Розсіяна | -24                                        | -37 | -32 | -21 | -24  | -14 | -7  | -159 | 5                                          | 16  | 5   | 6   | 5    | 10  | 8   | 55   |
|                | Сумарна  | 6                                          | -5  | -2  | -39 | -34  | -20 | -14 | -109 | 20                                         | 12  | 31  | 47  | 52   | 34  | 20  | 218  |
| Полтава        | Пряма    | 30                                         | 26  | 24  | 6   | -3   | 18  | -3  | 97   | 2                                          | 2   | 10  | 12  | 32   | 1   | 6   | 66   |
|                | Розсіяна | -11                                        | -22 | -28 | -19 | -16  | -12 | -7  | -116 | -3                                         | -1  | -11 | 3   | -13  | -3  | 3   | -24  |
|                | Сумарна  | 27                                         | 12  | 8   | -6  | -4   | 4   | -10 | 31   | 3                                          | 4   | 4   | 16  | 17   | 12  | 10  | 66   |
| Світловодськ   | Пряма    | 25                                         | 29  | 27  | 8   | 1    | 1   | 2   | 101  | 13                                         | 9   | 31  | 14  | 26   | 17  | 5   | 114  |
|                | Розсіяна | -7                                         | -23 | -26 | -23 | -24  | -16 | -6  | -113 | 3                                          | 5   | -8  | 12  | 8    | 12  | 10  | 41   |
|                | Сумарна  | 26                                         | 18  | 17  | -9  | -21  | -8  | -4  | 39   | 17                                         | 15  | 32  | 25  | 38   | 31  | 14  | 172  |
| Міжгір'я       | Пряма    | 4                                          | 9   | 21  | -33 | 2    | 5   | -12 | -5   | 8                                          | -13 | -14 | 25  | 8    | 1   | 1   | 17   |
|                | Розсіяна | -25                                        | -35 | -37 | -33 | -24  | -18 | -5  | -178 | -16                                        | -18 | -10 | -7  | -12  | 2   | -3  | -65  |
|                | Сумарна  | -17                                        | -24 | -4  | -62 | -17  | -15 | -20 | -159 | -3                                         | -31 | -28 | 27  | 0    | 3   | -1  | -35  |
| Берегове       | Пряма    | 1                                          | 19  | 23  | -26 | 2    | -4  | -14 | 11   | 6                                          | -28 | -26 | 27  | 11   | 5   | 0   | -5   |
|                | Розсіяна | 3                                          | -4  | -22 | -16 | -16  | -16 | 1   | -41  | -6                                         | 8   | 12  | -7  | -8   | 5   | 3   | 4    |
|                | Сумарна  | 4                                          | 14  | 8   | -50 | -22  | -16 | -18 | -78  | 2                                          | -28 | -21 | 30  | 11   | 8   | 3   | 4    |
| Одеса          | Пряма    | 23                                         | 32  | 29  | 11  | 6    | 4   | 7   | 113  | 9                                          | -3  | 21  | 16  | 25   | 12  | -4  | 75   |
|                | Розсіяна | -8                                         | -19 | -27 | -18 | -14  | -7  | -2  | -94  | -8                                         | -1  | -14 | -17 | -13  | -9  | -2  | -63  |
|                | Сумарна  | 22                                         | 20  | 20  | 0   | -3   | 0   | 8   | 66   | 5                                          | -4  | 12  | 7   | 22   | 8   | -7  | 44   |
| Болград        | Пряма    | 8                                          | 31  | 21  | 3   | -17  | -24 | 2   | 25   | 7                                          | -2  | 10  | 16  | 22   | 21  | 1   | 75   |
|                | Розсіяна | -12                                        | -29 | -25 | -29 | -19  | -6  | -6  | -127 | -14                                        | -5  | -22 | -23 | -17  | -11 | -12 | -105 |
|                | Сумарна  | 1                                          | 12  | 14  | -19 | -35  | -33 | -1  | -62  | -4                                         | -11 | -6  | 0   | 12   | 16  | -3  | 4    |
| Херсон         | Пряма    | 20                                         | 36  | 33  | 13  | -3   | -3  | -4  | 92   | 18                                         | -6  | 19  | 32  | 34   | 19  | 1   | 116  |
|                | Розсіяна | -25                                        | -35 | -35 | -23 | -22  | -10 | -13 | -164 | 3                                          | 10  | -6  | -13 | -9   | -7  | -3  | -24  |
|                | Сумарна  | 8                                          | 16  | 9   | -4  | -19  | -11 | -14 | -16  | 22                                         | 0   | 19  | 23  | 33   | 17  | -1  | 115  |
| Асканія Нова   | Пряма    | 0                                          | 11  | -11 | -9  | -13  | -9  | -7  | -24  | 2                                          | -11 | 17  | 15  | 24   | 10  | 2   | 60   |
|                | Розсіяна | -8                                         | -31 | -20 | -18 | -1   | 10  | 7   | -44  | 6                                          | 6   | -3  | -12 | -22  | -21 | -10 | -72  |
|                | Сумарна  | 6                                          | -14 | -12 | -25 | -18  | 0   | 6   | -24  | 7                                          | -8  | 19  | 9   | 13   | -4  | -6  | -1   |
| Карадаг        | Пряма    | 22                                         | 39  | 23  | 31  | 9    | -4  | 6   | 136  | 7                                          | -5  | 21  | -6  | 27   | 7   | -5  | 38   |
|                | Розсіяна | -16                                        | -27 | -25 | -30 | -22  | 0   | -12 | -96  | -4                                         | -4  | -10 | -5  | -14  | -9  | 3   | -53  |
|                | Сумарна  | 39                                         | 47  | 8   | 12  | -5   | -5  | -12 | 131  | 1                                          | -10 | 17  | -11 | 22   | 2   | -3  | 4    |
| Нікітський Сад | Пряма    | 23                                         | 36  | 34  | 31  | 3    | -7  | -10 | 219  | -5                                         | -7  | 7   | -15 | 20   | 5   | -2  | 2    |
|                | Розсіяна | -6                                         | -30 | -37 | -37 | -19  | -2  | -16 | -27  | 4                                          | 4   | -7  | -1  | -9   | 0   | 13  | 3    |
|                | Сумарна  | -3                                         | 7   | 6   | -2  | -30  | -30 | -22 | -42  | 2                                          | -5  | 4   | -18 | 14   | 18  | 6   | 22   |



**Рис. 10** – Відхилення суми прямої ФАР ( $S_{\text{ФАР}}$ ) (МДж / м<sup>2</sup>) за теплий період в 1996 - 2005 рр. відносно 1986 - 1995 рр. (а); 2006 - 2015 рр. відносно 1996 - 2005 рр. (б)

**Fig. 10** – Deviation of the amount of direct PSR (MJ / m<sup>2</sup>) for the warm period in 1996 - 2005 relative to 1986 - 1995 (a); 2006 - 2015 relative to 1996 - 2005 (b)



**Рис. 11** – Відхилення суми розсіяної ( $D_{\text{ФАР}}$ ), сумарної ( $G_{\text{ФАР}}$ ) ФАР, сумарної ФАР (МДж / м<sup>2</sup>) за ТСС ( $Q_{\text{Ф}}$ ) у теплий період в 1996 - 2005 рр. відносно 1986 - 1995 рр. (а); 2006 - 2015 рр. відносно 1996 - 2005 рр. (б)

**Fig. 11** – Deviation of the amount of diffused, ( $D_{\text{ФАР}}$ ), total ( $G_{\text{ФАР}}$ ) PSR, total PSR (MJ / m<sup>2</sup>) calculated via sunshine duration ( $Q_{\text{Ф}}$ ) for the warm period in 1996 - 2005 relative to 1986 - 1995 (а); 2006 - 2015 relative to 1996 - 2005 (б)

## 5. ВИСНОВКИ

У 1986 - 2015 рр. за теплий період пряма, розсіяна, сумарна ФАР, сумарна ФАР за ТСС зростала з травня по липень із заходу, північного заходу чи Українських Карпат на Південний степ і Крим. Просторові зміни ФАР впродовж теплового періоду 1986 - 2015 рр. і за десятиріччя 1986 - 1995 рр., 1996 - 2005 рр., 2006 - 2015 рр. зумовлені ходом складових радіаційного балансу. Збільшення інтегральної прямої сонячної радіації в 1996 - 2005 рр. щодо 1986 -

1995 рр., у 2006 - 2015 рр. щодо 1996-2005 рр. зумовило зростання прямої ФАР; зменшення розсіяної сонячної радіації – зменшення розсіяної ФАР; неоднозначні зміни складових сумарної сонячної радіації – флуктуації сумарної ФАР; а збільшення ТСС – зростання ФАР за ТСС.

Результати проведених досліджень щодо сучасного стану складових радіаційного режиму, визначення ФАР координуються з результатами розрахунків, виконаних у північних регіонах помірної зони, Зміни у формуванні складових

радіаційного режиму супроводжуються коливаннями за вегетаційний період, із тенденцією посилення посушливості; що істотно впливає на умови вирощування сільськогосподарських культур у нашій країні, зумовлюючи їх поширення територіїю.

Отримані висновки мають наукове та практичне значення, важливі для кліматичного обслуговування галузей економіки, які пов'язані з агропромисловим комплексом.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Рыбченко Л. С., Савчук С. В. Радиационный режим Украины в условиях изменения климата. *Проблемы гидрометеорологического обеспечения хозяйственной деятельности в условиях изменяющегося климата*: материалы Междунар. науч. конф., 5 - 8 мая. Минск, 2015. С. 131 - 133. URL: <https://istina.msu.ru/download/9593547/1dWz4i:1LEdDKJ-6GKNVydexPaJRxxhzFI/> (дата обращения: 04.10.2022).
2. Бартенева О. Д., Полякова Е. А., Русин Н. П. Режим естественной освещенности на территории СССР: монография. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1971. 238 с.
3. Гойса Н. И., Перелет Н. А. Ресурсы фотосинтетически активной радиации и их использование в интенсивном земледелии Украины СССР: монография. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1986. 12 с.
4. Гойса М. И., Перелет Н. А. Фотосинтетично активна радіація. *Клімат України* / під ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. Київ: Вид-во Раєвського, 2003. С. 65 - 68.
5. Рыбченко Л. С., Савчук С. В. Составляющие радиационного режима в 1986 - 2015 гг. на территории Украины. *Развитие географических исследований в Беларуси в XX - XXI веках*: материалы междунар. науч.-практ. оч. - заоч. конф., 24 - 26 марта. Минск, 2021. С. 201 - 207. URL: <https://drive.google.com/file/d/14-giajpnbiUqVpdDzwxmjb-mbRMTz2Fa/view> (дата обращения: 04.10.2022).
6. Рыбченко Л. С., Савчук С. В. Визначення фотосинтетично активної радіації за окремі місяці та теплий період року в 1986 - 2015 рр. в Україні. *Актуальні проблеми дослідження довкілля*: збірник наукових праць за матеріалами VIII Міжнародної наукової конференції, 24 - 26 травня. Суми, 2019. С. 154 - 158. URL: [https://www.sspu.sumy.ua/images/stories/Estfak/konf/aktualni\\_2019\\_69c6b\\_1471890487.pdf](https://www.sspu.sumy.ua/images/stories/Estfak/konf/aktualni_2019_69c6b_1471890487.pdf) (дата звернення: 04.10.2022).
7. Рыбченко Л. С., Савчук С. В. Дослідження сучасного стану складових радіаційного режиму та визначення фотосинтетично активної радіації за теплий період у 1986 - 2015 рр. на території України. *Астрономія та фізика космосу в Київському університеті*: збірка тез доповідей Міжнародної конференції в рамках Днів науки в Україні, 28 - 31 травня. Київ, 2019. С. 107. URL: [http://www.observ.univ.kiev.ua/conference/wp-content/uploads/2019/06/Book\\_of\\_Abstracts-2019.pdf](http://www.observ.univ.kiev.ua/conference/wp-content/uploads/2019/06/Book_of_Abstracts-2019.pdf) (дата звернення: 04.10.2022).
8. Рыбченко Л. С., Савчук С. В. Визначення фотосинтетично активної радіації за теплий період року у 1986 - 2015 рр. в Україні. *Актуальные вопросы наук о Земле в концепции устойчивого развития Беларуси и сопредельных государств*: сборник материалов Юбилейной V Международной научно-практической конференции, 28 - 29 ноября. Гомель, 2019. Ч. 1. С. 348 - 353. URL: <https://drive.google.com/file/d/1WWQckaP-XuDrIZQ6CIL2ITCUBm3vO2cs/view> (дата обращения: 04.10.2022).
9. Рыбченко Л. С., Савчук С. В. Определение фотосинтетически активной радиации за теплый период года в 2006 - 2015 гг. в Украине. *Географические аспекты устойчивого развития регионов*: сборник материалов IV Международной научно-практической конференции, 27 - 29 мая. Гомель, 2021. С. 118 - 122. URL: <http://conference.gsu.by> (дата обращения: 04.10.2022).
10. Рыбченко Л. С., Савчук С. В. Радіаційний режим в умовах інтенсивних засух 2001 - 2010 рр. в Україні. *Український географічний журнал*. 2013. № 1. С. 5 - 11. <https://doi.org/10.15407/ugz2013.01.005>.
11. Рыбченко Л. С., Савчук С. В. Геліоенергетичні ресурси України за 1986-2015 рр. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2019. № 1 (52). С. 88 - 97. URL: [http://www.library.univ.kiev.ua/ukr/host/viking/db/ftp/univ/ggg/ggg\\_2019\\_52.pdf](http://www.library.univ.kiev.ua/ukr/host/viking/db/ftp/univ/ggg/ggg_2019_52.pdf) (дата звернення: 04.10.2022).
12. Рыбченко Л. С., Савчук С. В. Ресурси сонячної енергетики в Україні за 1986 - 2015 рр. *Астрономія та фізика космосу в Київському університеті*: збірка тез доповідей Міжнародної конференції в рамках днів науки в Україні, 29 травня - 01 червня. Київ, 2018. С. 101 - 102. URL: <http://www.observ.univ.kiev.ua/conference/book-of-abstracts-2018/> (дата звернення: 04.10.2022).
13. Савчук С. В., Тимофєєв В. Є., Ювченко Н. М. Районування України по впливу екстремальних значень максимальної температури повітря у теплий та холодний періоди року. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2018. Вип. 22. С. 46 - 56. <https://doi.org/10.31481/uhmj.22.2018.05>.
14. Andrzej A. Marsz, Dorota Matuszko, Styszyńska. The thermal state of the North Atlantic and macrocirculation conditions in the Atlantic-European sector, and changes in sunshine duration in Central Europe. *International Journal of Climatology*. 2022. 42 (2). Pp. 48 - 761. URL: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.7270> (Accessed: 04 October 2022).
15. Гуляев Б. И. О методике измерения фотосинтетически активной радиации. *Фотосинтез и продуктивность растений*. Київ: Наукова думка, 1965. С. 178 - 194.
16. Климатические ресурсы солнечной энергии Московского региона / Абакумова Г. М., Горбаренко Е. В., Незваль Е. И., Шиловцева О. А. Москва: Изд-во "Либроком", 2012. 310 с.
17. О вычислении фотосинтетически активной радиации при оценках параметров углеродного баланса наземных экосистем / Журавлева Т. Б., Рублев А. Н., Удалова Т. А. и др. *Оптика атмосферы и океана*. 2006. № 1 (19). С. 64 - 68.
18. Pinker R. T., Laszlo I. Global Distribution of Photosynthetically active radiation as Observed from Sattelites. *Journal of Climate*. 1992. 5. Pp. 56 - 65.
19. Slomka J. Photosynthetically active insolation. *Publ. Inst. Bioph. Pol. Acad. Sei.* 1983. D - 18 (169). Pp. 105 - 109.

## REFERENCES

1. Rybchenko, L.S. & Savchuk, S.V. (2015). [Solar radiation region of Ukraine in conditions of climate change]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Problemy gidrometeorologicheskogo obespecheniya khozyaystvennoy deyatel'nosti v usloviyakh izmenyayushchegosya klimata"* [Materials of the International Scientific Conference "Problems of

- hydrometeorological support of economic activity in a changing climate"], 5-8 May. Minsk, pp. 131 - 133. Available at: <https://istina.msu.ru/download/9593547/1dWz4i:ILEdDKJ-6GKNVydxcPaJRxxhZFI/> (Accessed: 04.10.2022). (in Russ.).
2. Barteneva, O.D., Polyakova, E.A. & Rusin, N.P. (1971). *Rezhim estestvennoy osveshchennosti na territorii SSSR [Natural light mode on the territory of the USSR]*. Leningrad : Gidrometeoizdat. (in Rus.).
  3. Gois, N.I. & Flight, N.A. (1986). *Resursy fotosinteticheski aktivnoy radiatsii i ikh ispol'zovanie v intensivnom zemledelii Ukrainy [Resources of photosynthetically active solar radiation and their use in intensive agriculture in Ukraine]*. Leningrad : Gidrometeoizdat. (in Rus.).
  4. Goisa, M.I. & Flight, N.A. (2003). Fotosyntetichno aktivna radiatsiia [Photosynthetically active solar radiation]. In : Lipinsky, V.M., Dyachuk, V.A., Babichenko, V.M. (eds). *Klimat Ukrainy [Climate of Ukraine]*, Kyiv : Raevsky Publ. (in Ukr.).
  5. Rybchenko, L.S. & Savchuk, S.V. (2021). [Components of the solar radiation regime in 1986 - 2015 on the territory of Ukraine.] *Materialy mezhdunarodnory naucho - prakticheskoy ochno - zaochnoy konferentsii "Razvitie geograficheskikh issledovaniy v Belarusi v XX - XXI vekakh" [Materials of the international scientific-practical full-time-correspondence conference "Development of geographical research in Belarus in the XX - XXI centuries"]*, 24 - 26 March. Minsk, pp. 201 - 207. Available at: <https://drive.google.com/file/d/14-giajpnbUqVpdDzwxmjb-mbRMTz2Fa/view> (Accessed: 04.10.2022). (in Russ.).
  6. Rybchenko, L.S. & Savchuk, S.V. (2019). Vyznachennia fotosyntetichno aktivnoi radiatsii za okremi misiatsi ta teplyi period roku v 1986 - 2015 rokakh v Ukraini [Determination of photosynthetically active solar radiation for individual months and the warm period of the year in 1986 - 2015 in Ukraine]. *Zbirnyk naukovykh prats za materialamy VIII Mizhnarodnoi naukovo konferentsii "Aktualni problemy doslidzhennia dovkillia" [Proceedings of the VIII International Scientific Conference "Current issues of environmental research"]*, 24-26 May. Sumy, pp. 154 - 158. Available at: [https://www.sspu.sumy.ua/images/stories/Estfak/konf/aktua lni\\_2019\\_69c6b\\_1471890487.pdf](https://www.sspu.sumy.ua/images/stories/Estfak/konf/aktua lni_2019_69c6b_1471890487.pdf) (Accessed: 04.10.2022). (in Ukr.).
  7. Rybchenko, L.S. & Savchuk, S.V. (2019). Doslidzhennia suchasnoho stanu skladovykh radiatsiinoho rezhymu ta vyznachennia fotosyntetichno aktivnoi radiatsii za teplyi period u 1986 - 2015 rokakh na terytorii Ukrainy [Research of the current state of the components of the solar radiation regime and determination of photosynthetically active radiation for the warm period in 1986 - 2015 on the territory of Ukraine]. *Zbirka tez dopovidei Mizhnarodnoi konferentsii v ramkakh Dniv nauky v Ukraini "Astronomiia ta fizyka kosmosu v Kyivskomu universyteti" [Collection of abstracts of the International Conference in the framework of the Days of Science in Ukraine "Astronomy and Physics of Space at the University of Kiev"]*, 28 - 31 May. Kyiv, p. 107. Available at: [http://www.observ.univ.kiev.ua/conference/wp-content/uploads/2019/06/Book\\_of\\_Abstracts-2019.pdf](http://www.observ.univ.kiev.ua/conference/wp-content/uploads/2019/06/Book_of_Abstracts-2019.pdf) (Accessed: 04.10.2022). (in Ukr.).
  8. Rybchenko, L.S. & Savchuk, S.V. (2019). Vyznachennia fotosyntetichno aktivnoi radiatsii za teplyi period roku u 1986 - 2015 rokakh v Ukraini [Determination of photosynthetic active solar radiation for the warm period of the year in 1986 - 2015 in Ukraine]. *Sbornik materialov Yubileynoy V Mezhdunarodnoy naucho-prakticheskoy konferentsii "Aktual'nye voprosy nauk o Zemle v kontseptsii ustoychivogo razvitiya Belarusi i sopredel'nykh gosudarstv" [Collection of materials of the Jubilee V International Scientific and Practical Conference "Topical Issues of Earth Sciences in the Concept of Sustainable Development of Belarus and Neighboring States"]*, 28 - 29 November. Gomel, Vol. 1, pp. 348 - 353. Available at: <https://drive.google.com/file/d/1WWQckaP-XuDrIZQ6CIL2ITCUBm3vO2cs/view> (Accessed: 04.10.2022). (in Russ.).
  9. Rybchenko, L.S. & Savchuk, S.V. (2021). [Determination of photosynthetically active solar radiation for the warm period of the year in 2006 - 2015 in Ukraine]. *Sbornik materialov IV Mezhdunarodnoy naucho-prakticheskoy konferentsii "Geograficheskie aspekty ustoychivogo razvitiya regionov" [Collection of materials. IV International scientific-practical conference "Geographical aspects of sustainable development of regions"]*, 27-29 May. Gomel, pp. 118 - 122. Available at: <http://conference.gsu.by> (Accessed: 04.10.2022). (in Russ.).
  10. Rybchenko, L.S. & Savchuk, S.V. (2013). [Solar radiation regime in the conditions of intensive droughts of 2001 - 2010 in Ukraine]. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal [Ukrainian Geographical Journal]*, 1, pp. 5 - 11. <https://doi.org/10.15407/ugz2013.01.005>. (in Ukr.).
  11. Rybchenko, L.S. & Savchuk, S.V. (2019). [Solar energy resources of Ukraine for 1986 - 2015]. *Hidrolohiia, hidrokhiimiia i hidroekolojiia [Hydrology, hydrochemistry and hydroecology]*, 1 (52), pp. 88 - 97. Available at: [http://www.library.univ.kiev.ua/ukr/host/viking/db/ftp/univ/ggg/ggg\\_2019\\_52.pdf](http://www.library.univ.kiev.ua/ukr/host/viking/db/ftp/univ/ggg/ggg_2019_52.pdf) (Accessed: 04.10.2022). (in Ukr.).
  12. Rybchenko, L.S. & Savchuk, S.V. (2018). Resursy soniachnoi enerhytyky v Ukraini za 1986 - 2015 roky [Solar energy resources in Ukraine for 1986 - 2015]. *Zbirka tez dopovidei Mizhnarodnoi konferentsii v ramkakh dnev nauky v Ukraini "Astronomiia ta fizyka kosmosu v Kyivskomu universyteti" [Collection of abstracts. International Conference within the Days of Science in Ukraine "Astronomy and Space Physics at the University of Kiev"]*, 29 May - 01 June. Kyiv, pp. 101 - 102. Available at: <http://www.observ.univ.kiev.ua/conference/book-of-abstracts-2018/> (Accessed: 04.10.2022). (in Ukr.).
  13. Savchuk, S.V., Timofeev, V.E. & Yuvchenko, N.M. (2018). [Zoning of Ukraine according to the influence of extreme values of maximum air temperature in warm and cold periods of the year]. *Ukrainskij gidrometeorologicheskij zhurnal [Ukrainian Hydrometeorological Journal]*, 22, pp. 46 - 56. <https://doi.org/10.31481/uhmj.22.2018.05> (in Ukr.).
  14. Andrzej, A. Marsz, Dorota, Matuszko & Anna, Styszyńska. (2022). The thermal state of the North Atlantic and macro-circulation conditions in the Atlantic-European sector, and changes in sunshine duration in Central Europe. *International Journal of Climatology*, 42 (2), pp. 48 - 761. Available at: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.7270>.
  15. Gulyaev, B.I. (1965). O metodike izmereniya fotosinteticheski aktivnoy radiatsii [Technique for measuring photosynthetically active solar radiation]. *Fotosintez i produktivnost' rasteniy [Photosynthesis and Plant Productivity]*. Kiev : Naukova Dumka, pp. 178 - 194. (in Russ.).
  16. *Klimaticheskie resursy solnechnoy energii Moskovskogo regiona [Climatic resources of solar energy in the Moscow region]* / Abakumova, G.M., Gorbarenko, E.V., Nezval, E.I., Shilovtseva, O.A. (2012). Moscow : Librokom Publ. (in Russ.).

17. [On the calculation of photosynthetically active solar radiation in assessing the parameters of the carbon balance of terrestrial ecosystems] / Zhuravleva, T.B., Rublev, A.N., Udalovala, T.A. et al. (2006). *Optika atmosfery i okeana* [Optics of the atmosphere and ocean], 1 (19), pp. 64 - 68. (in Rus.).
18. Pinker, R.T. & Laszlo, I (1992). Global Distribution of Photosynthetically active radiation as Observed from Sattelites. *Journal of Climate*, 5, pp. 56-65.
19. Slomka, J. (1983). Photosynthetically active insolation. *Publ. Inst. Bioph. Pol. Acad. Sei.*, D - 18 (169), pp. 105 - 109.

## DYNAMICS OF PHOTOSYNTHETIC SOLAR ACTIVE RADIATION IN UKRAINE OVER 1986 - 2015

**L. S. Rybchenko, S. V. Savchuk,  
V. E. Timofeev, A. A. Shcheglov**

*Ukrainian Hydrometeorological Institute  
37, Avenue of Science, 0302, Kyiv, Ukraine, L.S.Rybchenko@gmail.com*

Photosynthetically active solar radiation (PSR) – solar radiation within the wavelength range of 380 ... 710 nm – forms a basis of plants' life that determines their photosynthesis. No measurements of photosynthetically active solar radiation (PSR) take place in Ukraine due to the lack of standard devices. Direct, scattered and total PSR is calculated via transition measurements and coefficients, whereas total PSR is measured via sunshine duration – using the indirect method. The purpose of the research is to determine PSR and its dynamics during specific months and the warm period of the year (April-October). The components of the radiation regime within the network of actinometric and meteorological observations in Ukraine for 1986 - 2015, 1986 - 1995, 1996 - 2005, 2006 - 2015 were obtained using mathematical statistics and climatological methods. In the course of the research changes in the PSR during specific months and the warm period over specific decades were determined. During the months of the warm period over 1986 -2015, direct, diffused, total PSR and total PSR calculated via sunshine duration tend to increase from the west, northwest or Ukrainian Carpathians to the southern steppe zone and Crimea. During the warm period over 1986 - 1995, the amount of direct PSR varies within 472 ... 891 MJ/m<sup>2</sup>, diffused radiation – 887 ... 1156 MJ/m<sup>2</sup>, total radiation – 1457 ... 1917 MJ/m<sup>2</sup>, total PSR calculated based on sunshine duration – 1621 ... 2056 MJ/m<sup>2</sup>; over 1996 - 2005 the amount of direct PSR varies within – 469 ... 1030 MJ/m<sup>2</sup>, diffused – 802 ... 1004 MJ / m<sup>2</sup>, total – 1305 ... 1973 MJ/m<sup>2</sup>, total PSR calculated based on sunshine duration – 1654 ... 2192 MJ/m<sup>2</sup>; over 2006 - 2015 the amount of direct PSR varies within 485 ... 1065 MJ/m<sup>2</sup>, diffused radiation – 737 ... 951 MJ / m<sup>2</sup>, total PSR – 1270 ... 1977 MJ / m<sup>2</sup>, total PSR calculated based on sunshine duration – 1649 ... 2233 MJ / m<sup>2</sup>. The increase in integrated direct solar radiation over 1996 - 2005 compared to 1986 - 1995, as well as over 2006 - 2015 compared to 1996 - 2005, led to an increase in direct PSR; the decrease in diffused solar radiation led to a decrease in diffused PSR; and ambiguous changes in the components of total solar radiation led to fluctuations in total PSR; increase in sunshine duration is accompanied by an increase in total PSR calculated based on sunshine duration. The research is relevant due to the factor of modern climate variability at the global and regional levels. The study of PSR changes is an urgent task of modern agrometeorology. It enables long-term effective planning of agricultural development.

**Keywords:** direct, scattered, total photosynthetically active solar radiation and total photosynthetically active solar radiation in terms of duration of sunshine.

Подання до редакції : 06. 09. 2022  
Надходження остаточної версії : 15. 12. 2022  
Публікація статті : 27. 12. 2022

УДК 551.524.36+631.559 PACS: 92.70.Bc; 2.70.Kb

## СУЧАСНИЙ РЕЖИМ ХВИЛЬ ТЕПЛА ТА ЇХ ВПЛИВ НА УРОЖАЙНІСТЬ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР В УКРАЇНІ

І. Г. Семенова<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Одеський державний екологічний університет,  
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна

<sup>2</sup>Instituto Pirenaico de Ecología,  
Avda. Montañana, 1005, Zaragoza, Spain

in\_home@ukr.net <https://orcid.org/0000-0003-3383-4848>

Хвилі тепла є одним з найнебезпечніших метеорологічних явищ, прояв яких почастишав в усіх регіонах земної кулі в останні десятиліття. Через надмірно високі температури, які тривають довгий період часу, хвилі тепла викликають тепловий стрес у живих організмів і рослин, та негативно впливають на різні галузі економіки. Хоча механізм утворення хвиль тепла загалом відомий, питання визначення і завчасного передбачення інтенсивності та тривалості цих процесів, як й районів їх поширення, залишається відкритим, в тому числі через відсутність уніфікованого поняття хвилі тепла. В даному дослідженні проаналізовано просторово-часовий розподіл екстремально теплих днів та хвиль тепла за період 1996-2021 рр. по 16 областям України, в яких зосереджено виробництво основних зернових культур (озима пшениця, ярий ячмінь, кукурудза). Аналіз виконаний з використанням поверхневої температури  $T_s$ , яка містить в собі інформацію про температуру як поверхні землі, так і температуру рослинного покриву.

Отримано, що протягом періоду дослідження кількість екстремально теплих днів зростала по всіх областях країни і в усі сезони року, при цьому найбільш суттєве збільшення відбулося в останнє десятиліття в зимовий та осінній періоди. Найбільш теплим виявився 2020 р., коли по окремих областях кількість екстремально теплих днів досягала 100-106 за рік. Повторюваність хвиль тепла наприкінці періоду дослідження виросла майже в два рази порівняно з початком, досягнувши в середньому 8-10 випадків на рік. Середня сезонна повторюваність хвиль тепла становила 4-5 випадки влітку та від 2 до 4 випадків в інші сезони. Найтриваліші хвилі тепла у 17-19 днів зафіксовано по всім агрокліматичним зонам у серпні 2010 р. В інші сезони року максимальна тривалість хвиль тепла не перевищувала 10-14 днів. Статистична оцінка взаємозв'язку між сезонною кількістю екстремально теплих днів та урожайністю зернових культур показала, що збільшення таких днів весною призводить до зменшення урожайності озимої пшениці та ярого ячміню, а в літній період їх негативний вплив спостерігається для кукурудзи.

**Ключові слова:** хвиля тепла; екстремальна температура; поверхнева температура; урожайність

### 1. ВСТУП

Спостереження показують, що поточні кліматичні умови характеризуються стійким підвищенням температури повітря в усіх регіонах земної кулі протягом останніх двадцяти років. Починаючи з 2006 р., позитивні аномалії температури переважають в сезонному розподілі, при цьому середнє потепління над сушею є більш інтенсивним, ніж над океаном. Протягом останнього десятиліття перевищення глобальної приземної температури досягло приблизно 1,1 °C над рівнем 1850–1900 рр.

У глобальному масштабі екстремально високі температури (включаючи хвилі тепла) стали більш частими та інтенсивнішими в більшості регіонів суші з 50-х років минулого століття [1].

Стосовно Європейського континенту, то як зазначено у звіті Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО) [2], в цьому регіоні спостерігалось підвищення температури в середньому на 0,5 °C кожне десятиліття, починаючи з 1991 р., тобто Європа нагрівається удвічі швидше, ніж інші регіони земної кулі, що викликає появу все більш частих несприятливих

та небезпечних погодних умов. У 2021 р. аномальні погодні явища призвели до сотень смертей, безпосередньо вплинули на стан здоров'я понад півмільйона людей і завдали економічних збитків на суму понад 50 мільярдів доларів. Порівняння хвилі тепла влітку 2021 р. в Європі з іншими, починаючи з 1950 р., показало, що ця подія виявилася третьою за площею й інтенсивністю, порівняно з рекордними хвилями тепла 2003 р. в Західній Європі та 2010 р. в Східній Європі [3]. Загалом, 83 % території Європи саме за останні 20 років зазнали влітку найбільш високих температур за останні 70 років.

2022 р. відзначився найбільш спекотним літом в Європі: температура повітря була найвищою за всю історію спостережень як за серпень, так і за сезон (червень – серпень) в цілому, при цьому вона перевищила на  $0,8^{\circ}\text{C}$  температуру для серпня за 2018 р. та  $0,4^{\circ}\text{C}$  температуру для літа за 2021 р. За даними Copernicus Climate Change Service (C3S) [4], під час хвилі тепла в середині липня 2022 р. у багатьох країнах Європи було побито температурні рекорди, зокрема в Португалії, західній Франції та Ірландії. В Англії температура вперше в історії спостережень піднялася вище за попередній національний рекорд у  $+38,7^{\circ}\text{C}$  на понад 40 станціях, а 19 липня 2022 р. зафіксовано максимальну температуру  $+40,3^{\circ}\text{C}$  в Лінкольнширі. Хвиля тепла розповсюджувалася на північні райони Європи, встановлюючи нові температурні рекорди в Німеччині та Скандинавії.

Для території України хвилі тепла (ХТ) також стали характерним явищем в останні десятиліття. Так, аналіз довгих рядів спостережень (1961–2015 рр.) за температурою повітря в літній сезон показав [5, 6], що найбільша кількість епізодів з хвилями тепла на всіх розглянутих станціях спостерігалась у 2001–2010 рр., при цьому, більшість випадків припали на станції, розташовані в центрі та на сході України. В це десятиріччя відмічено до 11–13 хвиль тепла на станціях в усіх областях країни. Найсильнішими за впливом через свою інтенсивність та тривалість виявилися так звані мега-хвилі тепла 2010 та 2015 років, за яких максимальна температура повітря по станціях України перевищувала повсюдно  $35\text{--}37^{\circ}\text{C}$ , що викликало тривалий стан теплового стресу [7].

Як показують розрахунки з використанням даних кліматичного моделювання [8], очікується подальше зростання повторюваності хвиль тепла, при цьому їх кількість та інтенсивність значно збільшиться саме у холодний період року, особливо на півдні України.

Для дослідження хвиль тепла використовують досить різноманітні визначення, які впливають на формування статистики по цьому явищу на досліджуваних територіях. Часто поняття хвилі тепла носить регіональний або галузевий характер, адже високі температури мають різноманітний вплив як на життєдіяльність людини та її самопочуття, так й навколишнє середовище. В загальному сенсі, під хвилею тепла розуміють період екстремально високих температур, але кількісні визначення хвиль тепла відрізняються параметрами вимірювання кількості тепла та/або тривалістю періоду високих температур [9]. Як зазначається в [10], такими параметрами можуть виступати середньодобова, мінімальна, максимальна температура повітря, кількість днів в періоді високих температур, порогові значення температури (відносні або абсолютні), порогова інтенсивність тощо. Негативний вплив високих температур на організм людини підсилюється підвищеною вологістю повітря, яку також включають до розгляду при оцінці несприятливих погодних умов, використовуючи спеціальні біометеорологічні індекси [11, 12]. В Україні в дослідженнях найчастіше використовують визначення ВМО, яке виявилось досить зручним для використання та інформативним [13]: під хвилею тепла розуміють період, коли максимальна добова температура повітря п'ять або більше послідовних днів перевищує середню максимальну температуру для даного дня за базовий період (1961–1990 рр.) більш ніж на  $5^{\circ}\text{C}$ .

Сучасні можливості моніторингу Землі з космосу дозволяють обирати інші види інформації для оцінки стану підстильної поверхні, яка підпадає під вплив високих температур повітря, включно з рослинним покривом, який може зазнавати стресового стану. Одним з таких теплових параметрів є поверхнева температура ( $T_s$ ), тобто фізична температура поверхні землі, яка визначається у відповідності до закону Планка ґрунтуючись на випромінюванні підстильної поверхні, що

вимірюється сенсором супутнику на відповідній довжині хвилі [14]. При цьому для покритих рослинністю поверхонь  $T_s$  часто представляє собою середню ефективну радіаційну температуру рослинного пологую та поверхні землі, хоча для високої та густої рослинності температура пологую може бути близькою до температури повітря. Як зазначається в дослідженнях з використанням цієї фізичної величини, поверхнева температура характеризує, перш за все, обмін енергією різномірних поверхонь на межі ґрунт (вода) – атмосфера [15]. Через це,  $T_s$  є дуже чутливою до зміни локального енергетичного балансу, порівняно з температурою повітря, швидко реагуючи на вплив адвекції різних повітряних мас. Також,  $T_s$  має більш високі добові та сезонні амплітуди, ніж температура повітря біля поверхні землі.

Поверхнева температура, що оцінюється за супутниковими інфрачервоними спостереженнями, має головне обмеження через неможливість отримати інформацію в районах, вкритих хмарністю, що призводить до необхідності осереднення за часом. Використання пасивних мікрохвильових інструментів [16] та комбінація цих видів інформації робить набори даних поверхневої температури незалежними від погоди, які включаються в системи моделювання, такі як Глобальна система асиміляції даних (the Global Land Data Assimilation System, GLDAS) [17], яка поєднує продукти супутникових і наземних спостережень, використовуючи вдосконалене моделювання процесів біля поверхні землі та техніку асиміляції даних. Завдяки властивості глобальності при спостереженні з супутників, поверхнева температура є зручною для вивчення тенденцій змін глобальної температури [18]. Так, оцінки трендів  $T_s$  в порівнянні з даними реаналізу ERA5 [19] показали, що за останні два десятиліття середня глобальна температура зростала на 0,26–0,34 °C за десятиліття, при цьому найбільше потепління зафіксовано в Арктиці у 0,72–0,86 °C за десятиліття, а в центральній і східній Європі воно становило 0,62 – 0,82 °C за десятиліття.

Метою даного дослідження є аналіз повторюваності екстремально високих температур та хвиль тепла на території України, визначених з використанням поверхневої

температури  $T_s$ , а також оцінка впливу ХТ на урожайність основних зернових культур.

## 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

В якості вихідних даних використані середні добові значення поверхневої температури по 16 областях України за всі місяці року в період 1996–2021 рр. Часові ряди осередненої по площі кожної області поверхневої температури з моделі GLDAS Catchment Land Surface Model L4 (V2.0) з кроком сітки 0,25° x 0,25° були отримані за допомогою сервісу NASA GIOVANNI (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/>).

Враховуючи різноманітність методів визначення теплових хвиль та вид вихідної інформації, що використана в даному дослідженні, було обрано наступний підхід. Для кожного календарного місяця в кожній адміністративній області було визначено величину 90% як порогове значення  $T_s$  та підраховано дні, коли  $T_s$  дорівнює порогую або перевищує його, тобто екстремально теплі дні. Хвиля тепла визначалася як безперервний період тривалістю 3 дні або більше, коли середньодобова температура  $T_s$  досягала або перевищувала порогові значення.

Були використані ряди даних середньообласної урожайності таких культур [20]: озима пшениця, ярий ячмінь, кукурудза. За ареалами найбільшого виробництва цих культур (рис. 1) для дослідження обрано наступні області України: Одеська, Миколаївська, Херсонська, Запорізька, Донецька, Дніпропетровська, Кіровоградська, Вінницька, Черкаська, Хмельницька, Полтавська, Харківська, Сумська, Чернігівська, Київська, Житомирська.

Попередній аналіз часових рядів зазначених культур показав, що в усіх областях спостерігалася суттєве зростання середньообласних показників починаючи з 2010–2011 рр., що, можливо пов'язано із зміною агротехнологій в цей період. Тому, для вилучення компоненти урожайності, не пов'язаної з погодними умовами, було проведено процедуру детренду часових рядів. Урожайність зернових культур за трендом визначалася за методом гармонійних ваг [21].



**Рис. 1** – Карти-схеми основних районів виробництва зернових культур в Україні у 2016-2020 рр. (зверху вниз): пшениця, ячмінь, кукурудза. Джерело USDA FAS: [https://ipad.fas.usda.gov/rssiws/al/up\\_cropprod.aspx](https://ipad.fas.usda.gov/rssiws/al/up_cropprod.aspx)  
**Fig. 1** – Schematic maps of the main cereal production areas in Ukraine in 2016-2020 (from top to bottom): wheat, barley, corn. Source USDA FAS: [https://ipad.fas.usda.gov/rssiws/al/up\\_cropprod.aspx](https://ipad.fas.usda.gov/rssiws/al/up_cropprod.aspx)

### 3. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

#### 3.1 Повторюваність екстремально теплих днів

Аналіз сумарної річної кількості днів з  $T_s \geq 90\%$  по областях показав, що у всіх агрокліматичних зонах спостерігалось значне зростання кількості екстремально теплих днів протягом періоду дослідження (рис. 2, а, б). Найбільше таких днів зафіксовано у 2020 р., при цьому максимум припав на лісостепову зону, в якій з восьми розглянутих областей у шести спостерігалось 100 і більше днів з екстремальними температурами. Абсолютний максимум у 109 днів припав на Полтавську область, 106 та 105 днів спостерігалось у Хмельницькій та Сумській областях відповідно. У Поліссі кількість днів з екстремальними температурами становила від 84 до 106, а у Степу коливалася від 74 днів (Херсонська область) до 96 днів (Кіровоградська область). Спекотними були також 2007 р. та 2012 р. для степової та лісостепової зон, коли максимальна кількість екстремально теплих днів склала 80-82 дні у Степу у 2012 р. та 70-72 дні у Лісостепу у 2007 р. У Лісостепу також вторинний максимум відмічався у 2010 р. (67-69 днів). Для зони Полісся вторинні максимуми кількості днів із екстремально високими температурами відмічені у 2007 та 2010 рр., коли сума днів склала від 57 до 70 на рік. Розраховані річні тренди по всім агрокліматичним зонам виявилися статистично значимими для 95% рівня значущості.

Кількість днів з екстремально високими температурами зростає у всі сезони року (рис. 3). Так, у зимовий період найбільше зростання кількості теплих днів спостерігалось у лісостеповій зоні, при цьому найтеплішими були зими 2019-2020 рр. та 2006-2007 рр. (рис. 3, а), коли максимальна кількість теплих днів склала від 25-26 у Степу до 40-44 днів у Лісостепу в першу зиму і від 25-26 днів у Степу до 30-31 дня у Лісостепу та Поліссі в другу зиму.

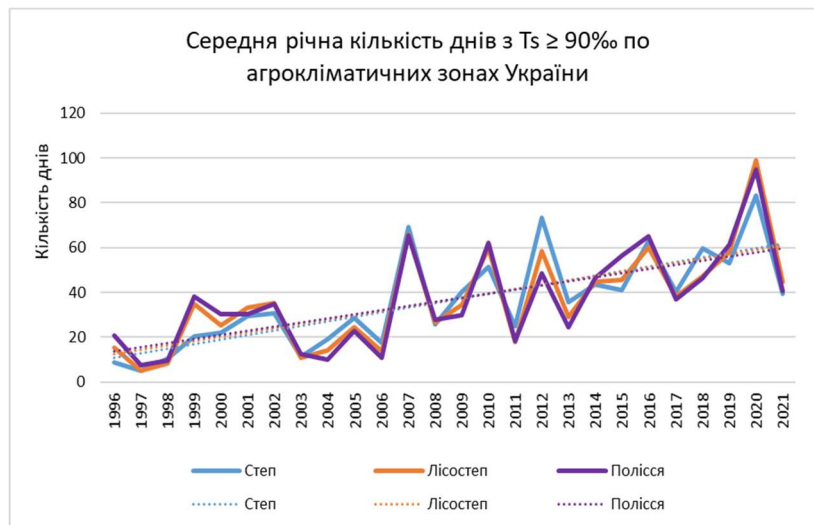
Навесні спостерігався помітний розкид кількості екстремально теплих днів між агрокліматичними зонами, при цьому найбільше зростання таких днів спостерігалось у степовій зоні (рис. 3, б). В досліджуваний період спостерігалось чотири максимуми кількості екстремально теплих днів: у 2014, 2007, 2000 та

2020 рр., коли середня сумарна кількість днів у весняні місяці відповідно становила 26-28 (Лісостеп, Полісся), 20-22 (Лісостеп, Полісся), 15-17 (Степ, Лісостеп) 20-21 (Степ).

У літній сезон екстремально теплим виявився 2010 р., коли максимальна кількість екстремально теплих днів у деяких областях лісостепової зони та Полісся сягала 39-41, у степовій зоні – 28-30 днів (рис. 3, в). Вторинний максимум екстремальної температури в Україні відмічений у 2012 р., коли в областях Степу кількість екстремально теплих днів становила

31-35. Висока повторюваність екстремумів температури відзначена також в літні місяці 2007 та 2016 рр., коли у степовій зоні максимальна кількість днів у деяких областях досягала 22-24 та 31-35 відповідно.

Восени спостерігалось поступове підвищення кількості екстремально теплих днів у всіх агрокліматичних зонах в середньому від 5-10 днів/сезон на початку періоду до 10-15 днів/сезон у 2011 – 2018 рр. (рис. 3, г).



а)



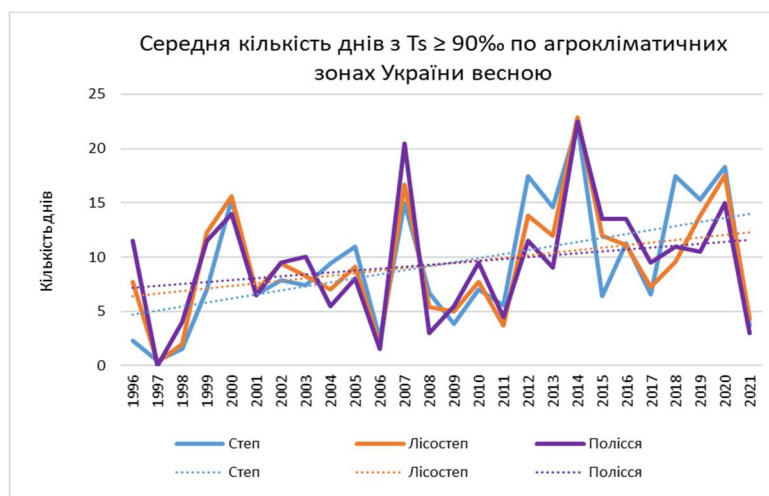
б)

**Рис. 2** – а) середня річна кількість днів з  $T_s \geq 90\%$  і їх тенденції по агрокліматичних зонах України та б) річна кількість днів з  $T_s \geq 90\%$  по областях України за період 1996-2021 рр.

**Fig. 2** – а) average annual number of days with  $T_s \geq 90\%$  and their trends by agroclimatic zones of Ukraine and б) annual number of days with  $T_s \geq 90\%$  by regions of Ukraine for the period 1996-2021



а)



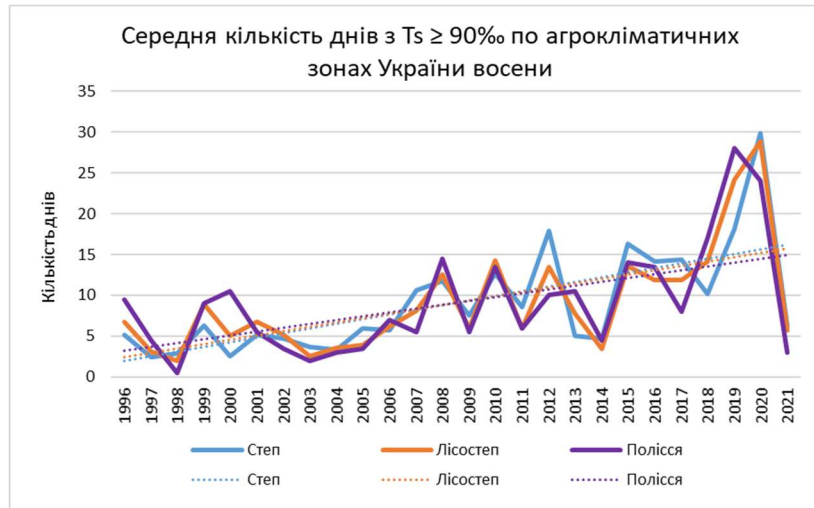
б)



в)

**Рис. 3** – Середня кількість днів з  $T_s \geq 90\%$  та їх тенденції по агрокліматичних зонах України за період 1996-2021 рр. в різні сезони: а) зима (грудень-лютий), б) весна (березень-травень), в) літо (червень-серпень)

**Fig. 3** – Average number of days with  $T_s \geq 90\%$  and their trends in agroclimatic zones of Ukraine for the period 1996-2021 in different seasons: а) winter (December-February), б) spring (March-May), в) summer (June-August)



з)

Рис. 3 – Продовження: г) осінь (вересень-листопад)

Fig. 3 – Continued: d) autumn (September-November)

У 2019 р. та 2020 р. відмічено різке збільшення кількості екстремально теплих днів восени, коли в усіх агрокліматичних зонах у деяких областях спостерігалось до 30-34 днів за сезон з екстремально високими температурами.

Обчислені тренди зростання кількості екстремально теплих днів для є статистично значимими (для 95 % рівня значущості) для всіх сезонів в усіх агрокліматичних зонах.

Загалом, отримані результати показали, що збільшення кількості днів з екстремально високими температурами відбувалося синхронно в усіх областях України, тобто кліматичні зміни, пов'язані з підвищенням температури, мають практично однакову швидкість та однакову інтенсивність по всій території країни.

### 3.2 Повторюваність і тривалість хвиль тепла

Аналіз повторюваності хвиль тепла, визначених за методикою, описаною вище, показав, що їх кількість збільшувалася протягом розглянутого періоду в усіх агрокліматичних зонах (рис. 4, а), при цьому всі тренди є статистично значимими (для 95% рівня значущості). В середньому за рік, кількість хвиль тепла збільшувалася від 1-2 на початку періоду до 9-10 наприкінці періоду, при цьому в останній 2021 р. кількість ХТ різко впала, особливо в областях Полісся (рис. 4, а, б).

У зимовий період в річному ході кількості ХТ, починаючи з 2004 р. спостерігалася

квазидворічна періодичність, внаслідок чого від року до року кількість хвиль тепла коливалася від нульових значень до 2-3 випадків, при загальному позитивному тренді по всіх агрокліматичних зонах (рис. 5, а). Найбільш теплими були зими 2017-2018 рр. та 2006-2007 рр., коли в областях Степу та Лісостепу фіксувалося по 3-4 випадки ХТ. У Поліссі теплими також були зими 2006-2007 рр., 2011-2012 рр. та 2015-2016 рр., з кількістю ХТ від 2 до 4 випадків.

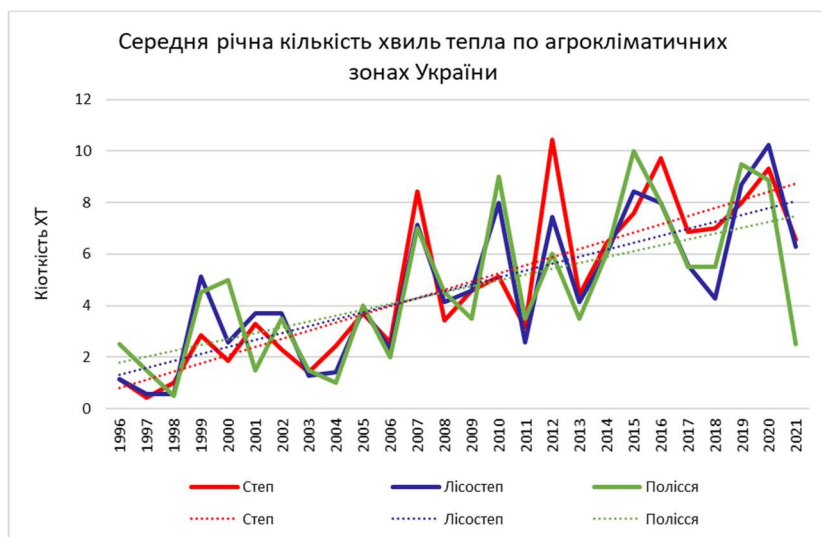
Навесні, до 2010 року, більша кількість хвиль тепла спостерігалася в Поліссі та Лісостепу (в середньому, від 1 до 2), проте, починаючи з 2012 р., при загальному зростанні кількості ХТ в усіх областях, вони стали переважати в Степу (рис. 5, б). Максимальна кількість весняних хвиль тепла спостерігалася у Миколаївській та Одеській областях у 2014 році – відповідно, 5 та 4 випадки.

У літній період, при загальному зростанні кількості хвиль тепла, основний максимум випадків припав на 2010 р., при цьому найбільша кількість ХТ зафіксована у Поліссі та Лісостепу, де у кількох областях (Полтавська, Сумська, Хмельницька, Чернігівська) спостерігалось 5-6 хвиль (рис. 5, в). У степовій зоні цього року середня кількість ХТ становила всього 2 випадки, і лише на Донеччині, на сході України, зафіксовано 5 випадків. Висока повторюваність хвиль тепла також відмічалася у 2016 р., коли у низці областей Лісостепу

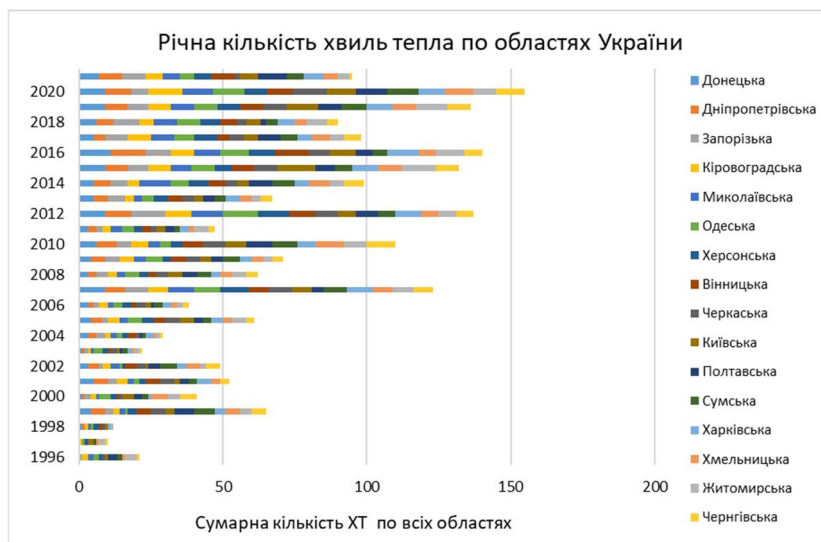
(Вінницька, Харківська) та Степу (Донецька, Дніпропетровська) пройшло від 4 до 6 ХТ. Третім за повторюваністю йде літо 2012 р., коли в областях усіх агрокліматичних зон було зафіксовано від 2 до 4 хвиль тепла.

Восени повторюваність хвиль тепла також збільшувалася протягом періоду дослідження від 1-2 випадків у середньому на початку періоду до 3-5 випадків наприкінці (рис. 5, г). Найбільша

кількість осінніх ХТ спостерігалася у Поліссі, найменша – у Степу. Найтеплішою виявилася осінь 2019 р., коли у багатьох областях Полісся та Лісостепу зафіксовано 3-4 випадки хвиль тепла, а в Київській та Житомирській областях по шість ХТ. В областях Степу цього року спостерігалася 2-3 хвилі тепла і лише на Донеччині 4 випадки.



а)



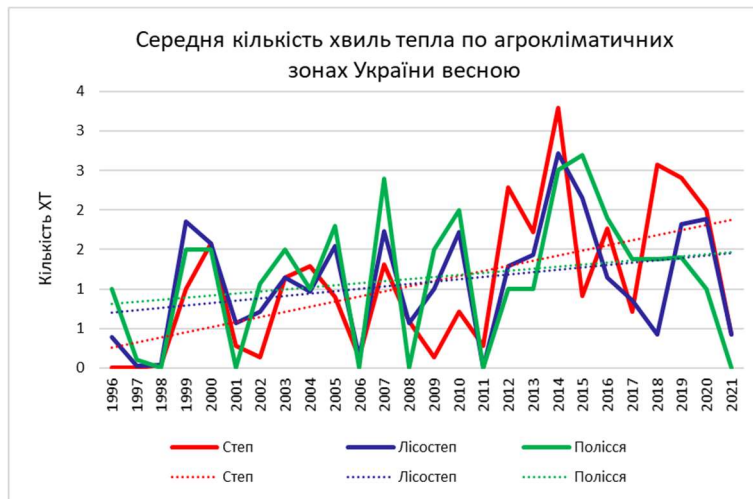
б)

**Рис. 4** – а) середня річна кількість хвиль тепла і їх тенденції по агрокліматичних зонах України та б) річна кількість хвиль тепла по областях України за період 1996-2021 рр.

**Fig. 4** - а) average annual number of heat waves and their trends in agroclimatic zones of Ukraine and б) annual number of heat waves in the regions of Ukraine for the period 1996-2021



а)



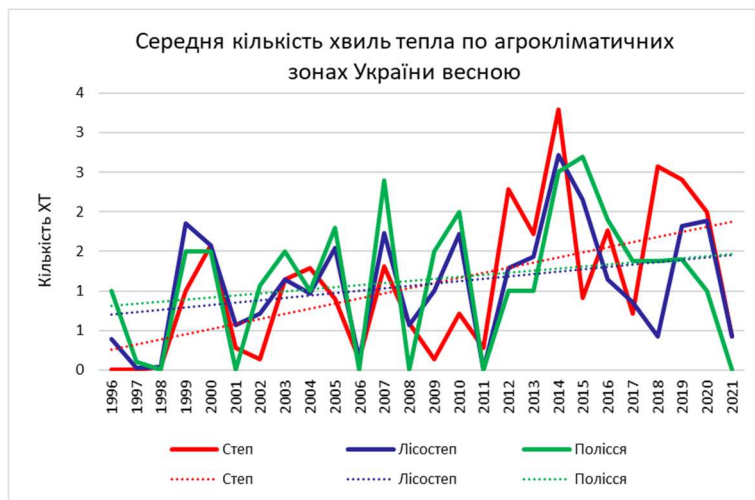
б)



в)

**Рис. 5** – Середня кількість хвиль тепла та їх тенденції по агрокліматичних зонах України за період 1996-2021 рр. в різні сезони: а) зима (грудень-лютий), б) весна (березень-травень), в) літо (червень-серпень)

**Fig. 5** – Average number of heat waves and their trends in agroclimatic zones of Ukraine for the period 1996-2021 in different seasons: a) winter (December-February), b) spring (March-May), c) summer (June-August)



а)

Рис. 5 – Продовження: г) осінь (вересень-листопад)

Fig. 5 – Continued: d) autumn (September-November)

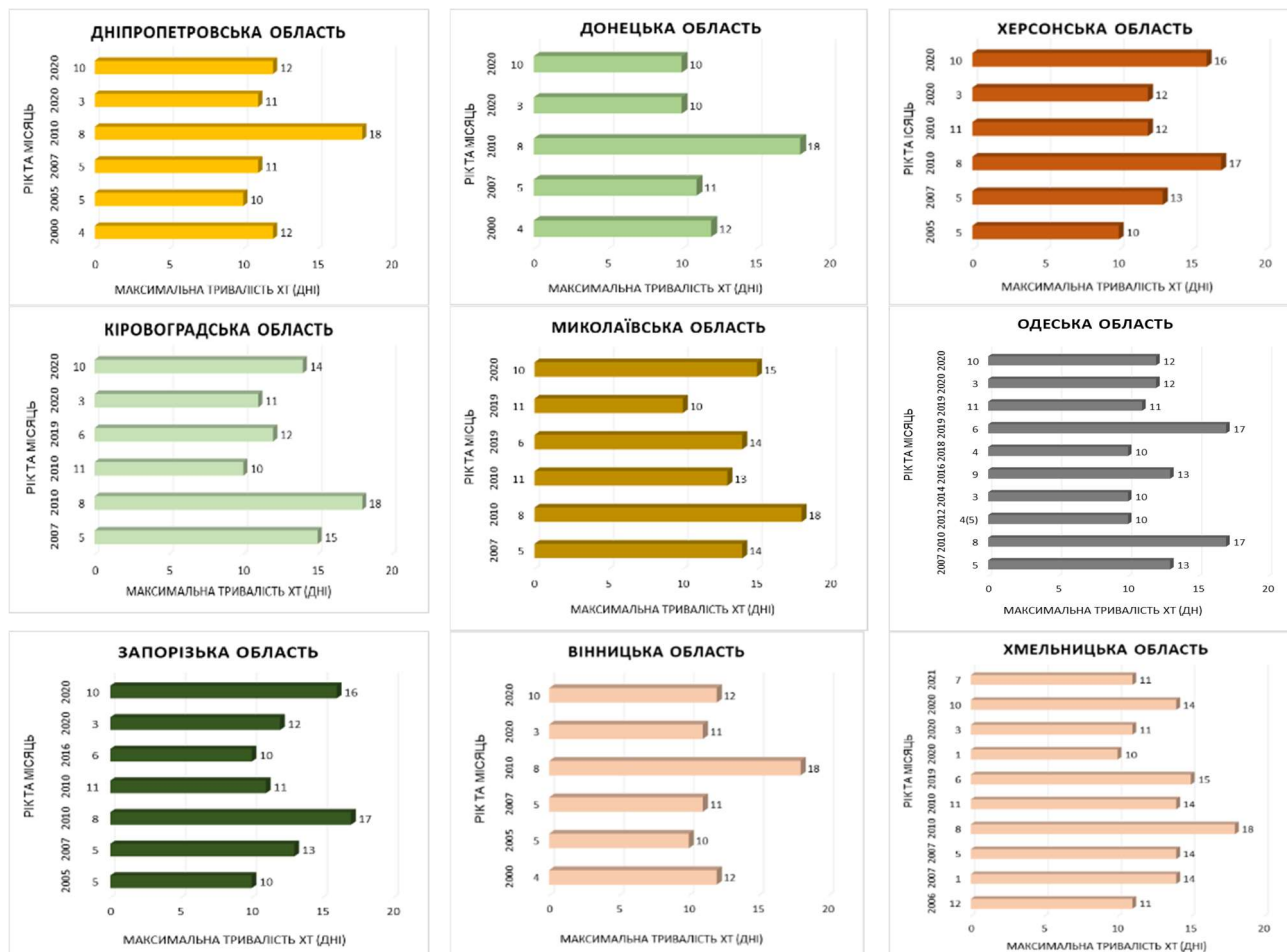


Рис. 6 – Повторюваність по областях України випадків хвиль тепла тривалістю 10 днів та більше

Fig. 6 – Frequency of heat waves lasting 10 days or more in the regions of Ukraine

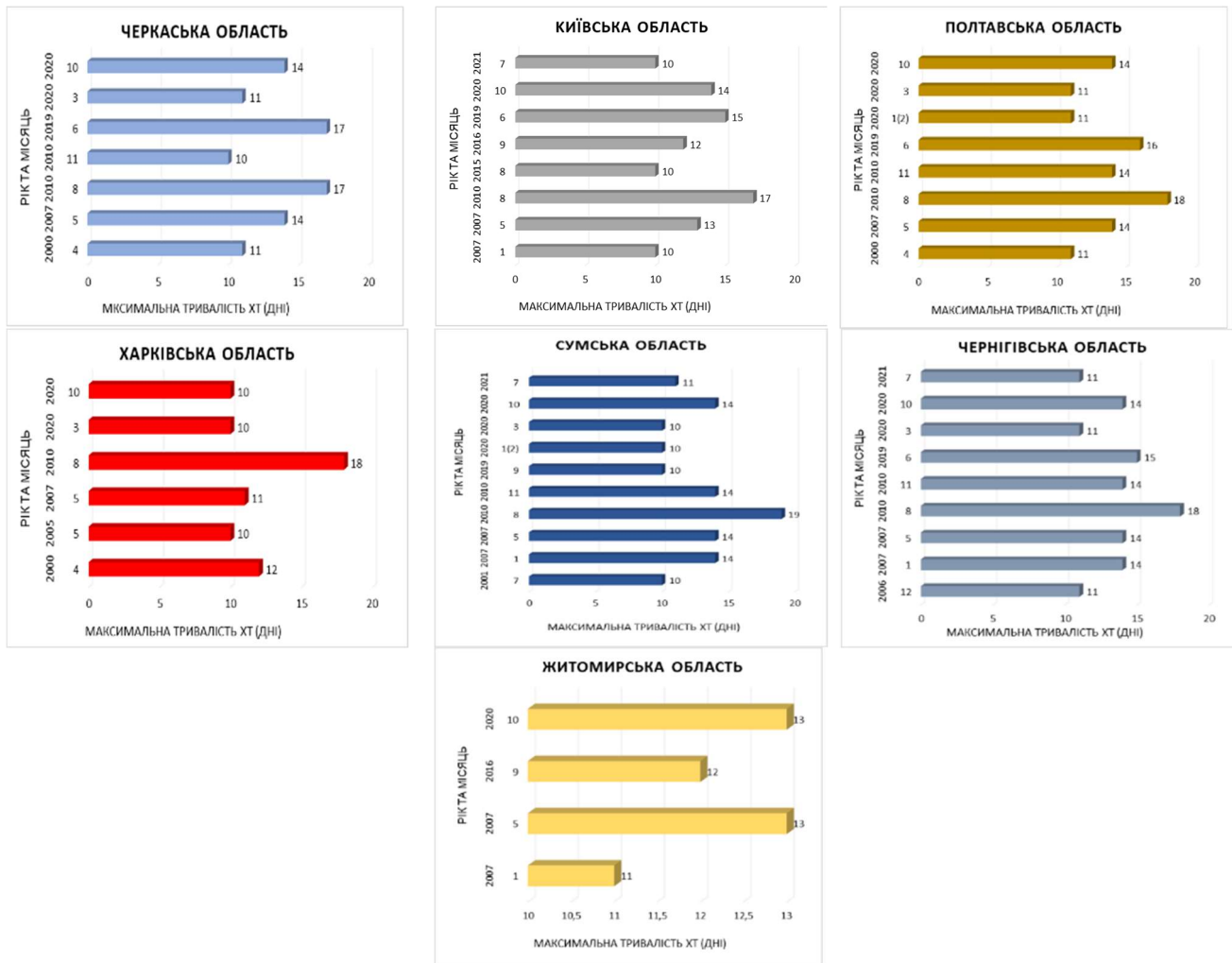


Рис. 6 – Продовження

Fig. 6 – Continued

В усі сезони по агрокліматичних областях обчислені позитивні тренди кількості хвиль тепла є статистично значимими (для 95 % рівня значущості). Слід відмітити, що повторюваність хвиль тепла має високу міжрічну мінливість, яка особливо виражена у зимовий період. Просторова неоднорідність у розподілі кількості хвиль тепла найхарактерніша для весняного періоду.

Щодо тривалості хвиль тепла, то в середньому цей період становить 4-7 днів. Взимку періоди коротші, у теплий сезон – довші. Тривалі хвилі тепла є особливо небезпечними, тому було проаналізовано повторюваність екстремальних випадків тривалістю 10 днів та більше (рис. 6). Найбільша кількість тривалих ХТ в розглянутий період в різні сезони спостерігалася в Одеській, Хмельницькій та

Сумській областях – по 10 випадків, а також в Чернігівській області (9 випадків). Найменше тривалі ХТ розповсюджені в Донецькій та Житомирській областях – 5 та 4 випадки відповідно. За досліджуваний період найбільша тривалість ХТ у 17-19 днів була зафіксована в багатьох регіонах України влітку, у серпні 2010 р.

Серед інших сезонів року, виділяється ХТ у жовтні 2020 р., яка спостерігалася в усіх розглянутих областях тривалістю 12-16 днів. Взимку найтриваліша ХТ (10-14 днів) виявилася у північних областях країни у січні 2007 р. Навесні найтриваліші хвилі тепла (10-14 днів) були зафіксовані у травні 2007 р. (всі області) та березні 2020 р. (в 13 областях).

### 3.3 Вплив екстремально високих температур на урожайність зернових культур

Дослідження, пов'язані із вивченням впливу змін клімату на рослини, перш за все, зосереджені на впливі посушливих явищ на швидкість росту та продуктивність рослин, при цьому цілеспрямованих експериментальних оцінок щодо впливу саме хвиль тепла, як зазначено у роботі [22], майже не існує. Висока температура як фактор, що може призводити до пригнічення та загибелі рослин, зокрема сільськогосподарських культур, врахована в оцінках такого явища як суховій [23]. Поєднання високих температур повітря з посухою прискорює загибель рослин не лише через вплив на їх надземні частини, але й через кореневу систему, яка зазнає надмірного нагріву та висушування. Як показали дослідження [24], хвилі тепла мають відкладену дію на шари ґрунту, максимальна температура яких досягається в середньому через 3-9 днів (в залежності від глибини) після періоду екстремально високих температур повітря. Виявити безпосередній вплив хвиль тепла на стресовий стан рослин допомагають супутникові спостереження, адже тривалі періоди високої температури повітря можуть значно знизити швидкість фотосинтезу, що врешті решт відіб'ється на урожайності. Так, використання супутникового вегетаційного індексу SIF (solar-induced chlorophyll fluorescence), який містить у собі сигнали про біохімічні та фізіологічні процеси рослин, дозволило виявити тісний зв'язок цього параметру із суттєвим зниженням урожайності пшениці в регіонах, де спостерігалися періоди інтенсивної спеки протягом вегетаційного сезону [25].

Виконаний в даному дослідженні аналіз статистичного зв'язку між урожайністю зернових культур (озима пшениця, ярий ячмінь, кукурудза) в Україні та кількістю днів з екстремальними температурами у весняний та літній сезони показав, що навесні переважає негативний взаємозв'язок у більшості областей, за винятком північних та східних районів (рис. 7, а).

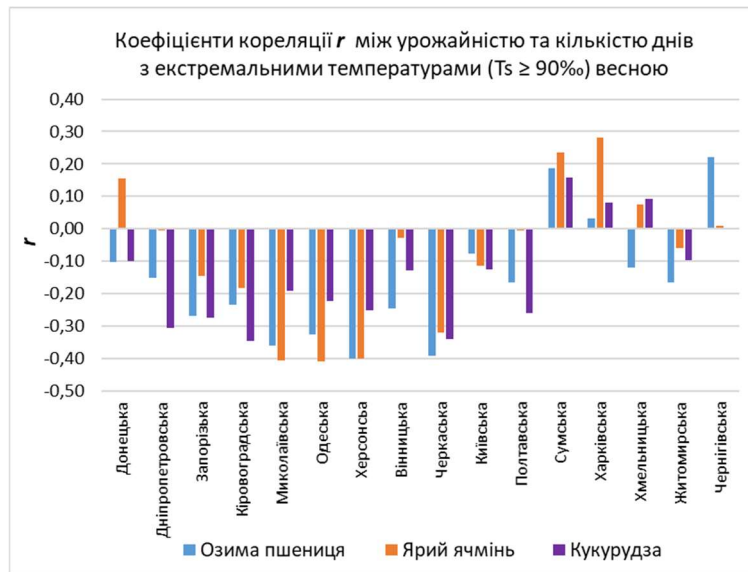
При цьому статистично значимі коефіцієнти кореляції (для 95 % рівня значущості) виявилися лише у південних і південно-західних областях. Тобто, загалом, підвищена повторюваність екстремально високих температур пригнічує

розвиток рослин, але в північних районах цей вплив може мати позитивний характер, можливо через більш швидкий прогрів ґрунту.

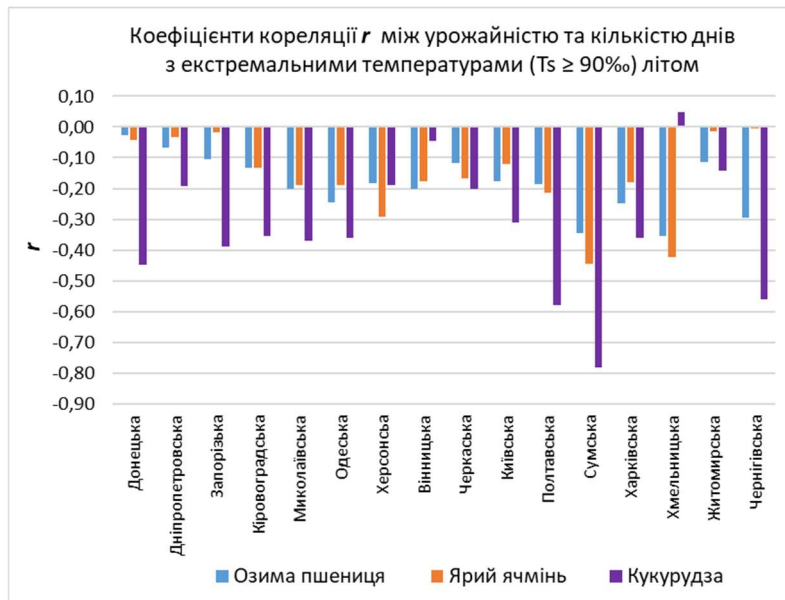
Повторюваність періодів екстремально високих температур влітку має помітний вплив переважно на урожайність кукурудзи (рис. 7, б), при цьому значущий статистичний зв'язок спостерігається у південно-східних, південно-західних та північних областях. Для озимої пшениці та ярого ячменя, які перебувають в літній період в останніх фазах свого фізіологічного розвитку, статистичний зв'язок урожайності з впливом періодів високих температур виявився слабким.

### 4. ВИСНОВКИ

Хвилі тепла є одним з небезпечних метеорологічних явищ, прояв яких почастишав в Європі на тлі глобальних кліматичних змін в останні десятиліття. Аналіз отриманих трендів повторюваності екстремально теплих днів, визначених за допомогою поверхневої температури  $T_s$ , та їх послідовних періодів тривалістю три та більше днів показав, що ці показники зростали протягом останніх 25 років в усіх областях України. Кількість екстремально теплих днів збільшилася в усі сезони року, при цьому в холодному сезоні цей процес особливо помітний в Лісостепу, а навесні – в степовій зоні. Найбільша кількість екстремально теплих днів в усіх агрокліматичних зонах України спостерігалася у 2020 р., переважно за рахунок значної повторюваності аномально високих температур в зимовий та осінній сезони. Повторюваність хвиль тепла також зростала по всій території країни, при цьому, починаючи з 2007 р. їх річна кількість досягала в середньому 8-10 випадків на рік, що вдвічі більше, ніж на початку досліджуваного періоду. Хвилі тепла спостерігалися в усі сезони року, але найбільш довгі притаманні для літа, коли їх тривалість в окремих випадках перевищувала два тижні. Збільшення кількості осінніх, та особливо зимових хвиль тепла свідчить про суттєві зміни регіональної циркуляції атмосфери над Європою в ці сезони року (наприклад, в [26]), внаслідок чого настають тривалі періоди стійкого переносу теплих повітряних мас на територію України із заходу або південного заходу.



а)



б)

**Рис. 7** – Кореляційний зв'язок між урожайністю зернових культур та кількістю днів з екстремальними температурами ( $T_s \geq 90\%$ ) по областях України а) весною (березень-травень), б) літом (червень-серпень)

**Fig. 7** – Correlation between the yield of cereal crops and the number of days with extreme temperatures ( $T_s \geq 90\%$ ) by regions of Ukraine in a) spring (March-May), b) summer (June-August)

В літній період основний внесок в утворення хвиль тепла належить блокуючим процесам, які супроводжуються встановленням малорухомого, високого антициклону, при цьому в останні десятиліття спостерігалися тренди до посилення антициклонічних процесів в літній та осінній період над Європою [27], що позначилося на збільшенні частоти появи аномально високих

температур в регіоні. Отримані результати свідчать, що збільшення кількості екстремально теплих днів весною має негативний вплив на урожайність таких культур як озима пшениця та ярий ячмінь, а літні хвилі тепла негативно впливають на урожайність кукурудзи в більшості областей України. Таким чином, врахування поточних та прогнозованих тенденцій

щодо динаміки екстремально високих температур над Європою, та Україною зокрема, може слугувати одним з дієвих механізмів адаптації суспільства і економічної діяльності до поточних та очікуваних змін клімату.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Masson-Delmotte V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.). Cambridge University Press. In Press.
2. Temperatures in Europe increase more than twice global average. Published 2 November 2022. Press Release Number: 02112022. URL: <https://public.wmo.int/en/media/press-release/temperatures-europe-increase-more-twice-global-average> (дата звернення 20.11.2022 р.)
3. Lhotka O., Kysely J. The 2021 European heat wave in the context of past major heat waves. *Earth and Space Science*. 2022. 9. e2022EA002567. <https://doi.org/10.1029/2022EA002567>
4. Europe continued to swelter in July. Copernicus Climate Change Service (C3S). URL: <https://climate.copernicus.eu/europe-continued-swelter-july> (дата звернення 18.11.2022 р.)
5. Shevchenko O., Lee H., Snizhko S., Mayer H. (2014). Long-term analysis of heat waves in Ukraine. *Int. J. Climatol.* 2014. 34. Pp. 1642-1650. <https://doi.org/10.1002/joc.3792>
6. Long-term analysis of thermal comfort conditions during heat waves in Ukraine. *Geographia Polonica* / Shevchenko O., Snizhko S., Zapototskyi S. et al. 2022. 95(1). <https://doi.org/10.7163/GPol.0226>
7. Biometeorological Conditions during the August 2015 Mega-Heat Wave and the summer 2010 Mega-Heat Wave in Ukraine / Shevchenko O., Snizhko S., Zapototskyi S., Matzarakis A. *Atmosphere*. 2022. 13(1). <https://doi.org/10.3390/atmos13010099>
8. Особливості динаміки хвиль тепла в окремих містах України / Сафранов Т., Катеруша Г., Катеруша О., Яраї К. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2021. 55. С. 232-244. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-17>
9. Smith T. T., Zaitchik B. F., Gohlke J. M. (2013). Heat waves in the United States: definitions, patterns and trends. *Climate Change*. 2013. Jun, 118 (3-4). Pp. 811-825. <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0659-2>
10. Evaluating the Sensitivity of Heat Wave Definitions among North Carolina Physiographic Regions / Puvvula J. et al. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2022. 19. <https://doi.org/10.3390/ijerph191610108>
11. A retrospective analysis of American football hyperthermia deaths in the United States / Grundstein A.J., Ramseyer C., Zhao F. et al. *Int. J. Biometeorol.* 2012. 56. Pp. 11–20. <https://doi.org/10.1007/s00484-010-0391-4>
12. Heat Waves and Health: Guidance on Warning System Development / Edited by G. McGregor. WMO-1142 Publisher: World Meteorological Organization, 2015. 95 p.
13. Шевченко О. Г., Сніжко С. І. Хвилі тепла та основні методологічні проблеми, що виникають при їх дослідженні. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2012. № 11. С. 101-108. URL: <https://uhmj.org.ua/index.php/journal/issue/view/11/11-2012-pdf> (дата звернення 25.11.2022 р.)
14. Jin M., Dickinson R. E. Land surface skin temperature climatology: benefitting from the strengths of satellite observations. *Environ. Res. Lett.* 2010. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/5/4/044004>
15. Prigent C., Aires F., Rossow W. B. Land surface skin temperatures from a combined analysis of microwave and infrared satellite observations for an all-weather evaluation of the differences between air and skin temperatures. *J. Geophys. Res.* 2003. 108(D10). 4310. <https://doi.org/10.1029/2002JD002301>
16. Geophysical Union / Ermida S.L. et al. 2019. 124. P. 844, <https://doi.org/10.1029/2018JD029354>
17. The Global Land Data Assimilation System / Rodell M. et al. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2004. 85(3). Pp. 381–394. <https://doi.org/10.1175/BAMS-85-3-381>
18. Sobrino J. A., Julien Y., García-Monteiro S. Surface Temperature of the Planet Earth from Satellite Data. *Remote Sens.* 2020. 12. <https://doi.org/10.3390/rs12020218>
19. Wang You-Ren, Hessen D.O., Samset B.H., Stordal F. Evaluating global and regional land warming trends in the past decades with both MODIS and ERA5-Land land surface temperature data. *Remote Sensing of Environment*. 2022. 280. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113181>
20. Держстат України. Сільське господарство. Рослинництво. Обсяг виробництва, урожайність та зібрана площа сільськогосподарських культур за їх видами по регіонах. URL: [https://ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu\\_u/cg.htm](https://ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/cg.htm) (дата звернення 22.11.2022 р.)
21. Полевой А. Н. Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур. Ленинград: Гидрометеиздат, 1983. 175 с.
22. Underappreciated plant vulnerabilities to heat waves / Breshears, D. D. et al. *New Phytol.* 2021. 231. Pp. 32-39. <https://doi.org/10.1111/nph.17348>
23. Zolotokrylin A. N. Dry winds, dust storms and prevention of damage to agricultural land. *Natural Disasters* / Edited by Kotlyakov V. M. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS): Paris, France, 2010. Vol. II. Pp. 1–18.
24. Effects of heat waves on soil temperatures in Slovenia / Pogačar T., Kajfež Bogataj L., Kuk R., Črepinšek Z. *Italian Journal of Agrometeorology*. 2022. 1. Pp. 41-48. <https://doi.org/10.36253/ijam-1388>
25. Assessing the Response of Satellite Solar-Induced Chlorophyll Fluorescence and NDVI to Impacts of Heat Waves on Winter Wheat in the North China Plain / Chenjie Xian et al. *Advances in Meteorology*. 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/8873534>

26. Trends in frequency and persistence of atmospheric circulation types over Europe derived from a multitude of classifications / Kučerová M., Beck C., Philipp A., Huth R. *Int. J. Climatol.* 2017. 37. Pp. 2502-2521. <https://doi.org/10.1002/joc.4861>
  27. (2015). Contribution of changes in atmospheric circulation patterns to extreme temperature trends / Horton, D., Johnson, N., Singh, D. et al. *Nature*. 2015. 522. Pp. 465–469. <https://doi.org/10.1038/nature14550>
- ## REFERENCES
1. Masson-Delmotte V. P. et al. (eds.). *IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. In Press.
  2. *Temperatures in Europe increase more than twice global average. Published 2 November 2022. Press Release Number: 02112022.* Available at: [https://public.wmo.int/en/media/press-release/temperatures-europe-increase-more-twice-global-averagep.\)](https://public.wmo.int/en/media/press-release/temperatures-europe-increase-more-twice-global-averagep.) (accessed 20.11.2022)
  3. Lhotka, O., & Kyselý, J. (2022). The 2021 European heat wave in the context of past major heat waves. *Earth and Space Science*, 9, e2022EA002567. <https://doi.org/10.1029/2022EA002567>
  4. *Europe continued to swelter in July. Copernicus Climate Change Service (C3S).* Available at: <https://climate.copernicus.eu/europe-continued-swelter-july> (accessed 18.11.2022)
  5. Shevchenko, O., Lee, H., Snizhko, S. & Mayer, H. (2014). Long-term analysis of heat waves in Ukraine. *Int. J. Climatol.*, 34, pp. 1642-1650. <https://doi.org/10.1002/joc.3792>
  6. Shevchenko, O. et al. (2022). Long-term analysis of thermal comfort conditions during heat waves in Ukraine. *Geographia Polonica*, 95 (1). <https://doi.org/10.7163/GPol.0226>
  7. Shevchenko, O., Snizhko, S., Zapototskyi, S. & Matzarakis, A. (2022). Biometeorological Conditions during the August 2015 Mega-Heat Wave and the summer 2010 Mega-Heat Wave in Ukraine. *Atmosphere*, 13(1). <https://doi.org/10.3390/atmos13010099>
  8. Safranov, T., Katerusha, H., Katerusha O. & Yaraei, K. (2021). Osoblyvosti dynamiky khvyli' tepla v okremykh mistakh Ukrayiny [Features of the dynamics of heat waves in selected cities of Ukraine]. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series "Geology. Geography. Ecology"*, 55, pp. 232-244. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-17> (in Ukr.)
  9. Smith, T.T., Zaitchik, B.F. & Gohlke, J.M. (2013). Heat waves in the United States: definitions, patterns and trends. *Climate Change*, Jun, 118 (3-4), pp. 811-825. <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0659-2>
  10. Puvvula, J. et al. (2022). Evaluating the Sensitivity of Heat Wave Definitions among North Carolina Physiographic Regions. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 19. <https://doi.org/10.3390/ijerph191610108>
  11. Grundstein, A.J., Ramseyer, C., Zhao, F. et al. (2012). A retrospective analysis of American football hyperthermia deaths in the United States. *Int. J. Biometeorol.*, 56, pp. 11–20. <https://doi.org/10.1007/s00484-010-0391-4>
  12. McGregor, G. (ed.) (2015). *Heat Waves and Health: Guidance on Warning System Development*. WMO-1142 Publisher: World Meteorological Organization.
  13. Shevchenko, O. & Snizhko, S. (2012). Khvyli tepla ta osnovni metodolohichni problemy, shcho vynykayut' pry yikh doslidzhenni [The heat waves main methodological problems, which appears during the research]. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, 11, pp. 101-108. Available at: <https://uhmj.org.ua/index.php/journal/issue/view/11/11-2012-pdf> (in Ukr.)
  14. Jin, M. & Dickinson, R.E. (2010). Land surface skin temperature climatology: benefitting from the strengths of satellite observations. *Environ. Res. Lett.*, 5. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/5/4/044004>
  15. Prigent, C., Aires, F. & Rossow, W.B. (2003). Land surface skin temperatures from a combined analysis of microwave and infrared satellite observations for an all-weather evaluation of the differences between air and skin temperatures. *J. Geophys. Res.*, 108(D10), 4310. <https://doi.org/10.1029/2002JD002301>
  16. Ermida, S.L. et al. (2019). Quantifying the Clear-Sky Bias of Satellite Land Surface Temperature Using Microwave-Based Estimates. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, American Geophysical Union, 124, p. 844, <https://doi.org/10.1029/2018JD029354>
  17. Rodell, M., P. et al. (2004). The Global Land Data Assimilation System. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 85(3), pp. 381–394. <https://doi.org/10.1175/BAMS-85-3-381>
  18. Sobrino, J.A., Julien, Y. & García-Monteiro, S. (2020). Surface Temperature of the Planet Earth from Satellite Data. *Remote Sens.*, 12. <https://doi.org/10.3390/rs12020218>
  19. Wang, You-Ren, Hessen, D.O., Samset, B.H. & Stordal, F. (2022). Evaluating global and regional land warming trends in the past decades with both MODIS and ERA5-Land land surface temperature data. *Remote Sensing of Environment*, 280. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113181>
  20. The State Statistics Service of Ukraine. Agriculture, forestry and fishing. Agriculture. Volume of production, yield and harvested area of agricultural crops by their types. Available at: [https://ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu\\_u/cg.htm](https://ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/cg.htm)
  21. Polevoy, A.N. (1983). *Teoriya i raschet produktivnosti sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Theory and calculation of the productivity of agricultural crops]*. Leningrad : Gidrometeoizdat. (in Russ.)
  22. Breshears, D.D. et al. (2021). Underappreciated plant vulnerabilities to heat waves. *New Phytol*, 231, pp. 32-39. <https://doi.org/10.1111/nph.17348>
  23. Zolotokrylin, A.N. (2010). Dry winds, dust storms and prevention of damage to agricultural land. In: Kotlyakov, V.M. (ed.). *Natural Disasters*. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS): Paris, France, vol. II, pp. 1–18.
  24. Pogačar, T., Kajfež Bogataj, L., Kuk, R. & Črepinšek, Z. (2022). Effects of heat waves on soil temperatures in Slovenia. *Italian Journal of Agrometeorology*, 1, pp. 41-48. <https://doi.org/10.36253/ijam-1388>
  25. Chenjie, Xian et al. (2020). Assessing the Response of

- Satellite Solar-Induced Chlorophyll Fluorescence and NDVI to Impacts of Heat Waves on Winter Wheat in the North China Plain. *Advances in Meteorology*, 2020, Article ID 8873534. <https://doi.org/10.1155/2020/8873534>
26. Kučerová, M., Beck, C., Philipp, A. & Huth, R. (2017). Trends in frequency and persistence of atmospheric circulation types over Europe derived from a multitude of classifications. *Int. J. Climatol.*, 37, pp. 2502-2521. <https://doi.org/10.1002/joc.4861>
27. Horton, D., Johnson, N., Singh, D. et al. (2015). Contribution of changes in atmospheric circulation patterns to extreme temperature trends. *Nature*, 522, pp. 465-469. <https://doi.org/10.1038/nature14550>

## THE CURRENT REGIME OF HEAT WAVES AND THEIR IMPACT ON THE YIELD OF CEREAL CROPS IN UKRAINE

I. G. Semenova<sup>1,2</sup>

*Odessa State Environmental University,  
15, Lvivska St., 65016, Odesa, Ukraine,*

*<sup>2</sup>Instituto Pirenaico de Ecología,  
Avda. Montañana, 1005, Zaragoza, Spain*

[in\\_home@ukr.net](mailto:in_home@ukr.net) <https://orcid.org/0000-0003-3383-4848>

Heat waves are one of the most dangerous meteorological phenomena, the manifestations of which have become more frequent in all regions of the globe in recent decades. Due to excessively high temperatures persisting for a long time, heat waves cause heat stress in living organisms and plants, and negatively affect various sectors of the national economy. Although the mechanism of heat wave formation is well known, the question of determining and predicting the intensity and duration of these processes in advance, as well as the areas of their propagation, remains open, including due to the lack of unified concept of a heat wave. This study analyzed the spatiotemporal distribution of extremely warm days and heat waves for the period 1996-2021 in 16 regions of Ukraine, where the production of the main agricultural crops (winter wheat, spring barley, corn) is concentrated. The analysis was performed using the surface skin temperature  $T_s$ , which contains information about the temperature of both the canopy and ground surface.

It was found that during the study period, the number of extremely warm days increased in all regions of the country and in all seasons of the year, with the most significant increase occurring in the last decade in winter and autumn. The warmest year was 2020, when the number of extremely warm days in some regions reached 100-106 per year. The frequency of heat waves at the end of the study period almost doubled compared to the beginning, reaching an average of 8-10 cases per year. The average seasonal frequency of heat waves was 4-5 cases in summer and 2-4 cases in other seasons. The longest heat waves lasting 17-19 days were recorded in all agro-climatic zones in August 2010. In other seasons, the maximum duration of heat waves did not exceed 10-14 days.

Statistical assessment of the relationship between the seasonal number of extremely warm days and the grain yield crops showed that an increase in these days in the spring leads to decrease in the yield crops of winter wheat and spring barley; in summer this negative impact is observed for corn.

**Keywords:** heat wave; extreme temperature; surface skin temperature; crop yield.

Подання до редакції : 02. 12. 2022  
Надходження остаточної версії : 13. 12. 2022  
Публікація статті : 27. 12. 2022

УДК 556.5:551.468.4

## РЕЗУЛЬТАТИ ГІДРОЛОГІЧНОГО, ГІДРОХІМІЧНОГО, ГІДРОБІОЛОГІЧНОГО ТА МЕДИКО-БІОЛОГІЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ

Ю. С. Тучковенко<sup>1</sup>, О. П. Гаркуша<sup>2</sup>, О. М. Гриб<sup>1</sup>, С. Г. Гуца<sup>3</sup>, Ю. М. Деньга<sup>4</sup>, К. С. Калашнік<sup>2</sup>,  
Х. О. Коєва<sup>3</sup>, В. М. Коморін<sup>4</sup>, О. В. Кошелев<sup>2</sup>, Г. Г. Мінічева<sup>2</sup>, Н. С. Лобода<sup>1</sup>, А. Л. Погребний<sup>3</sup>,  
Ю. В. Олейнік<sup>4</sup>, С. М. Степаненко<sup>1</sup>, О. І. Цуркан<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Одеський державний екологічний університет,  
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна,

[sience@odeku.edu.ua](mailto:sience@odeku.edu.ua), <https://orcid.org/0000-0003-3275-9065>

<sup>2</sup>Інститут морської біології НАН України, вул. Пушкінська, 37, 65048, Одеса, Україна,  
[imb@nas.gov.ua](mailto:imb@nas.gov.ua), <https://orcid.org/0000-0002-2550-5369>

<sup>3</sup>ДУ «Український науково-дослідний інститут медичної реабілітації та курортології МОЗ України»  
65014, м. Одеса, пров. Лермонтовський, 6,

[otsurkan75@gmail.com](mailto:otsurkan75@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-7816-5425>

<sup>4</sup>Український науковий центр екології моря (УкрНЦЕМ),  
Французький бульв. 89, 65009, Одеса, Україна,

[aceem@te.net.ua](mailto:aceem@te.net.ua), <https://orcid.org/0000-0002-4847-0496>

Куяльницький лиман належить до групи закритих лиманів північно-західного Причорномор'я і є унікальним водним об'єктом загальнодержавного значення, віднесеним до категорії лікувальних. Природні території Куяльницького лиману оголошені курортом державного значення і входять до території національного природного парку «Куяльницький».

Мета роботи полягала у викладенні результатів гідрологічного, гідрохімічного, гідробіологічного та медико-біологічного обстеження стану Куяльницького лиману та морської води з Одеської затоки в 2021 році, у порівнянні з попередніми роками для визначення умов функціонування природної системи лиману, забезпечення збереження та відновлення його природних ресурсів, попередження їх забруднення, засмічення і вичерпання, а також визначення змін стану природних ресурсів Куяльницького лиману в умовах штучного поповнення його морською водою з Одеської затоки та зміни гідроекологічних чинників що відбуваються.

Загальний висновок полягає у тому, що завдяки поповненню лиману морською водою в холодний період 2020-2021 рр., збільшенню кількості атмосферних опадів та зменшенню випаровування з водної поверхні лиману в 2021 р., рівень води в Куяльницькому лимані підвищився, внаслідок чого його гідроекологічний стан суттєво покращився порівняно з 2020 р., але через забруднення нафтовими вуглеводнями, окремими токсичними та поліциклічними ароматичними вуглеводнями якість води в 2021 році оцінюється як задовільна. Якість донних відкладів Куяльницького лиману в екологічному сенсі оцінюється як дуже погана через забруднення нафтовими вуглеводнями, хлорорганічними пестицидами та поліциклічними ароматичними вуглеводнями. Фізико-хімічний склад колоїдних дисперсій пелоїдів Куяльницького лиману практично не відрізняється від попередніх років. За показниками Eh (2017-2021 рр.) та pH (2020-2021 рр.) якість пелоїдів ділянки, яка експлуатується санаторієм, не відповідала установленим кондиціям та Медичному (бальнеологічному) висновку. Санітарно-мікробіологічний стан пелоїдів у 2021 р. покращився порівняно з 2020 р., але все ж таки був незадовільним. Характер біологічної активності пелоїдів за різні періоди досліджень корелює з коливаннями загальної мінералізації. З метою збереження унікального родовища природних лікувальних ресурсів Куяльницького лиману нагальним є питання підтримання мінералізації ропи на рівні не вище 250 г/дм<sup>3</sup>.

Актуальним залишається вирішення таких проблем, як зменшення мінералізації вод в лимані шляхом збільшення надходження до нього чистих прісних вод з різних джерел замість морської води, яка містить солі; запобігання надходженню до лиману забруднень від антропогенних джерел (зі стоком вод з водотоків, які впадають до Куяльницького лиману: скидного лотка з пересипу, балок Корсунцівська та Гільдендорфська та ін.).

**Ключові слова:** Куяльницький лиман; гідрологічне, гідрохімічне, гідробіологічне, медико-біологічне обстеження; сучасний стан.

## 1. ВСТУП

Куяльницький лиман належить до групи закритих лиманів північно-західного Причорномор'я і є унікальним водним об'єктом загальнодержавного значення, віднесеним до категорії лікувальних. Він має значні лікувальні (бальнеологічні), рекреаційні, туристичні природні ресурси, які становлять потужний потенціал для соціально-економічного розвитку Одеської агломерації і здатні чинити суттєвий позитивний вплив на розвиток рекреації, охорони здоров'я та економіки всієї країни [1, 2].

Постановою Кабінету міністрів України «Про затвердження переліку водних об'єктів, що відносяться до категорії лікувальних» № 1499 від 11.12.1996р. Куяльницький лиман включено до Переліку таких об'єктів. 5 грудня 2018 р. був прийнятий Закон України «Про оголошення природних територій Куяльницького лиману Одеської області курортом державного значення» та затверджені межі округу і зон санітарної охорони курорту Куяльник [3]. 1 січня 2022 р. відповідним Указом Президента України з метою збереження, відтворення, ефективного використання природних комплексів та об'єктів у басейні Куяльницького лиману, які мають особливу природоохоронну, оздоровчу, історико-культурну, наукову, освітню, естетичну цінність був створений національний природний парк «Куяльницький» [4, 5].

Поряд з тим, в останнє десятиріччя, через активну нерегульовану антропогенну (у тому числі водогосподарську) діяльність на водозборі Куяльницького лиману, посилення посушливості клімату, відсутність ефективної системи комплексного управління (інтегрованого управління природокористуванням за басейновим принципом), виникла загроза повного зникнення лиману та втрати запасів унікальних лікувальних грязей і ропи, а також своєрідної флори і фауни водойми. Обумовлено це катастрофічним обмілінням лиману на початку другого десятиріччя ХХІ століття, зменшенням як площі його водної поверхні, так і об'єму вод, і, як наслідок, збільшенням солоності ропи вище 300‰, припиненням процесу утворення лікувальних грязей [1, 6, 7].

Для запобігання загрозі повного висихання лиману та втрати його природних ресурсів, засоленню ґрунтів прилеглих до нього територій, в Одеській області були прийняті та діють Регіональні програми збереження та

відновлення водних ресурсів у басейні Куяльницького лиману на 2012-2018 та 2019-2023 рр. [8] (далі – Регіональні програми). В програмах було передбачено ряд заходів для забезпечення лиману прісною водою з водотоків басейну, покращення санітарно-епідемічного стану прибережних смуг водотоків та лиману, в тому числі виконання заходів щодо забезпечення санітарного режиму у зонах курорту державного значення. У якості екстреного тимчасового заходу (не більше, ніж на 4 роки – час виконання запланованих Регіональними програмами завдань) у грудні 2014 року була введена в експлуатацію водопропускна система, через яку Куяльницький лиман поповнюється морською водою з Одеської затоки в зимово-весняний період року. Хоча поповнення лиману морською водою, було необхідним і виправданим кроком для збереження його природних ресурсів, однак з приводу можливих негативних наслідків реалізації цього заходу для екосистеми і природних ресурсів Куяльницького лиману виникало багато дискусій і суперечок [9-13]. Шляхи вирішення проблеми стабілізації гідроекологічного режиму та збереження його природних ресурсів в контексті поповнення лиману морською водою з Одеської затоки обговорювались також в роботах [14-18].

З 2015 року, в межах реалізації заходів передбачених Регіональними програмами, для визначення поточного гідроекологічного стану ропи та донних відкладів екосистеми Куяльницького лиману в умовах поповнення його морською водою, у відповідності до затвердженої Програми досліджень низкою наукових організацій виконувалось комплексне гідрологічне, гідрохімічне, гідробіологічне та медико-біологічне обстеження стану Куяльницького лиману та морської води з Одеської затоки. Зокрема, у 2016-2018, 2020-2021 рр. Одеським державним екологічним університетом виконувались науково-дослідні роботи з гідрологічного обстеження, НДУ «Український науковий центр екології моря» – з гідрохімічного обстеження, ДУ «Інститут морської біології НАН України» – з гідробіологічного обстеження, а ДУ «Український науково-дослідний інститут медичної реабілітації та курортології МОЗ України» – з медико-біологічного обстеження лиману та морської води. У 2019 р. дослідження за відповідною Регіональною програмою не виконувались через відсутність коштів для їх фінансування.

*Мета роботи* полягає в аналізі результатів гідрологічного, гідрохімічного, гідробіологічного та медико-біологічного обстеження стану Куяльницького лиману та морської води з Одеської затоки в 2021 році, у порівнянні з попередніми роками, та визначення необхідних умов функціонування природної системи лиману, забезпечення збереження та відновлення його природних ресурсів, попередження їх забруднення, засмічення і вичерпання, а також визначення змін стану природних ресурсів Куяльницького лиману в умовах штучного поповнення його морською водою з Одеської затоки та зміни гідроекологічних чинників що відбуваються.

## 2. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Схема розташування станцій, на яких проводились спостереження за станом Куяльницького лиману, наведена на рис. 1. Використовуються такі позначення: станція М1 - Одеська затока пляж Лузанівка; станції в лимані: Р1 - біля санаторію, Р2 - ділянка старого солепромислу, Р3 - створ балки Гільдендорфська (біля с. Красносілка), Р4 - створ річки Кубанка, Р5 - с.Ковалівка, ділянка ЛЕП; станції в гирлах приток до лиману: П1 - скидний (залізобетонний) лоток зі ставків пересипу, який призначений для відведення дренажно-зливових вод в Куяльницький лиман з прилеглої до Об'їздної дороги території та ставків пересипу; П2 - скидний лоток з ВНС № 5 (лоток для скидання технічних вод з водогінної системи ВНС № 5 ОФ «Інфоксводоканал»); П3 - балка Корсунцівська; П4 - балка Гільдендорфська; П5 - річка Кубанка; П6 - річка Великий Куяльник; станції оцінки безпечності та якості ропи і пелоїдів лиману: Т1 - район лікувальних грязей (пелоїдів), що експлуатується ("курорт Куяльник"), в якому спостереження виконувались на 2-х ділянках затверджених запасів лікувальних грязей Куяльницького родовища Т1' (46°34'14" пн.ш., 30°44'16" сх.д.) та Т1'' (46°34'43" пн.ш., 30°44'57" сх.д.); Т2 - центральна ділянка Куяльницького лиману (с. Кубанка).

Для аналізу багаторічних коливань рівня води в лимані використовувались дані регулярних спостережень на водомірному посту «лиман Куяльницький - Одеса» розташованому в південній частині водойми на ділянці санаторію Куяльник.

Опис методик, за якими виконувались спостереження, наведені у відповідних томах звіту з наукових досліджень гідроекологічного режиму і стану Куяльницького лиману та морської води з Одеської затоки, виконаних у 2021 році [19-22].

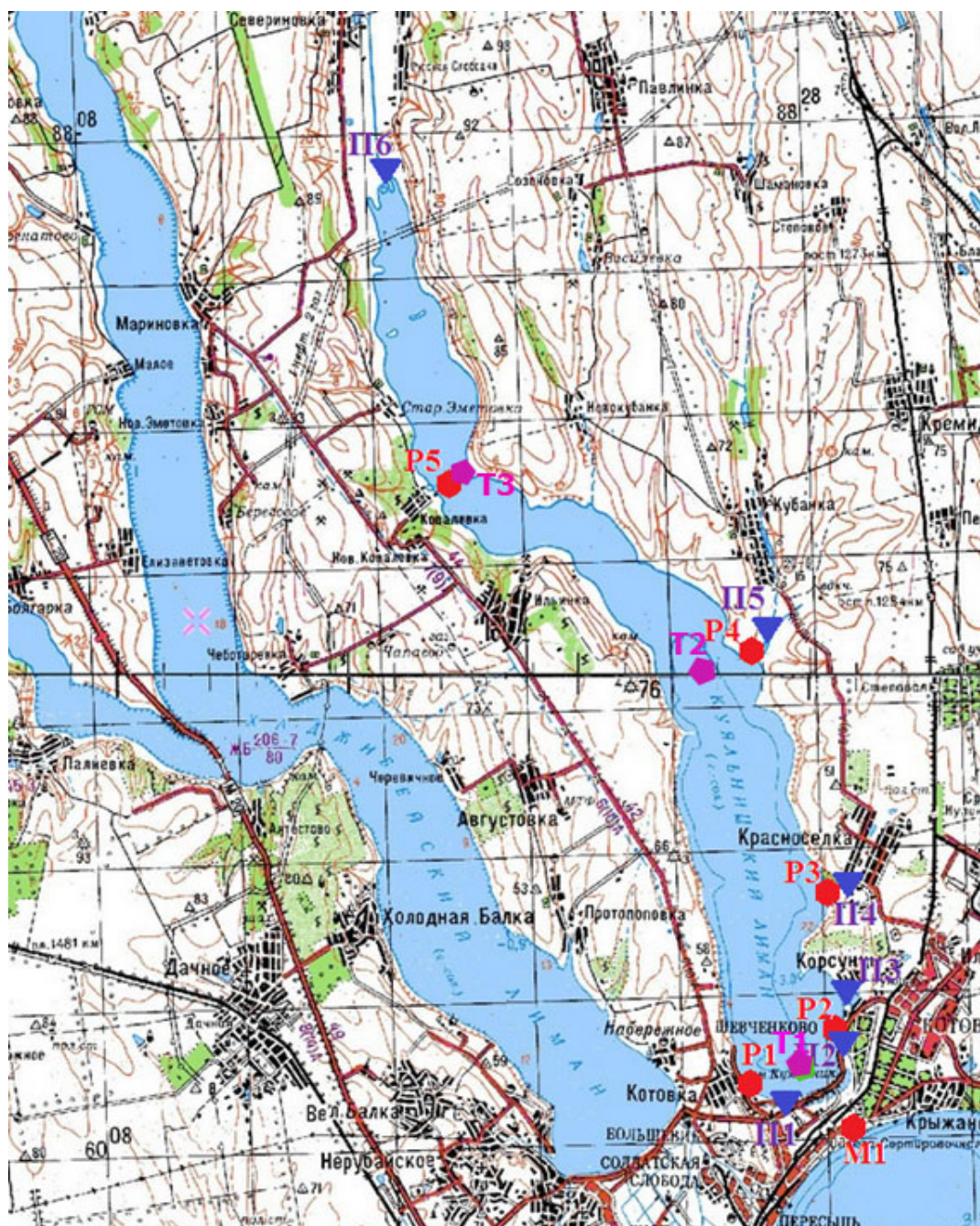
## 3. РЕЗУЛЬТАТИ ГІДРОЛОГІЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ ЛИМАНУ

Однією з найважливіших характеристик Куяльницького лиману, яка визначає наявний об'єм вод у лимані та мінералізацію його вод, є рівень води. Його коливання на річному і міжрічному часових масштабах визначаються об'ємами надходження морських вод через трубопровід, атмосферних опадів на поверхню лиману та випаровування з неї, припливу прісних вод з водозбору по водотоках.

На рис. 2 представлена багаторічна мінливість середньомісячних, максимальних і мінімальних за місяць позначок рівня води в лимані за період 2010-2021 рр., а на рис. 3 - мінливість середньорічних, найвищих та найнижчих за рік рівнів води Куяльницького лиману за цей же період. Видно, що з 2015 р. рівень води в Куяльницькому лимані зростав до 2018 р. включно. Середньорічний рівень води в лимані у 2018 р. був на 45 см вищий ніж у 2014 р. Найвищий рівень води в лимані в цей рік було виміряно 21 квітня (мінус 5,76 м БС) і в порівнянні з 2010-2014 рр. він був найбільшим.

Далі тенденція підвищення середньорічного рівня води в лимані змінилася його спадом протягом дуже посушливих 2019-2020 рр., з найменшою за період 2010-2021 рр. річною кількістю опадів (рис. 4). Так, загальна сума атмосферних опадів за 2019-2020 роки складає лише 500,3 мм, що, наприклад, на 87,3 мм менше ніж за лише один 2010 р. або на 53,9 мм - ніж за 2016 р. В середньому, річний шар атмосферних опадів, що випали на поверхню лиману в ці роки, був на 38 % меншим ніж у попередні чотири роки (2015-2016 рр.).

У 2021 р., через значне збільшення річної кількості атмосферних опадів (476,9 мм порівняно з 253,8 мм у 2020 р.) та продовження наповнення лиману морською водою в холодний період року, рівень води в лимані знову почав підвищуватись і середньорічна його позначка зрівнялась з тою, що була у 2019 р.



**Умовні позначення:**

- – основні станції в прибережних ділянках лиману та прибережній частині моря;
- – main stations along the coastal areas of the estuary and the coastal part of the sea;
- – станції оцінки безпеки та якості ропи і пелюїдів лиману;
- – stations for evaluating safety and quality of the estuary's brine and peloids;
- ▼ – додаткові пункти вимірювань на річках, балках та інших притоках лиману за наявності в них стоку;
- ▼ – additional measurement points on rivers, gullies and other tributaries of the estuary in case of runoff presence therein

**Рис. 1** – Схема розташування станцій, на яких проводились спостереження за станом Куяльницького лиману

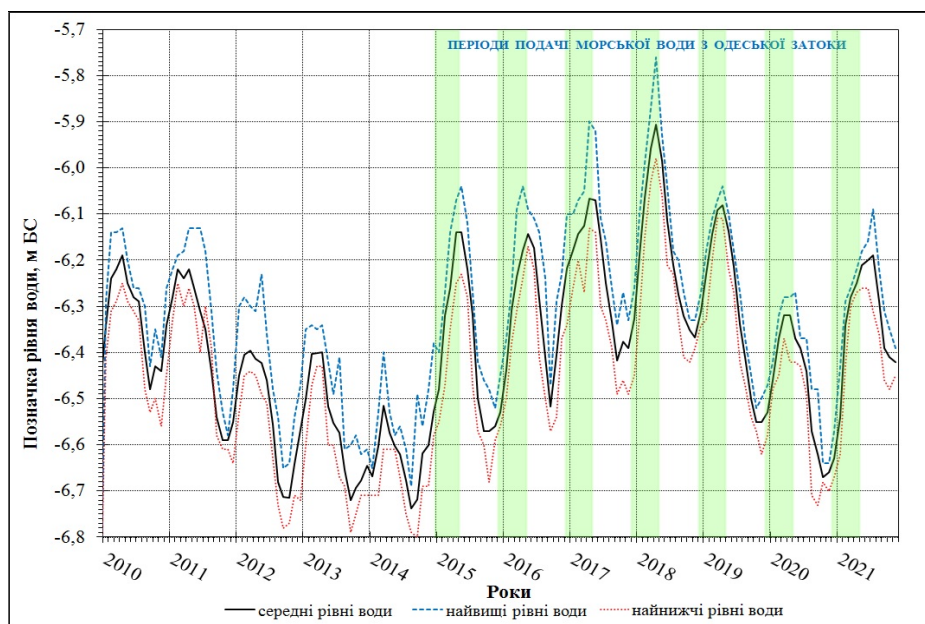
**Fig. 1** – Layout of the stations where the condition of the Kuialnyk Estuary was monitored

За результатами розрахунків складових водного балансу лиману встановлено, що в продовж 2021 р. середньомісячний рівень води в лимані збільшився на 0,12 м (з позначки мінус 6,54 м БС – у січні, до позначки мінус 6,42 м БС

– у листопаді). За цей же період середньорічний рівень води в лимані становив мінус 6,31 м БС, найвищий – мінус 6,09 м БС, найнижчий – мінус 6,62 м БС. Зростання рівня води в лимані відбулося за рахунок того, що в 2021 р. втрати

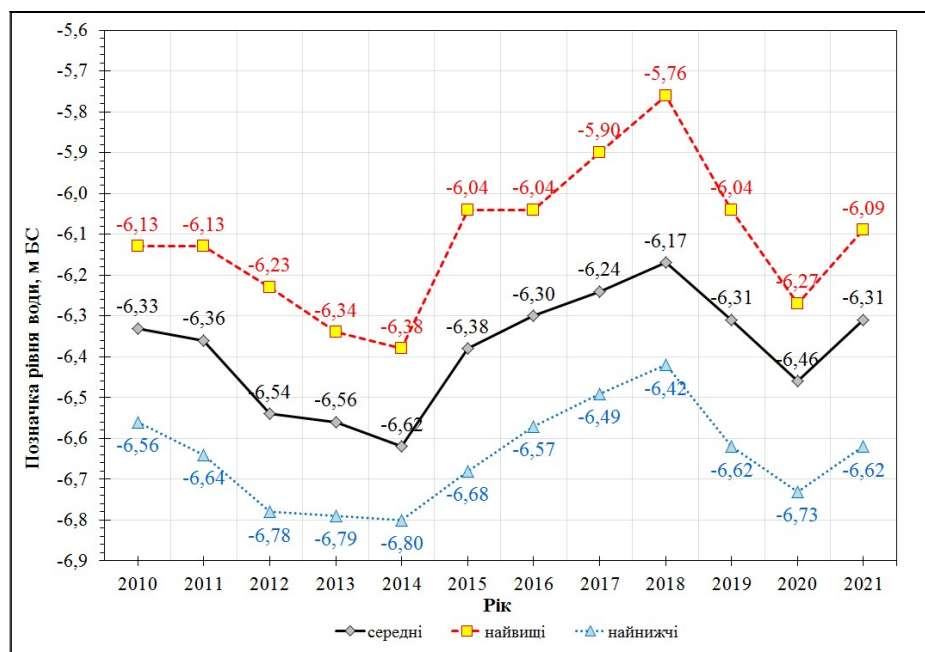
води на випаровування (22,7 млн. м<sup>3</sup>) з водної поверхні лиману (площа якої в середньому за рік дорівнювала 41,5 млн. м<sup>2</sup>) були на 15,0 млн. м<sup>3</sup> менші ніж об'єм надходження води до лиману

(37,7 млн. м<sup>3</sup>, з них: 52,5% або 19,8 млн. м<sup>3</sup> – атмосферні опади; 27,6% або 10,4 млн. м<sup>3</sup> – морська вода; 19,9% або 7,5 млн. м<sup>3</sup> – вода інших приток лиману).



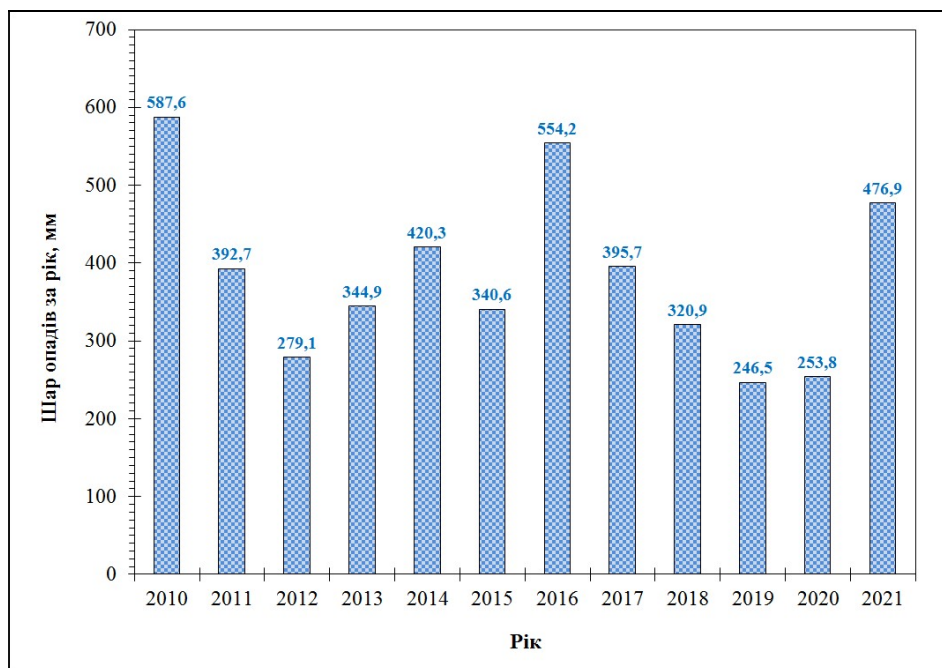
**Рис. 2** – Мінливість середніх, найвищих та найнижчих за місяць рівнів води Куяльницького лиману (за даними водомірного поста «лиман Куяльницький – Одеса») за період 2010-2021 рр.

**Fig. 2** – Variability of the average, highest and lowest monthly water levels of the Kuialnyk Estuary (according to the data of the Kuialnyk Estuary-Odesa water measuring station) for the period of 2010-2021



**Рис. 3** – Мінливість середньорічних, найвищих та найнижчих за рік рівнів води Куяльницького лиману (за даними водомірного поста «лиман Куяльницький – Одеса») за період 2010-2021 рр.

**Fig. 3** – Variability of the average, highest and lowest yearly water levels of the Kuialnyk Estuary (according to the data of the Kuialnyk Estuary-Odesa water measuring station) for the period of 2010-2021



**Рис. 4** – Мінливість річних сум атмосферних опадів в районі Куяльницького лиману (за даними метеорологічного поста «лиман Куяльницький – Одеса») за період 2010-2021 рр.

**Fig. 4** – Variability of the annual rainfall near the Kuialnyk Estuary (according to the data of the Kuialnyk Estuary-Odesa meteorological station) for the period of 2010-2021

Зауважимо, що за результатами гідрологічних обстежень в жовтні-листопаді 2021 р. приплив води з річок Кубанка і Великий Куяльник у центральну та північну частини лиману дорівнював нулю, а русла в гирлах цих річок були пересохлі. Приплив води відбувався лише в південно-східну (з балок Корсунцівська і Гільдендорфська та скидного лотка з ВНС № 5) і південно-західну (зі скидного лотка з пересипу) частини лиману. Витрати води, виміряні у скидному лотку з пересипу дорівнювали 0,030-0,040 м<sup>3</sup>/с, у скидному лотку з ВНС № 5 – 0,001-0,002 м<sup>3</sup>/с, в гирлі б. Корсунцівська – 0,003 м<sup>3</sup>/с, в гирлі б. Гільдендорфська – 0,001 м<sup>3</sup>/с. Отже, у жовтні-листопаді 2021 р. приплив води відбувався головним чином в південну частину лиману (середній сумарний добовий об'єм – до 3,63 тис. м<sup>3</sup>), а стік річок і балок у північну та середню частини лиману під час обстежень майже дорівнював нулю (добовий об'єм стоку б. Гільдендорфська – не більше 90 м<sup>3</sup>).

В цілому, рівні води в лимані за умови періодичної подачі морської води (2015-2021 рр.) були значно вищі ніж в період до початку штучної подачі морської води в лиман (2010-2014 рр.), а саме: середні рівні – на 17 см, найвищі рівні – на 37 см, найнижчі рівні – на 12 см. В таблиці 1 представлені оцінки річних об'ємів морської води, яка надійшла з моря до

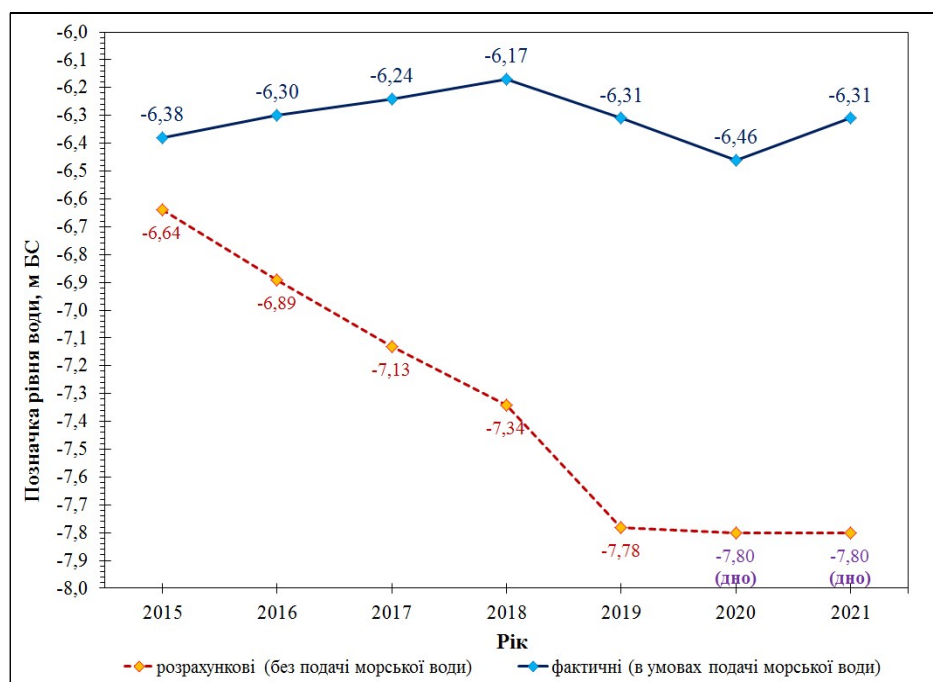
лиману, та відповідних прирощень рівня моря. З рис. 5 видно, що при відсутності подачі морської води у 2015-2021 рр. середній рівень води в лимані, починаючи з 2020 р., дорівнював би позначці найнижчої точки дна водойми (мінус 7,80 м БС), тобто лиман був би переважно пересохлим. Всього, в період з 2015 по 2021 рр. за рахунок подачі морської води лиман додатково поповнився на 82,5 млн. м<sup>3</sup>, а прирощення рівня води в лимані склало більше 2,0 м.

За даними вимірювань мінералізації води в лимані (визначеної за прожареним залишком розчинених речовин у воді, тобто за вмістом лише неорганічних речовин) у жовтні-листопаді 2021 р. встановлено, що середня мінералізація води дорівнювала значенню 226,7 г/дм<sup>3</sup>. Найменша мінералізація води була спостережена в північній частині водойми (173,0 г/дм<sup>3</sup>), найбільша – в середній (250,2 г/дм<sup>3</sup>), а в південній – майже дорівнювала середньому в лимані значенню (230,1 г/дм<sup>3</sup>).

При порівнянні середньої величини мінералізації води в лимані у жовтні-листопаді 2021 р. з середніми значеннями мінералізації води за минулі роки (включно з першим роком поповнення лиману морською водою та останнім роком до його початку) встановлено, що вона була приблизно на 1 г/дм<sup>3</sup> менша ніж до початку

**Таблиця 1** – Річні об'єми морських вод, які надійшли до лиману через трубопровід, та відповідні прирощення рівня води в Куяльницькому лимані**Table 1** – Annual volumes of seawater entering the estuary through the pipeline and corresponding increments to the water level in the Kuialnyk Estuary

| Роки                                           | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
|------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Об'єм морських вод, млн.м <sup>3</sup>         | 10,0 | 13,7 | 13,0 | 13,0 | 12,5 | 10,6 | 12,3 |
| Середня площа водної поверхні, км <sup>2</sup> | 38,8 | 41,6 | 43,8 | 45,7 | 41,4 | 35,5 | 41,4 |
| Прирощення рівня, м                            | 0,26 | 0,33 | 0,30 | 0,28 | 0,3  | 0,3  | 0,25 |

**Рис. 5** – Мінливість фактичних (в умовах подачі морської води) та розрахункових (без подачі морської води) середньорічних рівнів води Куяльницького лиману за період з 2015 по 2021 рр.**Fig. 5** – Variability of actual (in case of seawater supply) and estimated (without seawater supply) average yearly water levels of the Kuialnyk Estuary for the period from 2015 to 2021

подачі морської води в лиман у грудні 2020 р. (228 г/дм<sup>3</sup>), дорівнювала величині мінералізації води у жовтні-листопаді 2018 р. (227 г/дм<sup>3</sup>), але була на 11 г/дм<sup>3</sup> більша ніж у жовтні-листопаді 2017 р. (216 г/дм<sup>3</sup>), на 18 г/дм<sup>3</sup> – ніж у жовтні-листопаді 2016 р. (209 г/дм<sup>3</sup>), на 25 г/дм<sup>3</sup> – ніж у листопаді 2015 р. (202 г/дм<sup>3</sup>), на 35 г/дм<sup>3</sup> – ніж до початку запуску морської води у грудні 2014 р. (192 г/дм<sup>3</sup>).

Слід зазначити, що під час гідрологічних обстежень у жовтні-листопаді 2021 р. на дні лиману не було виявлено кірки нерозчиненої солі, яка спостерігалась протягом другої половини 2020 р.

Для оцінки можливих середньорічних значень мінералізації води лиману за умови відсутності подачі морської води в 2015-2021 рр. використовувалась формула [23]:

$$M = 0,65 \cdot \exp(-0,92 \cdot H),$$

де  $M$  – середньорічна мінералізація води в лимані, г/дм<sup>3</sup>;  $H$  – середньорічний рівень води, м БС. Якщо розрахункове значення мінералізації води було більше 420 г/дм<sup>3</sup>, то приймалось, що надлишок розчинених солей кристалізується і переходить (випадає) в осад на дно лиману, а мінералізація води дорівнює 420 г/дм<sup>3</sup>.

**Таблиця 2** – Середньорічні значення рівнів і мінералізації води в лимані в умовах подачі морської води та при її відсутності  
**Table 2** – Average yearly values of the estuary's water levels and mineralization under the conditions of seawater supply and its absence

| Рік  | В умовах подачі морської води<br>(виміряні або фактичні) |                      | За відсутності подачі морської води |                       |
|------|----------------------------------------------------------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|
|      | Н, м БС                                                  | М, г/дм <sup>3</sup> | Н, м БС                             | М', г/дм <sup>3</sup> |
| 2010 |                                                          |                      | -6,33                               | 219,8                 |
| 2011 |                                                          |                      | -6,36                               | 226,0                 |
| 2012 |                                                          |                      | -6,54                               | 266,7                 |
| 2013 |                                                          |                      | -6,56                               | 271,6                 |
| 2014 |                                                          |                      | -6,62                               | 287,0                 |
| 2015 | -6,38                                                    | 176                  | -6,64                               | 292,0                 |
| 2016 | -6,30                                                    | 181                  | -6,89                               | 368,0                 |
| 2017 | -6,24                                                    | 190                  | -7,13                               | 420↓ <sup>1</sup>     |
| 2018 | -6,17                                                    | 225                  | -7,34                               | 420↓ <sup>1</sup>     |
| 2019 | -6,31                                                    | 290                  | -7,78                               | 420↓ <sup>1</sup>     |
| 2020 | -6,46                                                    | 290                  | прсх <sup>2</sup>                   | — <sup>3</sup>        |
| 2021 | -6,31                                                    | 288                  | прсх <sup>2</sup>                   | — <sup>3</sup>        |

Примітки:

<sup>1</sup> – умовне позначення (420↓) означає, що надлишок розчинених солей кристалізується і переходить (випадає) в осад на дно лиману, а мінералізація води прирівнюється до 420 г/дм<sup>3</sup>;

<sup>2</sup> – умовне позначення (прсх) означає, що ложе лиману сухе (без води), а позначка найнижчої точки дна лиману дорівнює мінус 7,80 м БС;

<sup>3</sup> – умовне позначення (—) означає, що вся соль кристалізувалася і знаходиться на дні лиману, тому що ложе лиману сухе або без води.

За результатами розрахунків представлених у табл. 2 можна зробити висновок, що у разі відсутності подачі морської води до лиману, починаючи з 2017 р. мінералізація води досягла б значення 420 г/дм<sup>3</sup>, а надлишок розчинених солей кристалізувався і почав переходити (випадати) в осад на дно лиману. В цих умовах суттєво збільшилася би вірогідність гіпсування донних відкладів.

Однак, за умов подачі морської води до лиману, яка фактично відбувалася у 2014-2021 рр., значення мінералізації є набагато меншими ніж в умовах її відсутності. Навіть після двох поспіль посушливих і маловодних 2019 - 2020 років, найбільша мінералізація води у жовтні-листопаді 2021 р. (серед виміряних ОДЕКУ в різних частинах лиману) становила лише 288 г/дм<sup>3</sup>.

#### 4. РЕЗУЛЬТАТИ ГІДРОХІМІЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ ЛИМАНУ

Аналіз зміни характеристик гідрохімічного стану Куяльницького лиману виконувався із залученням наявних даних спостережень за жовтень-грудень 2018 р. (коли рівень води в лимані був найвищим з початку поповнення його морською водою), грудень 2020 року (коли рівень води в лимані був найнижчим з початку поповнення його морською водою) та жовтень-листопад 2021 р.

Оцінку якості води та донних відкладів лиману проводили в порівнянні з екологічними нормативами (ЕН) якості морського середовища [24].

**Вода лиману.** Дослідженнями встановлено, що ропа Куяльницького лиману, не зважаючи на малі глибини в лимані та відносно знижену температуру води під час моніторингу, мало

насичена киснем (від 2 до 5 разів менше за морську воду), що є наслідком занадто високого рівня мінералізації води. В жовтні-листопаді 2021 року вміст розчиненого кисню в водах лиману коливався в межах 1,51-2,88 мг/дм<sup>3</sup>. Низький рівень БПК<sub>5</sub> (0.06-1.79 мг/дм<sup>3</sup>) характеризує низький рівень біологічної активності як внаслідок зниженої температури води, так і внаслідок непридатності занадто мінералізованої води для розвинення біологічних об'єктів. Рівень рН в ропі Куяльницького лиману нижчий ніж в морській, що характеризує ропу як середовище зі зниженим рівнем фотосинтезу.

На рис. 6 представлена динаміка концентрацій біогенних речовин у воді лиману у вищевказані місяці 2018, 2020 та 2021 рр. Звертають на себе увагу такі особливості їх мінливості у вказані роки. Середні концентрації фосфору мінерального в 2021 році були значно більші ніж в попередні роки, а органічного фосфору – були найбільші в 2020 р., а в 2021 році зменшились майже до рівня 2018 року. Максимальні концентрації мінерального фосфору спостерігались в районі Ковалівки (станція Р5) в 2021 р. – більше 0,8 мг/дм<sup>3</sup>, а органічного фосфору в 2020 р. – 2,4 мг/дм<sup>3</sup>.

Мінімальні концентрації мінерального азоту в водах Куяльницького лиману спостерігались у грудні 2020 р. У 2021 максимальні найбільші його концентрації (близько 1,2 мг/дм<sup>3</sup>) були зафіксовані на станції Р2 (дамба, оголовок) в листопаді. По концентраціях органічного азоту спостерігається незначне їх зростання з 2018 по 2021 роки. Максимальні концентрації органічного азоту в 2021 році спостерігались на станції Р5 (Ковалівка, ЛЕП) – 15,0 мг/дм<sup>3</sup> в жовтні та 12,5 мг/дм<sup>3</sup> в листопаді. Необхідно відзначити, що вміст органічного азоту в лимані значно превалює над його мінеральною формою і складає більше 90% від загального азоту.

Концентрації кремнію в 2020 та 2021 роках знизились у порівнянні з 2018 роком і на всіх станціях в лимані не перевищували 1 мг/дм<sup>3</sup>.

Стабільним джерелом надходження біогенних речовин до Куяльницького лиману є водотік зі скидного лотка з пересипу (П1).

В 2018, 2020 роках та в жовтні 2021 року максимальні концентрації органічного вуглецю (С<sub>орг</sub>) у воді лиману фіксувались біля станції Р1 (санаторій Куяльник) і досягали 16,5 мг/дм<sup>3</sup>. Це пояснюється підвищенням його вмістом у водотоці зі скидного лотка з пересипу (станція П1) який, за відсутності інших джерел наповнення Куяльницького лиману у вказаному

районі, впливає на концентрацію С<sub>орг</sub> в водах прилеглої ділянки лиману. Але в листопаді 2021 року, максимальні концентрації С<sub>орг</sub> (16,3 мг/дм<sup>3</sup>) фіксувались біля станції Р5 (Ковалівка, ЛЕП). Можливо під час дощів в цьому районі стався змив органічної речовини до Куяльницького лиману. Середні показники концентрацій С<sub>орг</sub> в 2021 році знаходились на рівні 2018 року.

В 2021 році, так саме як і в 2018 та 2020 роках, концентрації головних іонів (натрію, хлоридів, магнію і сульфатів) в ропі лиману на порядок перевищували їх значення у воді Одеської затоки. У воді лиману середні концентрації іонів натрію зросли відносно 2018 та 2020 років; іони кальцію, магнію, гідрокарбонатів знаходяться на рівні 2018 та 2020 років, концентрації калію, сульфатів, хлоридів, карбонатів знизились. Концентрації карбонатів у ропі лиману в 2018, 2020 та 2021 роках були нижчими, ніж у морській воді. Концентрації гідрокарбонатів на всіх станціях Куяльницького лиману в 2021 році були нижчими за концентрації, які спостерігались у грудні 2020 року, та знаходяться на рівні з таким же періодом 2018 року.

Запуск морської води не погіршує гідрохімічний стан лиману, оскільки ропи і морська вода належать до одного типу вод – хлоридно-натрієвих.

Насичення води Куяльницького лиману сульфатом кальцію більше 100% в жовтні та листопаді 2021 року не спостерігалось, але осадження гіпсу могло відбутися в літні місяці. Середній рівень насиченості сульфатом кальцію води Куяльницького лиману в 2021 році знаходився на рівні 2018 року. Але зафіксовано зростання насиченості сульфатом кальцію води Куяльницького лиману на станціях Р1, Р3 відносно спостережень за той же період 2020 року (рис. 7).

Результати аналізу вмісту токсичних металів у воді показали, що в ропі Куяльницького лиману миш'як (As) і свинець (Pb) знаходяться в дуже малих концентраціях, а мідь (Cu), цинк (Zn) і залізо (Fe) превалюють над іншими. Рівень концентрацій хрому (Cr) та цинку (Zn) з 2018 року зростає, а ртуті (Hg) та кадмію (Cd), навпаки, зменшується.

В 2021 році на станціях в лимані зафіксовані перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) для морських вод [20, 24, 25]: Cu – на всіх станціях від 4,43 рази до 33,7 разів; Cr – на станції Р4 в 1,128 рази; Zn – на станції Р1 в 1,08 рази; Fe на станціях Р1

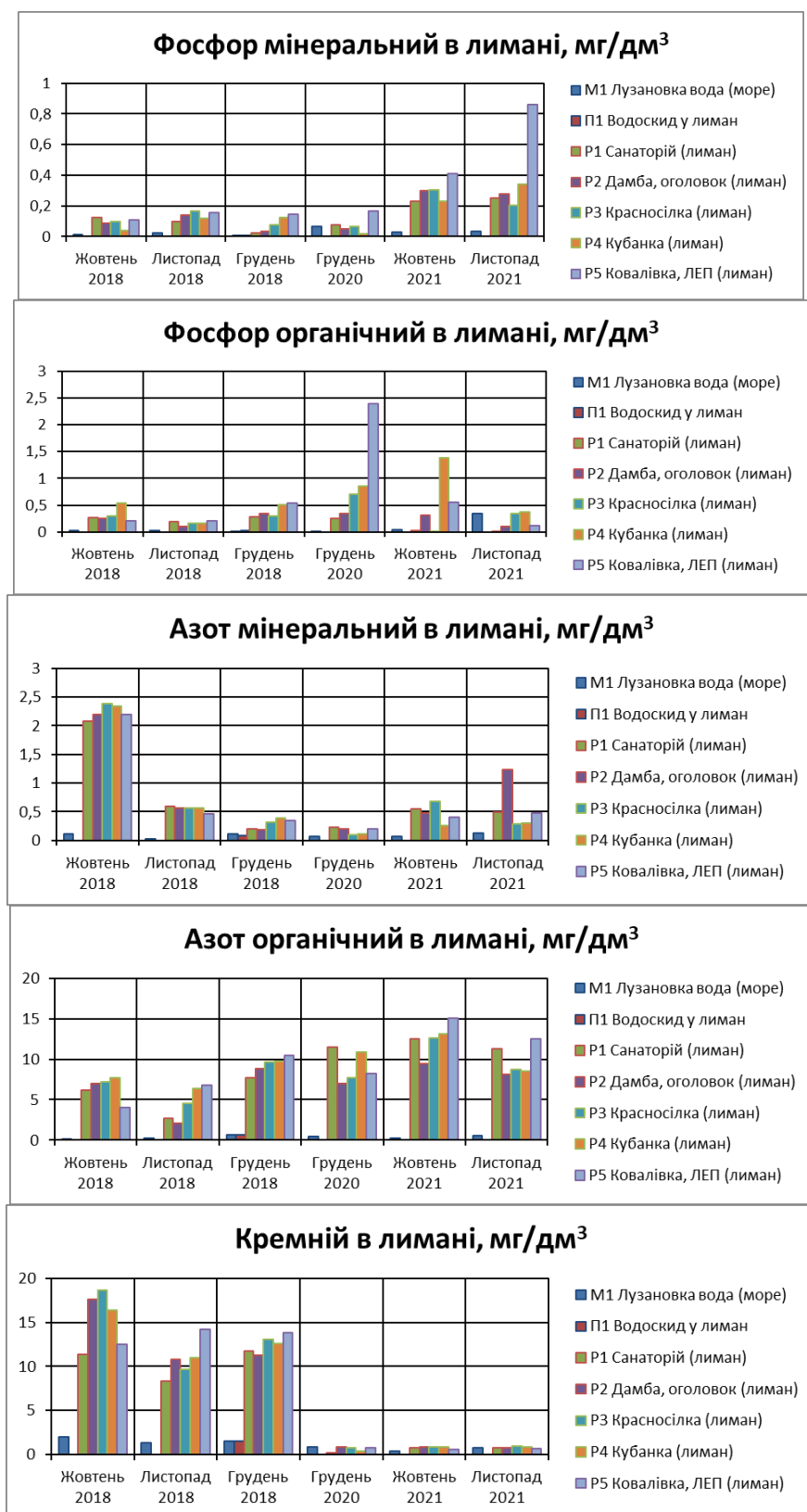
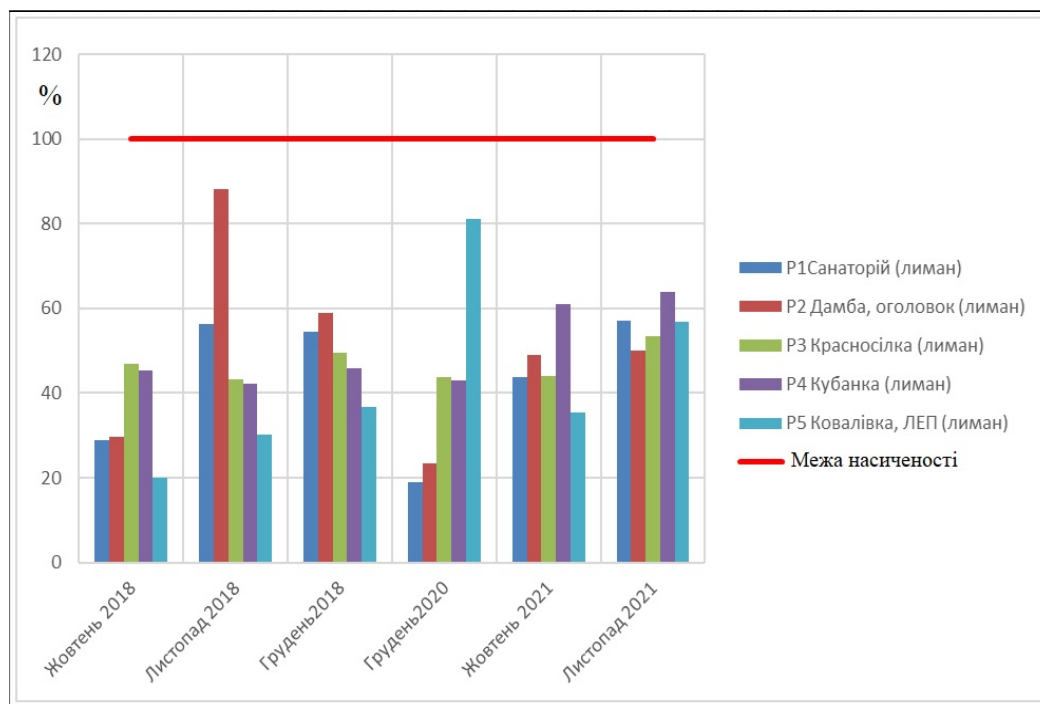


Рис. 6 – Мінливість концентрації біогенних речовини у водах Куяльницького лиману в періоди вимірювань 2018, 2020 та 2021 років

Fig. 6 – Variability of concentration of nutrients in the water of the Kuialnyk Estuary during the measurement periods of 2018, 2020 and 2021



**Рис. 7** – Насичення сульфатом кальцію води Куяльницького лиману (%) на станціях спостереження у 2018, 2020 та 2021 рр.  
**Fig. 7** – Calcium sulfate saturation of the Kuialnyk Estuary's water (%) measured at the monitoring stations in 2018, 2020 and 2021

в 1,32 рази, P2 в 4,5 рази, P3 в 6,78 рази, P4 в 4,7 рази.

Також зафіксовано перевищення ГДК у водотоках до лиману на станціях П1 (зі скидного лотка з пересипу) та П3 (Корсунці): для Cu в 14,2 та 6,9 разів, відповідно; Cr – в 3,16 та 3,38 рази; Fe – в 1,52 рази та в 3,98 рази.

На морській станції спостереження (М1, Лузанівка) відмічались перевищення ГДК по Zn в 1,12 рази.

У році лиману концентрації більшості хлорорганічних сполук (зокрема, ДДТ, ГХЦГ, дільдрін, Ar-1254) досягали свого максимуму в 2020 році. Максимальна їх концентрація, яка в багато разів перевищувала фонові значення, спостерігалась на станції P2 (дамба оголовок). В 2021 році концентрації хлорорганічних сполук значно зменшилися і наблизилися до рівня 2018 року. На всіх станціях спостережень (в морській воді, ріпі Куяльницького лиману та в водотоках) в 2021 році зафіксовані перевищення ЕН [24] по концентрації ліндану в 1,65 - 3,2 рази.

Рівень забруднення вод лиману поліциклічними ароматичними вуглеводнями (ПАВ) у 2021 році зменшився, порівняно з 2020 роком, але залишився вищим, ніж в ті ж місяці 2018 року. У 2021 р. зафіксовані перевищення ЕН концентраціями ПАВ: за бензо (ghi) періленом на станції P1 (Санаторій) в 1,46 рази,

Індено(1,2,3-cd)піреном на станції P1 (Санаторій) в 1,04 рази: фенантеном в морській воді в 1,58 рази. Забрудненню ріпи лиману ПАВ сприяє їх надходження з водами водотоків. В 2020 році концентрація ПАВ в водах водотоків Куяльницького лиману була вищою, ніж в 2021 році, що відповідно відобразилось на рівні забруднення ріпи лиману. Такий залежності рівня забруднення ріпи лиману ПАВ від водотоків, навіть з малим об'ємом їхнього стоку води, сприяє погана розчинність ПАВ в воді (їх осад в донні відклади) та відсутність достатньої кількості чистої води для розбавлення у водотоках.

На всіх станціях Куяльницького лиману та у водотоках у 2021 році зафіксоване перевищення ГДК у воді по сумі нафтових вуглеводнів (НВ).

**Донні відклади лиману.** Результати аналізу токсичних металів в донних відкладах в 2018, 2020 та 2021 роках показали, що їх забруднення токсичними металами на всіх станціях спостережень незначне і не перевищувало ЕН для морських донних відкладів [24]. Порівняно з 2018 та 2020 роками в 2021 році середній рівень концентрацій миш'яку (As), ртуті (Hg) і заліза (Fe) дещо підвищилися; свинцю (Pb), міді (Cu), кадмію (Cd) – не змінився; хрому (Cr), цинку (Zn) – знизились. Стабільний рівень концентрації металів в донних відкладах

свідчить про відсутність значущих джерел потрапляння металів до лиману.

В 2021 році, порівняно з 2018 та 2020 роками, концентрації хлорорганічних сполук зросли, що обумовлено осадженням з ропи лиману високих концентрацій хлорорганічних сполук, які були зафіксовані в 2020 році.

В донних відкладах у 2021 році були виявлені перевищення ЕН:

- по сумі ДДТ та його метаболітів, ліндану, та його ізомеру  $\beta$ -ГХЦГ, сумі ізомерів ліндану – на всіх станціях спостереження;
- ізомеру ліндану ( $\alpha$ -ГХЦГ) – на станції Р2 (дамба оголовок);
- гексахлорбензолу, альдріну, Ar-1254 – на станціях Р2 (дамба оголовок), Р4 (Кубанка);
- гептахлору – на станції Р4 (Кубанка).

Високі концентрації хлорорганічних сполук в донних відкладах свідчать про потрапляння в лиман забруднених стоків (наприклад, дощової води з сільськогосподарських угідь) в попередні періоди, а також про прискорене осадження погано розчинних забруднювачів з води при зменшенні її об'єму в лимані через інтенсивне випаровування і нестачу надходження чистої прісної води.

Також, в 2021 році, порівняно з 2018 роком, рівень концентрацій ПАВ, як і хлорорганічних сполук, в донних відкладах підвищився, але є нижчим ніж у 2020 році, що відповідає зафіксованим змінам концентрації ПАВ у ропі. Зафіксовані перевищення ЕН концентраціями фенантрена та флуорантена на всіх станціях спостережень.

Підвищенні концентрації ПАВ в донних відкладах свідчать про потрапляння в лиман забруднень з джерел пірогенного або петрогенного походження. Зважаючи на місце розташування Куяльницького лиману, вірогідніше, що джерела забруднення ПАВ мають пірогенне походження (спалювання органічного палива – наприклад, викиди від автомобілів, що переміщуються Об'їзною дорогою, сміття на незаконних звалищах). Також стан донних відкладів погіршується через забруднення ПАВ, так саме як і відносно хлорорганічних сполук, внаслідок прискореного осадження погано розчинних забруднювачів з води при зменшенні її об'єму в лимані через інтенсивне випаровування і нестачу надходження чистої прісної води.

У жовтні 2021 року концентрація органічного вуглецю в донних відкладах лиману залишилась на рівні 2018 та 2020 років (рис. 8).

Концентрація НВ у жовтні 2021 р. хоча і знизилась порівняно з жовтнем-листопадом 2018 р., але, як і в попередні роки, перевищувала ЕН (50 мг/кг) на всіх станціях відбору проб.

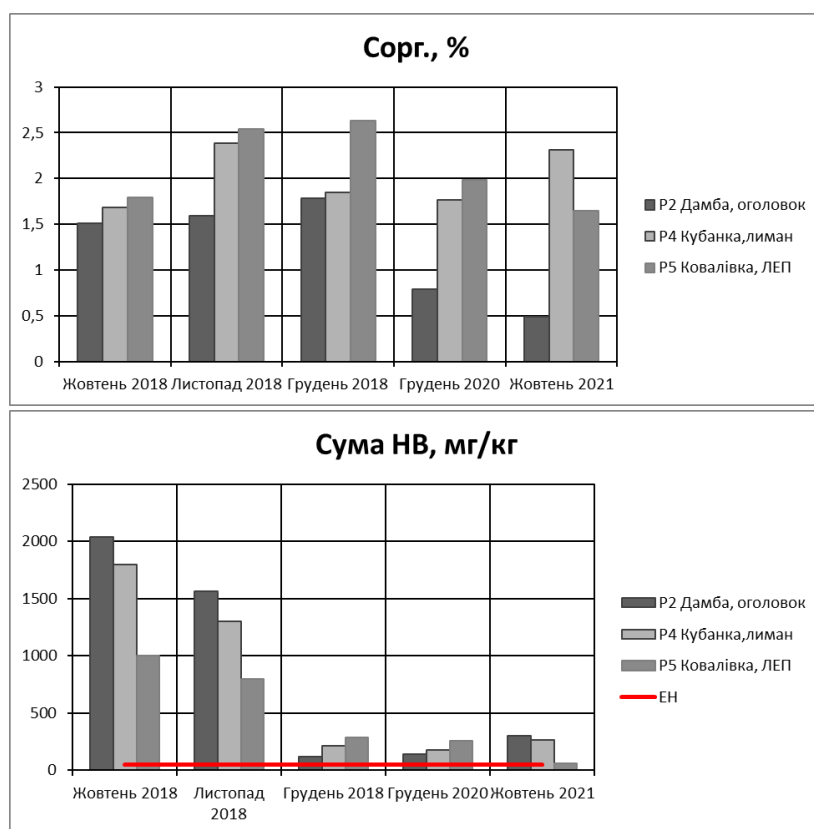
## 5. РЕЗУЛЬТАТИ ГІДРОБІОЛОГІЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ ЛИМАНУ

Визначення видового складу, чисельності та біомаси зоопланктону у воді лиману та оцінка планктоностоку. За весь час моніторингових спостережень у зоопланктоні в районі досліджень прилеглому до трубопроводу і каналу виявлено 11 таксонів. Постійним компонентом зоопланктону була *Acartia clausi* + *A. tonsa* (у 100% проб з моря). Частим компонентом був нещодавній вселенець у Чорне море *Oithona davisae* Ferrari F.D. & Orsi, 1984 (у 85 % проб). На станції біля водозабору (М1) в окремі місяці виявлені такі види: у березні – індикатор евтрофних вод *Noctiluca scintillans* (Macartney) Kofoid & Swezy, 1921, в квітні – представники меропланктону личинки *Rissoa splendida* Eichwald, 1830 та в лютому коловертки роду *Keratella*. На виході з каналу максимальне значення чисельності зоопланктону складало 1010 екз. $\cdot$ м<sup>-3</sup> (лютий), а біомаси – 5,634 мг $\cdot$ м<sup>-3</sup> (березень). Мінімальні значення на виході з каналу сягали 10 екз. $\cdot$ м<sup>-3</sup> (січень), а біомаси – 0,141 мг $\cdot$ м<sup>-3</sup> (грудень).

У результаті проходження через канал відсоток втрат зоопланктону складав від 41% (квітень) до 99% (лютий) за чисельністю та від 27% (березень) до 99% (лютий та грудень) за біомасою, решта організмів швидко гинула від солоносного шоку при потраплянні до лиману. Загальний обсяг організмів зоопланктону, що надходив до лиману під час запуску морської води протягом 6 місяців склав 43,6 кг [26]. Такий обсяг планктоностоку не надавав суттєвого впливу на якість води в лимані.

Визначення видового складу, чисельності та біомаси фітопланктону у воді лиману. На протязі всього періоду подачі морської води в 2015 р. у фітопланктоні Куяльницького лиману відбувалось «цвітіння» зеленої мікроводорості *Dunaliella salina* (Dunal) Teodor. При цьому її кількісний розвиток був всього вдвічі меншим її максимально можливої концентрації – 40 $\cdot$ 10<sup>6</sup> кл. $\cdot$ л<sup>-1</sup> [27].

Однак, вже в 2016 р. під час пуску морської води в лиман через зниження солоності відбувалась загибель *D. salina* зі зменшенням її



**Рис. 8** – Зміни концентрації органічного вуглецю ( $C_{org}$ ) та суми нафтових вуглеводнів (НВ) в донних відкладах Куяльницького лиману у періоди спостережень в 2018, 2020 та 2021 рр.

**Fig. 8** – Changes in concentration of organic carbon ( $C_{org}$ ) and amount of petroleum hydrocarbons (PC) in the bottom sediments of the Kuialnyk Estuary during the observation periods in 2018, 2020, and 2021

частки від загальної біомаси фітопланктону від 91,9 до 1,6 %. Кількісні показники фітопланктону в центральній та північній частині лиману були приблизно в одних і тих же межах коливань значень, що і до моменту відкриття каналу.

Найбільша біомаса мікродоростей в лимані ( $3752,77 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ ) відмічена в районі випуску морської води, під час функціонування каналу (лютий 2017 р.). Відбувалось «цвітіння» води ( $1,34 \cdot 10^6 \text{ кл.} \cdot \text{л}^{-1}$ ) викликане діатомовою лиманною водорістю *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve, а також інтенсивного розвитку досягала діатомова водорістю *Melosira moniliformis* (O. Mull Ag.), яка, як відомо, значно розвивається у водах з високими показниками органічного забруднення [28, 29]. Значення чисельності та біомаси даних видів мікродоростей були в декілька разів вищими, ніж у морі [30]. На решті акваторії лиману (в центральній та північній частинах) масового розвитку досягала *D. salina*. Після закриття

каналу, у квітні – листопаді на всій акваторії лиману *D. salina* складала 100 % чисельності та біомаси фітопланктону.

Загалом, у 2016 - 2018 рр. в результаті відкриття каналу в лимані в районі випуску морської води відбувалась загибель *D. salina* зі зменшенням її частки від загальної біомаси фітопланктону від 100 до 0 %. Однак, на решті станцій акваторії лиману кількісні показники *D. salina* були приблизно в одних і тих же межах коливань значень, що і до моменту відкриття каналу. Восени 2021 р. (канал закритий) у фітопланктоні лиману розвивалась лише *D. salina*, однак рівня «цвітіння» води цей вид не досягав.

На основі аналізу даних спостережень 2015 - 2021 рр. за розвитком кількісних показників *D. salina* в Куяльницькому лимані після початку запуску морської води, необхідно відмітити, що в 2017 р. відбувся спалах розвитку *D. salina*, а у 2018 р. зареєстровані мінімальні значення (рис. 9).

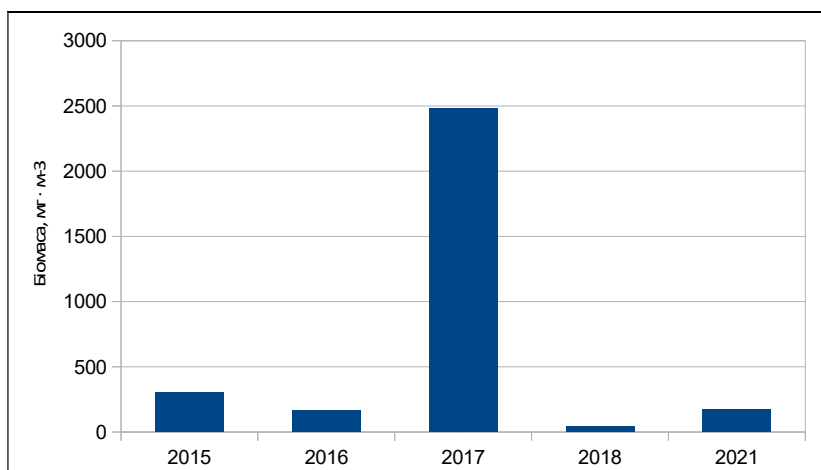


Рис.9 – Середнє значення біомаси *D. salina* (мг · м<sup>-3</sup>) в листопаді з 2015 по 2021 рр.  
Fig 9 – Average value of biomass *D. salina* (mg · m<sup>-3</sup>) in November from 2015 to 2021

В результаті досліджень 2015-2021 рр. виявлено, що запуск морської води в Куяльницький лиман здійснював неоднозначний вплив на кількісний розвиток *D. salina*: максимальна біомаса була в 2017 р., та мінімальна – у 2018 р. У 2017 р. в районі випуску морської води відбувався інтенсивний розвиток морських видів фітопланктону з досягненням рівня “цвітіння” води (*Skeletonema costatum*), а також мікроводорості індикатора органічного забруднення (*Melosira moniliformis*).

Оцінка співвідношення різних екоморф артемії. Під час екологічного моніторингу Куяльницького лиману у 2016-2018 та 2020-2021 рр. по всій акваторії лиману реєструвалась лише одна екологічна морфа артемії – *Artemia partenogenetica* var. *körppeniana*, яка притаманна для ультрагалінних умов, що вказує на відсутність преферентних умов для розвитку різноманітних екологічних варіацій артемії в Куяльницькому лимані. Це підтверджує недостатність лише штучного наповнення лиману морською водою і вказує на малу кількість прісних водотоків по берегах лиману та загального об'єму прісного стоку, необхідного для популяційного поліморфізму артемії. Існуючий сольовий режим Куяльницького лиману не в змозі забезпечити повноцінний популяційний поліморфізм артемії та стримує реалізацію адаптивних можливостей рачків. Лише навесні (березень-квітень) у зоні змішування морської води та поверхневої води лиману, у безпосередній близькості до водоспускного лотка реєструвалися рачки, які були віднесені до морфи *A. partenogenetica* var. *milhausenii*. Хоча раніше по всій акваторії

лиману відмічались усі можливі фенотипічні варіації артемії [31].

Незначні об'єми надходження прісних вод з водотоків, дефіцит атмосферних опадів, постійне збільшення мінералізації лиманної ропи протягом сезону розвитку рачків, призводять до зростання строків онтогенезу, зменшення плодючості та перешкоджають створенню самостійних фенотипічних груп *Artemia* в Куяльницькому лимані. В цілому, популяція, що складається з фенотипічно різних морф, може легко пристосуватися до просторової мінливості в лимані мінералізації, температури води, кормової бази та інших чинників. Все це можливо лише за умов наявності локальних акваторій з меншою, порівняно з загальною, мінералізацією води в лимані, які утворюються завдяки чисельним джерелам прісної або слабо мінералізованої води.

Біотестування. Під час моніторингових досліджень щодо визначення гострої летальної токсичності морської води у місяці, що передували її запуску в лиман та безпосередньо під час запуску, гостра токсичність жодного разу не була виявлена, морська вода була охарактеризована як нетоксична та такою, що відповідала встановленим токсикологічним нормативам якості. Це дозволяло надавати дозвіл на запуск морської води до лиману.

В результаті проведеного біотестування проб води з малих водотоків Куяльницького лиману протягом 2016-2018 та 2020 рр. виявлено хронічну токсичність проб води скидного лотку (П1) зі ставків пересипу (залізобетонний лоток), водотоку Гільдендорфської балки (П3) та водотоку Корсунцовської балки (П4).

Встановлена хронічна токсичність [32] вказує на суттєву антропогенну трансформацію та високий рівень забруднення води малих водотоків Куяльницького лиману. Отримані результати збігаються з проведенням аналізом гідрохімічних показників водотоків та водойм південної частини водозбору Куяльницького лиману [33], екологічний стан яких оцінено як «посередній» зі ступенем чистоти вод «помірно забруднених». Низька якість води малих водотоків може негативно впливати на розвиток ранніх наупліальних стадій *A. partenogenetica*, для яких вкрай важлива наявність локально опріснених акваторій у прибережній зоні лиману.

Лише восени 2021 року за результатами проведеного методом біотестування аналізу проб поверхневої води з водотоку зі скидного лотка з пересипу (станція П1) та водотоку Гільдендорфської балки (П4) не виявлено вірогідної різниці показників плодючості тест-об'єктів, що вказувало на певне зменшення техногенного навантаження на ці водотоки.

*Визначення флористичного складу угруповання фітобентосу, індексу фітоценозу та оцінка якості води.* Куяльницький лиман характеризується високою мінералізацією вод, яка може досягати 300 г/дм<sup>3</sup>, тому бентосні водорості фіксуються лише в місцях локального опріснення лиману. Фітобентос лиману характеризується невеликим видовим різноманіттям, із виявлених 87 видів переважають одноклітинні водорості – представники діатомових, синьозелені водорості (*Oscillatoria margaritifera* Kützinger ex Gomont і *Lyngbya* sp.) і зелені багатоклітинні водорості, які мають тонкі розгалужені, включно мікроскопічні, таломи (*Cladophora siwaschensis* K.I.Meyer, *Rhizoclonium riparium* (Roth) Harvey, *Ulothrix implexa* (Kützinger) Kützinger) [34, 35].

За період досліджень (2014-2021 рр.) в південній частині Куяльницького лиману в районі запуску морської води виявлено 29 видів водоростей, що відносяться до відділів *Chlorophyta*, *Ochrophyta*, *Rhodophyta*, *Bacillariophyta*, які потрапили до лиману з морською водою. У зв'язку з тим, що морська вода надходить до лиману при температурі води не вище 8°C, безпосередньо в акваторію надходить зимово-весняний комплекс морської альгофлори. Це типові водорості твердих субстратів Одеського узбережжя, які розвиваються в означений період: *Ceramium virgatum* Roth, *Polysiphonia elongata* (Huds.) Spreng., *Pyropia leucosticta* (Thuret) Neefus & J.Brodie, *Cladophora vagabunda* (Linnaeus) Hoek,

*Ulva intestinalis* Linnaeus, *Ectocarpus siliculosus* (Dillwyn) Lyngb. *Cocconeis scutellum* var. *scutellum* C. Agardh, *Grammatophora marina* (Lyngb.) Kütz., *Licmophora abbreviata* C.Agardh, *Melosira moniliformis* (O.F.Müller) C.Agardh, *Rhoicosphenia abbreviata* (C. Agardh) Lange-Bert. та ін.

Надходження морської води лише в зимово-весняний період дало змогу запобігти потраплянню в лиман великої біомаси макрофітів, які мають пік розвитку в літній період року і утворюють на берегах Одеської затоки масові викиди. Потрапляння макрофітів до лиману могло би призвести до погіршення екологічної ситуації в ньому. Відбувалось би накопичування цих водоростей, з подальшим їх розкладанням в товщі води і на берегах, що призвело би до зниження лікувально-рекреаційного потенціалу лиману.

Угруповання фітообростання, яке формувалося на водозапускних лотках під дією морських вод прилеглої частини моря з середньою солоністю 12,34 ‰, складалося з супраліторальних видів, характерних для зимово-весняного періоду Одеської затоки. В обростанні бетонних конструкцій водозапускного лотку виявлено 24 види макро- і мікроводоростей: *Chlorophyta* – 9, *Ochrophyta* – 3, *Bacillariophyta* – 12. Найменша кількість видів спостерігалася в перший рік дослідження – 4 види макрофітів (*Berkeleya rutilans* (Trentepohl ex Roth) Grunow, *E. siliculosus*, *U. implexa*, *Urospora penicilliformis* (Roth.) Aresch.) і 6 видів мікроепіфітів (*Diatoma vulgare* Bory de Saint-Vincent, *M. moniliformis*, *Melosira moniliformis* var. *subglobosa* (Grunow) Hustedt, *Navicula pennata* var. *pontica* Mer., *R. abbreviata*, *Tabularia fasciculata* D.M. Williams et Roud. В подальшому кількість видів зростала і в 2017 році була зафіксована їх найбільша кількість – 8 видів макроводоростей і 12 видів мікроепіфітів, що перевищує в два рази число видів в перший рік спостережень. Це свідчить про поступове освоєння нового субстрату водоростями. У наступні роки видовий склад водоростей фітообростання лотків був подібний до 2017 року і відрізнявся лише річними особливостями (температура води, термінами початку і припинення запуску морської води в лиман).

З початку формування альгосистеми на водозапускних лотках було відмічено, що першими видами макроводоростей, які колонізували штучний біотоп, були види з високою екологічною активністю в діапазоні 100-300 м<sup>2</sup>·кг<sup>-1</sup> (*U. penicilliformis*, *U. implexa*,

*E. siliculosus*). В наступні роки кількість видів збільшилася за рахунок видів з меншою екологічною активністю ( $16-60 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$ ): *Capsosiphon fulvescens* (C.Agardh) Setchell & N.L.Gardner, *Cladophora laetevirens* (Dillwyn) Kützing, *Punctaria latifolia* Greville, *Scytosiphon lomentaria* (Lyngbye) Link, що свідчить про повноцінне освоєння субстрату макролітами [36].

Найвища інтенсивність автотрофного процесу компонентів фітообростання за показником індексу поверхні (П), спостерігалася в квітні в період максимальної сонячної активності і перевищувала значення в інші місяці в 1,5 – 2 рази. В 2017 році значення П досягли максимального значення (380 од. в квітні) внаслідок повного освоєння штучного субстрату макроводоростями і інтенсивного розвитку видів водоростей з високою екологічною активністю (*Acrosiphonia arcta* (Dillwyn) Gain, *R. riparium*, *Ulothrix flacca* (Dillwyn) Thuret, *U. penicilliformis*, *E. siliculosus*).

За час надходження морської води до лиману на лотках сформувалось повноцінне фітообростання супраліторальної зони, яке за сім років повністю освоїло новий субстрат. Короткочасність подачі води (біля п'яти місяців) не дає змоги розвинути на ньому масовим субліторальним видам водоростей, притаманним Одеській затоці (*C. vagabunda*, *U. intestinalis*, *C. virgatum*, *P. elongata*, *P. leucosticta*), хоча таломі і спори цих видів потрапляють до лиману. Після припинення подачі води фітообростання лотків функціонує в режимі супраліторальних умов, при яких змочування відбувається в основному за рахунок опадів або невеликих протікань з труби.

Надходження води по скидному залізобетонному лотку, який призначений для відведення дренажно-злизових вод з прилеглої до Об'їздної дороги території та ставків пересипу (П1), може бути потенційно загрозливим для екосистеми лиману. Екологічний статус водних мас, які надходять по лотку до екосистеми лиману оцінюється в залежності від питомої поверхні видів ( $S/W_p$ ) макроводоростей, які в ньому зростають. В 2017 і 2018 рр. в лотку був зафіксований розвиток синьозелених водоростей (*Lyngbya* sp.,  $S/W_p$   $509,37 \pm 8,66 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$ ), що вказує на погіршення якості води в лотку в цей період. У жовтні і листопаді 2021 р. тут спостерігався типовий для осіннього періоду флористичний склад нитчастих зелених водоростей (*Cladophora glomerata*, *Rhizoclonium riparium*, *Ulothrix*

*implexa*), які спостерігаються цілорічно. В осінній період 2021 року, на відміну від минулих років, в лотку не відмічалася синьозелена водорість *Lyngbya* sp., що свідчить про покращення екологічної ситуації. Значення морфофункціонального індикатору – середньої питомої поверхні флористичного складу  $S/W_x$  становило  $189,91 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-4}$ , що відповідає категорії екологічного статусу класу – «Задовільний» (Moderate) за вимогами Рамкової Водної Директиви ЄС [37].

## 6. РЕЗУЛЬТАТИ МЕДИКО-БІОЛОГІЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ СТАНУ ПРИРОДНИХ ЛІКУВАЛЬНИХ РЕСУРСІВ ЛИМАНУ

За даними незалежних спостережень, виконаних фахівцями Українського науково-дослідного інституту медичної реабілітації та курортології МОЗ України, загальна мінералізація ропа (визначена за сумою катіонів та аніонів) впродовж 2021 р. коливалась у межах від  $171,59 \text{ г/дм}^3$  (у березні) до  $296,50 \text{ г/дм}^3$  (у вересні).

Найнижчі значення мінералізації у березні є результатом поповнення лиману морською водою в зимовий період та випадіння значної кількості атмосферних опадів з початку року. До липня включно відбувалось зростання загальної мінералізації ропа до  $230 \text{ г/дм}^3$ . У вересні відмічалось зростання мінералізації ропа до значень  $268,41 \text{ г/дм}^3$  (на станції Т1 – “курорт Куяльник”) та  $296,50 \text{ г/дм}^3$  (на станції Т2 – поблизу с. Кубанка).

За вмістом основних катіонів та аніонів ропа Куяльницького лиману характеризується як йодо-бромний борний міцний розсіл хлоридний магнієво-натрієвий, нейтральний. У лікувальних концентраціях ропа містить ряд біологічно активних компонентів та сполук: йод, бром та ортоборну кислоту.

Мікробіота ропа Куяльницького лиману у 2021 р. була не досить різноманітною по відношенню до попередніх років. Але ропа була визнана суттєво бактерицидною за впливом на тест-культуру кишкової палички і мала задовільний санітарно-мікробіологічний стан. Порівняння результатів мікробіологічних досліджень ропа Куяльницького лиману на станції Т1 (“курорт Куяльник”) за 2021 р. з попередніми роками свідчить про зростання інтенсивності розвитку сульфатвідновлювальних бактерій.

В результаті виконання моніторингових досліджень було встановлено, що характер

біологічної дії та безпеки застосування ропи Куяльницького лиману корелює з величиною загальної мінералізації ропи. При порівнянні в ході експерименту дії ропи з мінералізаціями 318 г/дм<sup>3</sup> та 215 г/дм<sup>3</sup> визначено, що в першому випадку відмічаються зміни інтенсивності біологічної дії, які дозволяють припустити зниження біологічної активності ропи та, навіть, виникнення негативного впливу. У 2021 р. вплив ропи Куяльницького лиману при мінералізації 268 г/дм<sup>3</sup> у порівнянні з ропою з мінералізацією на рівні 318 г/дм<sup>3</sup> у 2020 р. характеризувався відновленням її біологічної дії, але негативні ознаки все ж таки зберігались.

Відклади Куяльницького лиману за основними фізико-хімічними показниками відносяться до мулових сульфідних грязей (пелоїдів) і на даний час можуть бути класифіковані як соленасичені, середньосульфідні, слабкокислі.

Мінералізація розчину пелоїдів у 2021 р. в порівнянні з 2020 р. знизилась й становила на станції Т1 – 262,66 й на Т2 – 219,63 г/дм<sup>3</sup>, але за період спостережень з 2016 по 2021 рр. мінералізація розчину пелоїдів не знижувалась нижче 200 г/дм<sup>3</sup>.

Фізико-хімічний склад колоїдних дисперсій пелоїдів Куяльницького лиману практично не відрізняється від попередніх років. За показниками Eh (2017-2021 рр.) та pH (2020-2021 рр.) якості пелоїдів ділянки “курорту Куяльник” (станція Т1) не відповідала установленим кондиціям та Медичному (бальнеологічному) висновку. В пелоїдах лиману за роки досліджень спостерігалась значна зміна значень водневого показника (pH), реакція середовища переходить від нейтральної (7,10 од. pH у 2016 р.) до слабкокислої (5,75 од. pH у 2021 р. – ділянка Т1' станції Т1 в районі “курорту Куяльник”) при кондиційних вимогах 6,50-7,40 од. pH. Зниження значень показника pH впливає на рівновагу форм знаходження сірководню в пелоїдах.

Також встановлено зростання значень показника Eh від -190 mV у 2016 р. до -110 mV у 2021 р. (ділянка Т1' станції Т1 в районі “курорту Куяльник”), при кондиційних вимогах -400 – -150 mV. Зміна значень показника Eh в сторону окисних показань (навіть до плюсових значень в центральній (с. Кубанка) та північній (с. Ковалівка) частинах лиману) свідчить про затухання процесів пелоїдогенезу.

На всіх досліджених ділянках Куяльницького лиману в пелоїдах спостерігали схожу активність розвитку груп бактерій та їх

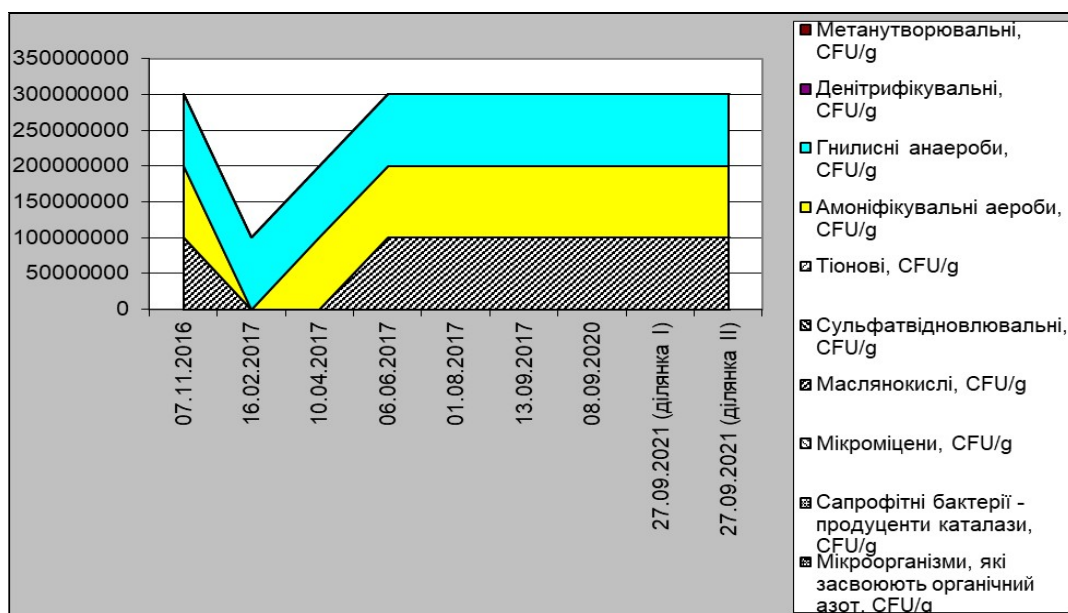
представництво. Найбільшими з них за кількістю були гнилісні, потім амоніфікувальні та маслянокислі бактерії. В ході досліджень простежено зміни у складі мікробіоти пелоїдів, перерозподіл активності мікробіологічних груп, які приймають участь у процесах пелоїдогенезу (рис. 10).

Виявлено недостатню кількість мікробіоти, яка є базовою у процесах пелоїдогенезу (сульфат відновлювальні *Desulfovibrionasulfuricans*, тіонові *Thiobacillusthioparus*), але значне домінування амоніфікувальної, гнилісної мікробіоти. У 2021 році порівняно з 2020 р. у 100 разів підвищилася кількість сульфатвідновлювальних бактерій у пелоїдах на ділянці Т1' станції Т1 та у 10 разів – на ділянці Т1''. Зміна рівноваги активності складу мікробіоти призводить до того, що для пелоїдів експлуатуємої ділянки взагалі притаманий гнилісний запах, який не властивий для мулових (сульфідних) пелоїдів.

Санітарно-мікробіологічний стан пелоїдів у 2021 р. покращився порівняно з 2020 р., але все ж таки був незадовільним. Титр лактозопозитивних кишкових паличок у 2021 р. склав 0,1 г, тоді як у 2020 р. – 0,01 г (норматив дорівнює 10 г). За період спостережень з 2016 по 2021 рр. санітарно-мікробіологічний стан пелоїдів всіх досліджуваних ділянок був незадовільний за титром лактозопозитивних кишкових паличок (окрім 06.06.17 р.).

Отримані експериментальні дані за 2021 р. щодо курсового зовнішнього застосування на інтактних тваринах (щухах) пелоїдів станції Т1 (“курорт Куяльник”) показали, що вони мають біологічну активність, але коливання показників центральної та вегетативної нервових систем, периферійної крові та імунної системи відбуваються на нижній межі фізіологічного коридору; структурно-функціональний стан шлунку, печінки та нирок – на верхній межі фізіологічного коридору. Крім того, спостерігається збільшення вмісту сечовини у крові на 23 % при достовірному зменшенні її екскреції з добовою сечею, що вказує на формування дисбалансу між активністю детоксикаційної функції печінки та вивідної функції нирок.

Порівняльна оцінка щодо характеру біологічної активності пелоїдів за різні періоди досліджень корелює з коливаннями загальної мінералізації, яка за період досліджень з 2016 по 2021 рр. коливалась у межах 216,41-324,03 г/дм<sup>3</sup>. При дослідженні впливу пелоїдів з мінералізацією 324,03 г/дм<sup>3</sup>, яку було визначено у 2020 р.,



**Рис. 10** – Динаміка розвитку та кількісне співвідношення різних груп мікроорганізмів на станції Т1 ("курорт Куяльник" - ділянки Т1' та Т1''). Показані тільки виявлені групи зі списку праворуч

**Fig. 10** - Dynamics of development and quantitative ratio of different groups of microorganisms at station T1 ("Kuyalnik resort" - sections T1' and T1''). Only detected groups from the list on the right are shown

встановлено значні ознаки негативного впливу на процеси сечоутворення, функціональний стан печінки та зниження активності окисно-відновних процесів. При мінералізації нижче 250 г/дм<sup>3</sup> ознаки негативного впливу пелоїдів зникали. Дослідженнями пелоїдів у 2021 р. встановлено тенденції до відновлення їх біологічної активності, але ознаки негативного впливу все ж таки залишаються.

Отже, з метою збереження природних лікувальних ресурсів Куяльницького лиману нагальним є питання підтримання мінералізації на рівні не вище 250 г/дм<sup>3</sup> та встановлення округів санітарної охорони.

Пелоїди на станції Т2 – с. Кубанка (сумісно мулові сульфідні пелоїди та глинисті мули) в цілому відповідали вимогам, які висуваються до лікувальних пелоїдів. При курсовому зовнішньому застосуванні мулові сульфідні грязі цієї ділянки, які досліджено разом з глинистим мулом, є безпечними для організму піддослідних тварин, володіють біологічною активністю, але за характером своєї дії відзначаються меншою силою.

Санітарно-мікробіологічний стан вод водотоків – зі скидного лотка з пересипу, балки Корсунцівська та балки Гільдендорфська у 2021 р. був незадовільним. Кількість

коліформних бактерій в 1 л, при нормі не більше 5000 CFU в 1 л, дорівнювала на станції П1 – 9300, П3 – 9300, П4 – 46000 CFU в 1 л. Санітарно-мікробіологічний стан водотоку балки Корсунцівська лише у 2016 р. був задовільний. Водотоки зі скидного лотка з пересипу (П1) та балки Гільдендорфська мали незадовільний санітарно-мікробіологічний стан у всі строки спостережень.

## 7. ВИСНОВКИ

Загальний висновок полягає у тому, що завдяки поповненню лиману морською водою в холодний період 2020-2021 рр., збільшенню кількості атмосферних опадів та зменшенню випаровування з водної поверхні лиману в 2021р., рівень води в Куяльницькому лимані підвищився, внаслідок чого його гідроекологічний стан покращився порівняно з 2020 р. В той же час актуальним залишається вирішення таких проблем, як зменшення мінералізації вод в лимані шляхом збільшення надходження до нього чистих прісних вод з різних джерел замість морської води, яка містить солі; запобігання надходженню до лиману забруднень від антропогенних джерел (зі стоком вод з водотоків, які впадають до Куяльницького

лиману: скидного лотка з пересипу, балок Корсунцівська, Гільдендорфська та ін.).

За результатами гідрохімічного обстеження ропи Куяльницького лиману встановлено, що її екологічний стан у 2021 році, порівняно з 2020 роком, покращився, але через забруднення нафтовими вуглеводнями, окремими токсичними та поліциклічними ароматичними вуглеводнями якість води в 2021 році оцінюється як задовільна.

За результатами медико-біологічного обстеження ропа лиману була визнана суттєво бактерицидною за впливом на тест-культуру кишкової палички, мала задовільний санітарно-мікробіологічний стан. Порівняння результатів мікробіологічних досліджень в 2021 р. ропи Куяльницького лиману в районі лікувальних грязей, що експлуатуються санаторієм ім. І. І. Пирогова, з попередніми роками свідчить про зростання інтенсивності розвитку сульфатвідновлювальних бактерій.

Екологічний стан донних відкладів Куяльницького лиману у 2021 році, порівняно з 2020 роком погіршився. Через забруднення нафтовими вуглеводнями, хлорорганічними пестицидами та поліциклічними ароматичними вуглеводнями якість донних відкладів оцінюється як дуже погана.

Фізико-хімічний склад колоїдних дисперсій пелоїдів Куяльницького лиману практично не відрізняється від попередніх років. За показниками Eh (2017-2021 рр.) та pH (2020-2021 рр.) якість пелоїдів ділянки курорту Куяльник не відповідала установленим кондиціям та Медичному (бальнеологічному) висновку. Санітарно-мікробіологічний стан пелоїдів у 2021 р. покращився порівняно з 2020 р., але все ж таки був незадовільним. Характер біологічної активності пелоїдів за різні періоди досліджень корелює з коливаннями загальної мінералізації. З метою збереження унікального родовища природних лікувальних ресурсів Куяльницького лиману нагальним є питання підтримання мінералізації ропи на рівні не вище 250 г/дм<sup>3</sup>. Це рекомендоване порогове значення мінералізації ропи визначено за результатами експериментальних досліджень на інтактних тваринах щодо характеру біологічної дії та безпеки застосування ропи й пелоїдів Куяльницького лиману.

Прямий вплив на рівень забруднення токсичними речовинами води та донних відкладів Куяльницького лиману має стихійне засмічення побутовими відходами (пластикові

сміття, старі автомобільні покривки, будівельний мусор тощо) його узбережжя. Всі водотоки лиману містять у собі комунальні стоки з прилеглих до нього населених територій, з якими до лиману потрапляють мінеральні та органічні сполуки азоту і фосфору. Санітарно-мікробіологічний стан вод водотоків – зі скидного лотка з пересипу, балки Корсунцівська та балки Гільдендорфська у 2021 р. був незадовільним.

Поповнення Куяльницького лиману морською водою в холодний період 2020-2021 рр., у сукупності із суттєвим збільшенням кількості атмосферних опадів, порівняно з попередніми посушливими 2019, 2020 рр. призвело до збільшення середньорічної відмітки рівня води в лимані до рівня 2019 р. та загального покращення гідроекологічного стану лиману порівняно з попереднім 2020 р. Тому, за відсутності альтернативи (сталих джерел живлення Куяльницького лиману достатніми об'ємами прісної води) та необхідності підтримання водності лиману на рівні, що забезпечує сприятливі для грязеутворення значення мінералізації ропи, як вимушений захід, рекомендується продовжити в холодний період наступних років поповнення Куяльницького лиману морською водою з Одеської затоки за умови, що температура морської води в Одеській затоці нижча за 8°C. Морська вода що подається до лиману має позитивний вплив, що обумовлено значною різницею концентрацій головних іонів в морській воді та воді лиману.

З іншого боку, поповнення Куяльницького лиману морською водою у прохолодні періоди року спочатку планувалось лише як тимчасова екстрена міра на термін не більш ніж три-чотири сезони (у 2014-2018 рр.) – до відновлення природного стоку річок, які живлять Куяльницький лиман (насамперед, річки Великий Куяльник). Однак, за фактом, поповнення лиману морською водою у прохолодні періоди року триває вже сім сезонів поспіль, починаючи з 2014-2015 рр., що призводить до накопичення в лимані солей і збільшення мінералізації його вод. Кількість солей, яка потрапила в лиман з морською водою, становить близько 1 млн. тон (або приблизно 10% від початкової ваги солей в лимані – до початку запуску морської води в грудні 2014 р.). Подовження запуску морської води без збільшення надходження до лиману прісних вод може привести до непередбачуваних негативних наслідків для його лікувальних природних

ресурсів та їх втрати. Про це свідчать також й результати гідробіологічного моніторингу лиману. Існуючий сольовий режим Куяльницького лиману не в змозі забезпечити повноцінний популяційний поліморфізм артемій та стримує реалізацію адаптивних можливостей рачків. Це підтверджує недостатність лише штучного наповнення лиману морською водою і вказує на недостатність для нормального розвитку артемій та її популяційного поліморфізму об'єм надходження до лиману прісного стоку.

Тому поповнення лиману морською водою більше не може далі розглядатися як основний спосіб компенсації дефіциту водного балансу лиману.

Істотним джерелом збільшення припливу прісних вод до лиману є часткове відновлення природного стоку річок його басейну. Однак, очікується, що цей захід буде втрачати свою ефективність через зменшення їх природної водності у майбутньому внаслідок змін клімату. Окрім того, всі водотоки лиману містять у собі комунальні стоки з прилеглих до нього населених територій. Враховуючи це, потрібно вивчити можливість використання додаткових (альтернативних стоку річок) джерел чистої та прісної води для періодичного поповнення лиману. Такими додатковими джерелами поповнення Куяльницького лиману можуть бути: суттєво очищені стічні води на виході з СБО «Північна», очищені води Хаджибейського лиману, води р. Дністер (перекид річкової води наземними водоводами або з використанням існуючої мережі зрошувальних систем), підземні води.

Окрім вищевказаних, були розроблені такі узагальнені рекомендації відносно реалізації заходів щодо створення сприятливого гідроекологічного стану Куяльницького лиману, збереження та відтворення його природних ресурсів.

1) Для підтримання високого природно-ресурсного потенціалу Куяльницького лиману, з огляду на важливу участь артемій у формуванні цілощого ріпи та використанні латентних яєць у аквакультурі, рекомендується відновлення природного режиму функціонування малих річок та водотоків із забезпеченням обмеження господарської діяльності у водоохоронних зонах лиману. Ці заходи мають бути спрямовані на забезпечення утворення на всій акваторії лиману локальних опріснених акваторій протягом всього року.

2) Підсилити контроль за потраплянням в лиман забруднених вод з локальних антропогенних джерел (водотоків), які практично є комунальними стоками з прилеглих до лиману територій. Організувати будівництво очисних споруд в районі водостоків зі ставків пересипу та прилеглих до них територій, населених пунктах Красносілка та Корсунці, а також для джерел забруднення, які розташовані на річках Великий Куяльник і Кубанка.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Водний режим та гідроекологічні характеристики Куяльницького лиману: монографія / Од. держ. екол. ун-т.; за ред. Н. С. Лободи, Є. Д. Гопченка. Одеса : ТЕС, 2016. 332 с. URL: <http://eprints.library.odku.edu.ua/648/>
2. Куяльницький лиман: реалії та перспективи рекреаційного використання: монографія / Буркинський Б. В., Бабов К. Д., Нікіпелова О. М., Погребний А. Л., Ніколенко С. І.; НАН України. Ін-т проблем ринку та економіко-еколог. дослідж.; ДУ "Укр. наук.-дослід. ін-т мед. реабілітації та курортології МОЗ України". Одеса : Гельветика, 2019. 313 с.
3. Закон України «Про оголошення природної території Куяльницького лиману Одеської області курортом державного значення» від 5 грудня 2018 року № 2637-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2637-19#Text> (дата звернення: 10.10.2022)
4. Указ Президента України №3/2022 «Про створення національного природного парку «Куяльницький»». URL: <https://www.president.gov.ua/documents/32022-41117> (дата звернення: 10.10.2022)
5. Проектований Національний природний парк "Куяльницький" як основа оптимізації довкілля та стійкого розвитку регіону / Дубина Д. В., Еннан А. А., Дзюба Т. П. та ін. *Укр. бот. журн.* 2018. 75(5). С. 457–469. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj75.05.457>
6. Степаненко С. Н. Причини обмеления Куяльницького лимана и пути его спасения. Одесса : Экология, 2013. 35 с. URL: [http://odeku.edu.ua/wp-content/uploads/Kniga\\_2013\\_S.N.Stepanenko.pdf](http://odeku.edu.ua/wp-content/uploads/Kniga_2013_S.N.Stepanenko.pdf)
7. Причины и последствия деградации Куяльницького лимана (северо-западное Причерноморье, Украина) / Эннан А. А., Шихалеев И. И., Шихалеева Г. Н. и др. *Вісн. Одес. нац. ун-ту. Хімія.* 2014. 19 (3). С. 60-69.
8. Регіональна програма збереження і відновлення водних ресурсів у басейні Куяльницького лиману на 2019-2023 роки, затверджена рішенням Одеської обласної ради № 1095-VII від 25.10.2019 р. URL: <https://oda.odessa.gov.ua/statics/pages/files/5dc14f6901216.pdf> (дата звернення: 10.10.2022)
9. Адабовский В. В., Богатова Ю. И. Особенности современного гидролого-гидрохимического режима Куяльницького лимана и прогнозная оценка его составляющих в условиях возможного пополнения водоема морскими и пресными водами. *Український гідрометеорологічний журнал.* 2013. №13. С. 127-137.

10. Обоснование безопасности наполнения обмелевшего Куяльницького лимана морской водой. Химические аспекты / Антонович В. П., Желтвай И. И., Чивирева Н. А. та ін. *Вісник ОНУ. Хімія*. 2013. Том 18, вип. 3(47). С. 16-27.
11. Особливості розвитку бактеріопланктону Куяльницького лиману в 2015-2017 рр./ Ковальова Н. В., Медінець В. І., Медінець С. В. та ін. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна серія «Екологія»*. 2017. (17). С. 20-28.
12. Біологічні наслідки поповнення Куяльницького лиману морською водою з Одеської затоки/ Медінець В. І., Ковальова Н. В., Дерезюк Н. В. та ін. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2017. 1-2 (27). С.35-51.
13. Лобода Н. С., Гриб О. М. Гідроекологічні проблеми Куяльницького лиману та шляхи їх вирішення. *Гідробіологічний журнал*. 2017. 53 (4). С. 95-104.
14. Гриб О. М. Наукове обґрунтування та практична реалізація заходів по управлінню гідроекологічним режимом Куяльницького лиману на основі моделювання водно-сольового балансу водойми в умовах змін глобального клімату. *Наук. записки Терноп. нац. педагог. ун-ту ім. Володимира Гнатюка. Серія: Біологія. Спецвипуск: Гідроекологія*. 2015. № 3-4 (64). С. 130-133. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/NZTNPU\\_2015\\_3-4\\_33](http://nbuv.gov.ua/UJRN/NZTNPU_2015_3-4_33)
15. Тучковенко Ю. С., Кушнір Д. В., Лобода Н. С. Результати чисельного моделювання внутрішньорічної мінливості гідрологічних характеристик Куяльницького лиману за різних обсягів стоку річки Великий Куяльник. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2017. № 20. С. 105-119. <https://doi.org/10.31481/uhmj.20.2017.13>
16. Лобода Н. С., Отченаш Н. Д., Гриб О. М. Опис штучних водойм на водозборі річки Великий Куяльник та регламентування їх роботи у сучасності та майбутньому. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2018. 21. С. 50-59. <https://doi.org/10.31481/uhmj.21.2018.06>
17. Лобода Н. С., Куза А. М., Козлов О. М. Оцінка можливих змін водних ресурсів річок водозбору Куяльницького лиману на початку ХХІ сторіччя (2021-2050 рр.) за моделями кліматичного сценарію RCP4.5. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2019. № 23. С. 42-53. <https://doi.org/10.31481/uhmj.23.2019.05>
18. Обґрунтування ефективності заходів по відновленню стоку річки Великий Куяльник з метою стабілізації гідрологічного режиму Куяльницького лиману на початку ХХІ сторіччя (до 2030 р.) / Лобода Н. С., Тучковенко Ю. С., Гриб О. М., Кушнір Д. В. *Проблеми гідрології, гідрохімії, гідроекології*. Київ: Ніка-Центр, 2019. С. 100-115. URL: <http://eprints.library.odeku.edu.ua/6655/>
19. Наукові дослідження гідроекологічного режиму і стану Куяльницького лиману та морської води з Одеської затоки: науково-дослідні роботи з гідрологічного, гідрохімічного, гідробіологічного та медико-біологічного обстеження стану Куяльницького лиману та морської води з Одеської затоки. *Том 1. Гідрологічні обстеження. Узагальнені висновки і рекомендації*. Звіт з НДР остаточний (наук. кер. Ю. С. Тучковенко). База даних УкрНТЕІ, бібл. Од. держ. еколог. ун-ту. ДР № 0121U113773, 2021. 128 с.
20. Наукові дослідження гідроекологічного режиму і стану Куяльницького лиману та морської води з Одеської затоки: науково-дослідні роботи з гідрологічного, гідрохімічного, гідробіологічного та медико-біологічного обстеження стану Куяльницького лиману та морської води з Одеської затоки. *Том 2. Гідрохімічні обстеження*. Звіт з НДР остаточний (наук. кер. В. М. Коморін). Бібл. Од. держ. еколог. ун-ту. ДР № 0121U113773, 2021. 125 с.
21. Наукові дослідження гідроекологічного режиму і стану Куяльницького лиману та морської води з Одеської затоки: науково-дослідні роботи з гідрологічного, гідрохімічного, гідробіологічного та медико-біологічного обстеження стану Куяльницького лиману та морської води з Одеської затоки. *Том 3. Гідробіологічні обстеження*. Звіт з НДР остаточний (наук. кер. О. В. Кошелев). Бібл. Од. держ. еколог. ун-ту. ДР № 0121U113773, 2021. 36 с.
22. Наукові дослідження гідроекологічного режиму і стану Куяльницького лиману та морської води з Одеської затоки: науково-дослідні роботи з гідрологічного, гідрохімічного, гідробіологічного та медико-біологічного обстеження стану Куяльницького лиману та морської води з Одеської затоки. *Том 4. Медико-біологічні обстеження*. Звіт з НДР остаточний (наук. кер. К. Д. Бабов, Цуркан О.І.). Бібл. Од. держ. еколог. ун-ту. ДР № 0121U113773, 2021. 111 с.
23. Актуальные проблемы лиманов северо-западного Причерноморья: монография / за ред. Ю. С. Тучковенко, Є. Д. Гопченко. Одесса: ТЭС, 2011. 224 с. URL: <http://eprints.library.odeku.edu.ua/654/>
24. Екологічні нормативи якості морського середовища. Одеса: УкрНЦЕМ, 2008. 15 с. URL: [http://www.sea.gov.ua/uploads/state\\_ecological\\_mar\\_env.pdf](http://www.sea.gov.ua/uploads/state_ecological_mar_env.pdf) (дата звернення: 25.10.2022)
25. Bijlagen van het Verslag der Handelingen van de Tweede Kamer der Staten-Generaal, Netherlands, vergaderjaar 1993-1994, 21250, Derde Nota Waterhuishouding, Nr.28, Evaluatienota Water, 1994, 160 p.
26. Мірас Р. В. Вплив з'єднувального каналу Куяльник-Чорне море на показники зоопланктону. *Морський екологічний журнал*. 2021. Т. 15. № 1. С. 63-69.
27. Масюк Н. П. Морфология, систематика, экология, географическое распространение рода *Dunaliella* Teod. и перспективы его практического использования: монография. Киев: Наукова думка, 1973. 245 с.
28. Прошкина-Лавренко А. И., Алфимов Н. М. Об использовании диатомовых водорослей при оценке санитарного состояния морских вод. *Ботан. журн.* 1954. Т. 39, Вып. 1. С. 108-112.
29. Кузьминова Н. С., Руднева И. И. Влияние сточных вод на морские водоросли. *Альгология*. 2005. 15. № 1. С. 128 -141.
30. Garkusha O. P. Phytoplankton's contemporary state of the Kuialnytsky Estuary in conditions of connection with the Black Sea. *International scientific conference "Marine ecosystems: research and innovations"*: Book of abstracts, 27-29 October. Odessa, 2021. 26 p.
31. Кошелев О. В. Екоморфологічні особливості *Artemia parthenogenetica* (Bowen and Sterling, 1978). *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія. Спеціальний випуск: Гідроекологія*. 2015. № 3-4 (64). С. 351 – 354.

32. Кошелев О. В. Визначення хронічної токсичності води малих водотоків Куяльницького лиману методом біотестування. *Морський екологічний журнал*. 2021. Т. 15. № 1. С. 45-51.
33. Гідрохімічні показники та якість вод водотоків та водойм південно-східної частини водозбору Куяльницького лиману (балки Гільдендорфська, Корсунцівська, озера пересипу) / Лобода Н. С., Гриб О. М., Яров Я. С., Гриб К. О. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2016. Т. 3. С. 42-49.
34. Герасимюк В. П., Эннан А. А., Шихалеева Г. Н. Видовой состав водорослей бентоса Куяльницького лимана (северо-западное Причерноморье, Украина). *Альгология*. 2011. Т. 21. № 2. С. 226-240.
35. Мінічева Г. Г., Калашнік К. С. (2015). Прогноз розвитку макрофітобентосу Куяльницького лиману при різних рівнях солоності. *Природно-ресурсний потенціал Куяльницького та Хаджибейського лиманів, території міжлимання: сучасний стан, перспективи розвитку: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції*. 18-20 листопада. Одеса: ТЕС, 2015. С. 77-80.
36. Мінічева Г. Г., Калашнік К. С. Формування фітоперифітону на гідроспородах з'єднувального каналу Чорне море - Куяльницький лиман. *Морський екологічний журнал*. Т. 14 (1). 2020. С. 25-33.
37. Minicheva G. Use of the Macrophytes Morphofunctional Parameters to Assess Ecological Status Class in Accordance with the EU WFD. *Marine Ecological Journal*. 2013. Vol. XII. № 3. Pp. 5 – 21.
5. Dubyna, D.V. et al. (2018). Projected Kuialnytsky National Nature Park as a basis for optimization of the environment and sustainable development of the region. *Ukr. Bot. J.*, 75(5), pp. 457-469. (in Ukr.) <https://doi.org/10.15407/ukrbotj.75.05.457>
6. Stepanenko, S.N. *Prichyny obmeleniya Kuyal'nitskogo limana i puti ego spaseniya [The reasons for the shallowing of the Kuyalnitsky estuary and ways to save it]*. Odessa: Ecology, 2013. Available at: [http://odeku.edu.ua/wp-content/uploads/Kniga\\_2013\\_S.N.Stepanenko.pdf](http://odeku.edu.ua/wp-content/uploads/Kniga_2013_S.N.Stepanenko.pdf) (Accessed: 05.10.2022) (in Russ.)
7. Ennan, A.A. et al. (2014). Prichiny i posledstviya degradatsii Kuyal'nitskogo limana (severo-zapadnoe Prichernomorye, Ukraina) [Reasons and consequences of the Kuyalnyk Estuary degradation] *Odessa National University Herald. Chemistry*. 19(3). pp. 60-69. Available at: <https://periodicals.karazin.ua/humanenviro/article/view/9993/9510> (Accessed: 05.10.2022) (in Russ.)
8. *Rehionalna prohrama zberezhenia i vidnovlennia vodnykh resursiv u baseini Kuialnytskoho lymanu na 2019-2023 roky, zatverdzhena rishenniam Odeskoi oblasnoi rady № 1095-VII vid 25.10.2019. [The regional program for the preservation and restoration of water resources in the basin of the Kuyalnitsky estuary for 2019-2023, approved by the decision of the Odesa Regional Council No. 1095-VII dated October 25, 2019]* Available at: <https://oda.odessa.gov.ua/statics/pages/files/5dc14f6901216.pdf> (Accessed: 10.10.2022) (in Ukr.)
9. Adobovsky, V. & Bogatova, Yu. (2013). Peculiarities of the modern hydrological and hydrochemical regime of Kuyalnik liman and predictive estimation of its components under conditions of its replenishment with sea and fresh waters. *Ukrainian hydrometeorological journal*, 13, pp. 127-137. (in Russ.)
10. Antonovich, V.P., Zheltvay, I.I., Chivireva, N.A. et al. (2013). Rationale of Kuyalnik Estuary filling environmental safety by the Black Sea waters. Chemical aspects. *Odessa National University Herald. Chemistry*, T.18, 3(47), pp. 16-27. (in Russ.)
11. Kovalova, N.V., Medinets, V.I., Medinets, S.V. et al. (2017). Characteristics of bacterioplankton in the Kuyalnyk Estuary development in 2015-2017. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University Series «Ecology»*, 17, pp.20-28 (in Ukr.)
12. Medinets, V.I., Kovalova, N.V., Derezyuk, N.V. et al. (2017). Biological consequences of Kuyalnik Estuary filling with marine water from Odessa Bay. *Man and environment. Issues of neoecology*, 1-2 (27), pp. 35-51
13. Loboda, N.S. & Gryb, O.M. (2017). Hydroecological problems of the Kuyalnyk liman and ways of their solution. *Hydrobiological Journal*, 53(6), pp. 87-95.
14. Grib, O.M. (2015). Naukove obgruntuvannia ta praktychna realizatsiia zakhodiv po upravlinniu hidroekologichnym rezhymom Kuialnytskoho lymanu na osnovi modeliuvannia vodno-solovoho balansu vodoimy v umovakh zmin hlobalnogo klimatu. [Scientific substantiation and practical implementation of measures on management hydroecologically mode of Kuyal'nitskiy Liman based on the simulation of water-salt balance of the reservoir on conditions of global climate change]. *Nauk. zapysky Ternop. nats. Pedahoh. un-tu im. Volodymyra Hnatiuka. Serii: Biologhiia*. [Scientific Issue Ternopil Volodymyr

## REFERENCES

1. Loboda, N.S. & Gopchenko, E.D. (eds). (2016). *Vodnyi rezhym ta hidroekologichni kharakterystyky Kuialnytskoho lymanu [Water regime and hydroecological characteristics of Kuyalnitsky liman]*. Odessa State Environmental University. Odessa : TEC. Available at: <http://eprints.library.odeku.edu.ua/648/> (in Ukr.)
2. Burkynskyi, B.V., Babov, K.D., Nikipelova, O.M. et al. (2019). *Kuialnytskyi lyman: realii ta perspektyvy rekreatsiinoho vykorystannia [Kuyalnitsky estuary: realities and prospects of recreational use]*. Institute of market and economic & ecological researches, SI Ukrainian Research Institute of Medical Rehabilitation and Resort Therapy of the Ministry of Health of Ukraine. Odessa : Helvetica. (in Ukr.)
3. *Zakon Ukrainy «Pro oholoshennia pryrodnoi terytorii Kuialnytskoho lymanu Odeskoi oblasti kurortom derzhavnoho znachennia» vid 5 hrudnia 2018 roku № 2637-VIII. [Law of Ukraine No.637-VIII “On declaring the natural territories of the Kuialnyk Estuary in Odesa Region as a resort of state importance” dated December 5, 2018]*. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2637-19#Text> (Accessed: 10.10.2022) (in Ukr.)
4. *Ukaz Prezidenta Ukrainy №3/2022 “Pro stvorennia natsionalnogo pryrodnogo parku “Kuialnytskyi” [Decree of the President of Ukraine No. 3/2022 “On Establishment of the Kuialnyk National Nature Park”]*. Available at: <https://www.president.gov.ua/documents/32022-41117> (Accessed: 10.10.2022) (in Ukr.)

- Hnatiuk National Pedagogical University. Series: Biology*, 3-4 (64), pp. 130-133. (in Ukr.)
15. Tuchkovenko, Y.S., Kushnir, D.V., & Loboda, N.S. (2017). Results of the numerical modelling of intra-annual variability of hydrological characteristics of the Kuialnytskyi Lyman lagoon under various runoff volumes of the Velykyi Kuialnyk River. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, 20, pp. 105-119. (in Russ.) <https://doi.org/10.31481/uhmj.20.2017.13>
16. Loboda, N.S., Otchenash, N.D., & Hryb, O.M. (2018). Description of artificial reservoirs within the catchment area of the Great Kuyalnik River and regulation of their operation at the present time and in future. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, 21, pp. 50-59. (in Ukr.) <https://doi.org/10.31481/uhmj.21.2018.06>
17. Loboda, N.S., Kuza, A.M., & Kozlov, O.M. (2019). Assessment of possible changes of water resources of the rivers belonging to the Kuyalnytskyi Liman catchment at the beginning of the 21st century (2021 -2050) according to the models of the climatic scenario RCP4.5. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, (23), pp. 42-53. (in Ukr.) <https://doi.org/10.31481/uhmj.23.2019.05>
18. Loboda, N.S., Tuchkovenko, Yu.S., Grib, O.M. & Kushnir, D.V. (2019). Obgruntuvannia efektyvnosti zakhodiv po vidnovlenniu stoku richky Velykyi Kuialnyk z metoiu stabilizatsii hidrolohichnoho rezhymu Kuialnytskoho lymanu na pochatku XXI storichchia (do 2030) [Justification of effectiveness of the measures aimed at restoring the runoff of the Velykyi Kuialnyk River in order to stabilize the hydrological regime of the Kuialnyk Estuary at the beginning of the 21st century (by 2030)]. *Problemy hidrolohii, hidrokhimii, hidroekolohii*. [Problems of hydrology, hydrochemistry, hydroecology]. Kyiv: Nika-Center. pp. 100-115. (in Ukr.) Available at: <http://eprints.library.odku.edu.ua/6655/>
19. *Scientific studies of the hydroecological regime and condition of the Kuialnyk Estuary and seawater taken from the Odesa Bay: scientific and research works on hydrological, hydrochemical, hydrobiological and medical-biological studies of the condition of the Kuialnyk Estuary and seawater taken from the Odesa Bay. Volume 1. Hydrological studies. Generalized conclusions and recommendations*. Final report on research activity (scientific supervisor: Yu. S. Tuchkovenko). UkrISTEI database, library of Odesa State Environmental University. SR No. 0121U113773, 2021. (in Ukr.)
20. *Scientific studies of the hydroecological regime and condition of the Kuialnyk Estuary and seawater from the Odesa Bay: scientific and research works on hydrological, hydrochemical, hydrobiological and medical-biological studies of the condition of the Kuialnyk Estuary and seawater taken from the Odesa Bay. Volume 2. Hydrochemical studies*. Final report on research activity (scientific supervisor V. M. Komorin). Library of Odesa State Environmental University. SR No. 0121U113773, 2021. (in Ukr.)
21. *Scientific studies of the hydroecological regime and condition of the Kuialnyk Estuary and seawater from the Odesa Bay: scientific and research works on hydrological, hydrochemical, hydrobiological and medical-biological studies of the condition of the Kuialnyk Estuary and seawater taken from the Odesa Bay. Volume 3. Hydrobiological studies*. Final report on research activity (scientific supervisor O. V. Koshelev). Library of Odesa State Environmental University. SR No. 0121U113773, 2021. (in Ukr.)
22. *Scientific studies of the hydroecological regime and condition of the Kuialnyk Estuary and seawater from the Odesa Bay: scientific and research works on hydrological, hydrochemical, hydrobiological and medical-biological studies of the condition of the Kuialnyk Estuary and seawater taken from the Odesa Bay. Volume 4. Medico-biological studies*. Final report on research activity (scientific supervisor K. D. Babov, O.I. Tsurkan). Library of Odesa State Environmental University. SR No. 0121U113773, 2021.
23. *Environmental standards of marine environment quality* (2018). Odesa: Ukrainian Scientific Center of Ecology of the Sea, 2008. (in Ukr.) Available at: [http://www.sea.gov.ua/uploads/state\\_ecological\\_mar\\_env.pdf](http://www.sea.gov.ua/uploads/state_ecological_mar_env.pdf) (Accessed: 25.10.2022)
24. *Bijlagen van het Verslag der Handelingen van de Tweede Kamer der Staten-Generaal* (1994). Netherlands, vergaderjaar 1993-1994, 21250, Derde Nota Waterhuishouding, Nr.28, Evaluatienota Water.
25. Tuchkovenko, Yu.S. & Hopchenko, E.D. (eds). (2012). *Aktual'nye problemy limanov severo-zapadnogo Prichernomor'ya* [Actual problems of lagoons of the northwestern Black Sea region]. Odesa State Environmental University. Odesa: TES Publ. (in Ukr.)
26. Migas, R.V. (2021). Influence of the connecting channel Kuyalnyk – Black Sea on zooplankton indicators. *Marine ecological journal*, 15(1), pp. 63-69. (in Ukr.)
27. Masyuk, N.P. (1973). *Morfologiya, sistematika, ekologiya, geograficheskoe rasprostraneniye roda Dunaliella Teod. i perspektivy ego prakticheskogo ispol'zovaniya* [Morphology, systematics, ecology, geographical distribution of the genus Dunaliella Teod. and prospects for its practical use]. Kyev: Naukova dumka. (in Russ.)
28. Proshkina-Lavrenko, A.I. & Alfimov, N.M. (1954). Ob ispol'zovanii diatomovykh vodorosley pri otsenke sanitarnogo sostoyaniya morskikh vod [On the use of diatoms in assessing the sanitary state of sea waters]. *Botan. Zhurn* [Botanical journal], 39(1), pp.108-112.
29. Kuzmynova, N.S. & Rudneva, I.I. (2005). Vliyaniye stochnykh vod na morskije vodorosli [Influence of wastewater on seaweed]. *Algologiya* [Algology], 15(1), pp. 128 -141. (in Russ.)
30. Garkusha, O.P. (2021). Phytoplankton's contemporary state of the Kuialnytsky Estuary in conditions of connection with the Black Sea. *International scientific conference "Marine ecosystems: research and innovations"*: Book of abstracts, 27-29 October. Odesa.
31. Koshelev, A.V. (2015). Ecomorphological features *Artemia parthenogenetica* (Bowen and Sterling, 1978) Kuyalnik Estuaries. *Naukovyy zapysky Natsional'nyy pedahohichnyy universytet imeni Volodymyra Hnatyuka. Seriya: Biolohiya. Spetsialnyi vypusk: Hidroekolohiia* [Scientific notes of Ternopil National Pedagogical University named after Volodymyr Hnatyuk. Series: Biology. Special issue: Hydroecology], 3-4(64), pp. 351-354 (in Ukr.)
32. Koshelev, O.V. (2021). Determination of the chronic toxicity of water of small watercourses of the Kuyalnitskiy Estuary by the method of bioassay. *Marine ecological journal*, 15(1), pp. 45-51. (in Ukr.)
33. Loboda, N., Grib, O., Yarov, Y. & Grib, K. (2016). Hydrochemical indicators and water quality of

- watercourses and water reservoirs in south-eastern part of Kuyalnik liman watershed (beams Gildendorfskaya, Korsuntsovskaya, rerash lakes). *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*, 3(42), pp.42-49.
34. Gerasimiuk, V.P., Shichaleeva, G.N. & Ennan, A.A. (2011). Species composition of algae of the Kuialnyk Estuary (North-Western Black Sea area, Ukraine). *Algologiya [Algology]*, 21(2), pp. 226-240. (in Russ.)
  35. Minicheva, G.G. & Kalashnik, K.S. (2015). [Forecast of macrophytobenthos development of the Kuyalnytsky estuary at different levels of salinity]. *Pryrodno-resursnyi potentsial Kuialnytskoho ta Khadzhybeiskoho lymaniv, terytorii mizhlymannia: suchasnyi stan, perspektyvy rozvytku: materialy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii [Natural resource potential of Kuyalnik and Khadzhibei estuaries, the territory between the estuaries: Modern state, outlook of development: Proceedings of All-Ukrainian theoretical and practical conference]*. 18-20 November 2015). Odesa: TES, pp. 34-37. (in Ukr.)
  36. Minicheva, G.G. & Kalashnik, K.S. (2020). Formation of phytoperiphyton on the hydrotechnical structures of the connecting channel Black sea – Kuyalnitsky liman. *Marine ecological journal*, 14(1), pp. 25-33. (in Ukr.)
  37. Minicheva, G. (2013). Use of the Macrophytes Morphofunctional Parameters to Asses Ecological Status Class in Accordance with the EU WFD. *Marine Ecological Journal*, XII(3), pp. 5 – 21.

## RESULTS OF THE HYDROLOGICAL, HYDROCHEMICAL, BIOLOGICAL AND MEDICO-HYDROBIOLOGICAL STUDIES OF THE KUIALNYK ESTUARY

**Yu. S. Tuchkovenko<sup>1</sup>, O. P. Garkusha<sup>2</sup>, O. M. Gryb<sup>1</sup>,  
S. G. Gushcha<sup>3</sup>, Yu. M. Denha<sup>4</sup>, K. S. Kalashnik<sup>2</sup>,  
Kh. O. Koieva<sup>3</sup>, V. N. Komorin<sup>4</sup>, O. V. Koshelev<sup>2</sup>,  
G. G. Minicheva<sup>2</sup>, N. S. Loboda<sup>1</sup>, A. L. Pohrebnyi<sup>3</sup>,  
Yu. V. Oleynik<sup>4</sup>, S. M. Stepanenko<sup>1</sup>, O. I. Tsurcan<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Odessa State Environmental University,  
15 Lvivska Str., Odesa, 65016, Ukraine,  
[sience@odeku.edu.ua](mailto:sience@odeku.edu.ua), <https://orcid.org/0000-0003-3275-9065>

<sup>2</sup> Institute of Marine Biology of the NAS of Ukraine,  
37 Pushkinska Str., Odesa, 65048, Ukraine,  
[imb@nas.gov.ua](mailto:imb@nas.gov.ua), <https://orcid.org/0000-0002-2550-5369>

<sup>3</sup> State Institution «Ukrainian Research Institute of Medical  
Rehabilitation and Resort Therapy of the Ministry of Health of Ukraine»  
6 Lermontovskiy lane, Odesa, 65014, Ukraine,  
[otsurkan75@gmail.com](mailto:otsurkan75@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-7816-5425>

<sup>4</sup> Ukrainian Scientific Center of Ecology of the Sea,  
89 Frantsuzsky Blvd., Odesa, 65009, Ukraine,  
[aceem@te.net.ua](mailto:aceem@te.net.ua), <https://orcid.org/0000-0002-4847-0496>

The Kuialnyk Estuary belongs to the group of closed estuaries of the Northwestern Black Sea coast and is a unique water body of national importance with therapeutic properties. The natural territories of the Kuialnyk Estuary were declared as a resort of national importance and form a part of the Kuialnyk National Nature Park.

The purpose of the research is to introduce the results of the hydrological, hydrochemical, hydrobiological and medico-biological studies of the condition of the Kuialnyk Estuary and seawater in the Odesa Bay that were conducted in 2021 and to compare them with the results of previous years. This would help to determine the conditions under which the estuary's natural system is functioning, to ensure preservation and restoration of its natural resources, to prevent their pollution, clogging and depletion, as well as to identify changes of the natural resources of the Kuialnyk Estuary in the context of its artificial replenishment with seawater from the Odesa Bay and varying hydro-ecological factors.

The general conclusion is as follows: replenishment of the estuary with seawater during the cold period of 2020-2021, increasing amount of atmospheric precipitation and decreasing rate of evaporation from the estuary's water surface in 2021 raised the Kuialnyk Estuary's water level. This led to significant improvement of the estuary's hydro-ecological condition compared to 2020, however, because of its contamination with petroleum hydrocarbons, some toxic and polycyclic aromatic hydrocarbons, the water quality in 2021 is still assessed as satisfactory. The quality of the bottom sediments of the Kuialnyk Estuary from the environmental perspective is assessed as very

poor because of their contamination with petroleum hydrocarbons, organochlorine pesticides and polycyclic aromatic hydrocarbons. The physicochemical composition of colloidal dispersions of the Kuialnyk Estuary's peloids is barely different as compared to previous years. As per indicators of Eh (2017-2021) and pH (2020-2021), the quality of the peloids within the area used by the sanatorium did not meet the established conditions and the Medical (Balneological) Conclusion. Compared to 2020, the sanitary and microbiological condition of peloids improved in 2021, however, was still unsatisfactory. The characteristics of peloids' biological activity during different periods of studies correlate with general mineralization fluctuations. Maintaining oil mineralization at a level not higher than 250 g/dm<sup>3</sup> is quite important in order to preserve the unique deposit of natural healing resources of the Kuialnyk Estuary.

Therefore, solving the following problems remains a priority: reducing the mineralization of the estuary's water via increase of the rate of clean fresh water supply from various sources instead of using salty seawater; preventing the pollution from anthropogenic sources from entering the estuary (through water runoff from the watercourses flowing into the Kuialnyk Estuary such as the chute from the sandbar, Korsuntsivska and Hildendorfska gullies and others).

**Keywords:** the Kuialnyk Estuary, hydrological, hydrochemical, hydrobiological, medico-biological studies, current condition.

*Подання до редакції : 03. 11. 2022*

*Надходження остаточної версії : 20. 11. 2022*

*Публікація статті : 27. 12. 2022*

УДК 504.062

## **ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ «ЗЕЛЕНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ» ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ КОМФОРТНОСТІ ПРОЖИВАННЯ НАСЕЛЕННЯ ОДЕСИ**

**К. Д. Гусєва, Т. А. Сафранов**

*Одеський державний екологічний університет,  
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, kate.gusyeva@gmail.com*

Робота спрямована на виявлення перспектив розвитку «зеленої інфраструктури» як елементу комфортності проживання міського населення Одеси.

Стисло наведено природно-кліматичну характеристику міста. Виконано огляд дослідження питання розбудови «зеленої інфраструктури» на урбанізованих територіях та її зв'язок з комфортністю проживання населення в сучасних роботах українських та іноземних науковців, таких як Бонецький, Васильєва, Енрікес, Жень, Зібцева, Катберт, Картер, Ліу, Мартінс, Назарук, Ньюел, Очеретний, Прищепа, Рендекова, Рахман, Сакіх, Фішер, Хуанг, Шолок та ін.

Розраховано відсоток площі зелених насаджень міста, що припадає на 1 мешканця, відносно нормативного значення, наведено карту забезпеченості мешканців Одеси зеленими насадженнями, а також визначено найбільш та найменш озеленені райони міста.

Охарактеризовано видовий склад флори міста, у т. ч. види аборигенних деревно-чагарникових і трав'янистих рослин та тих, що були завезені з інших країн і континентів.

В ході виявлення перспективних шляхів розвитку «зеленої інфраструктури» в межах території Одеси, було визначено, що для підвищення комфорту проживання в місті необхідне збільшення частки «зеленої» інфраструктури, зокрема, формування зеленого поясу Одеси та створення зелених дахів і стін.

Наведено рекомендації щодо майбутнього розширення існуючого проєкту формування зеленого поясу Одеси, що передбачає систему екологічних коридорів навколо історичного центру міста, на всі райони міста та околиці.

Зазначені головні функції та переваги зелених дахів і стін щодо покращення якості життя міського населення. З огляду на досить стрімкі зміни клімату, під час створення нових зелених зон рекомендовано звернути увагу на посухостійкі низькорослі дерева, чагарники та багаторічні високорослі трави, передусім, місцевого походження.

Вказано основні можливі напрямки подальших досліджень, зокрема, щодо визначення оптимального набору насаджень та ефективних підходів до впровадження елементів «зеленої» інфраструктури.

**Ключові слова:** зелена інфраструктура; комфортність проживання; насадження; зелений пояс; міське сільське господарство; посухостійкі рослини; урбанізована територія.

### **1. ВСТУП**

*Актуальність.* В останні роки Одеса, як і окремі великі міста України, характеризується зменшенням населення, високим рівнем захворюваності та смертності. Одним з відомих кліматичних ризиків є ефект міського острова тепла, що посилює потепління та посушливість клімату в місті. Для подолання наявного кризового стану та підвищення комфорту проживання в цьому урбанізованому середовищі необхідна розробка стратегії міського розвитку, що передбачатиме збільшення частки «зеленої» інфраструктури.

Термін «зелена інфраструктура» позначає стратегічно сплановану та керовану мережу

природних зон та відкритих просторів, що надає широкий спектр екосистемних послуг [1]. Зелені зони є буфером між урбанізованими комплексами та природними екосистемами. Вони є ефективними фільтрами для очищення повітря, зменшують силу вітру, регулюють тепловий режим, зволожують повітря, зменшують рівень акустичного навантаження тощо. Крім того, вони облагороджують природні складові урбанізованого середовища та створюють естетичний комфорт для жителів міста, покращують їхнє фізичне та психологічне здоров'я населення. Міські зелені зони, зокрема парки, сквери, прибудинкові сади або спортивно-рекреаційні зони, надають

мешканцям можливість для відпочинку, релаксації та спілкування.

Оскільки за даними ООН (2019) передбачається, що в 2050 році 68% населення планети проживатимуть у містах, у міському плануванні надзвичайно важливо забезпечити наявність достатньої кількості та якості зелених насаджень для збереження можливостей природної рекреації.

*Метою дослідження* є виявлення перспектив розвитку «зеленої інфраструктури» як елементу комфортності проживання населення міста Одеса.

*Об'єкт дослідження* – «зелена інфраструктура» урбанізованих територій України.

*Предмет дослідження* – перспективні шляхи розвитку «зеленої інфраструктури» в межах території міста Одеси.

## 2. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Питання розбудови «зеленої інфраструктури» на урбанізованих територіях та її зв'язок з комфортністю проживання населення розглядаються в численних опублікованих роботах українських та іноземних дослідників.

В роботі Т.В. Васильєвої та ін. [1] досліджувалися рослини як невід'ємна частина та чинник покращення міського середовища. В.П. Очеретним та ін. [2] проведено аналіз найзеленіших міст України та визначено нормативну площу озеленення в усіх великих містах України. О.В. Зібцевою [3] проаналізовано відповідність осучаснених будівельних норм щодо формування зелених насаджень в міському плануванні концепції екологічно-збалансованого розвитку міст.

А.М. Прищепа [4] провів аналіз екосистемних послуг зелених насаджень урбанізованих територій, які направлені на покращення якості довкілля та добробуту людини. Зокрема, ним досліджено забезпечувальні, регулюючі, культурні, підтримуючі екосистемні послуги зелених насаджень, а також запропоновано такі заходи з покращення системи озеленення, як інвентаризація зелених насаджень, належний догляд та розширення площ зелених насаджень у приміських зонах. І.В. Шолок [5] розглянув просторові особливості формування зеленої зони у Львові, забезпеченість населення озелененими територіями, способи та перспективи розширення зеленої зони в межах міста. Він відзначив, що хоча показник загального озеленення міста є достатнім, деякі райони

Львова, в особливості щільно забудовані території, все ж недостатньо забезпечені зеленими насадженнями. Також, ним визначено наступні проблеми на територіях під зеленими насадженнями: несанкціоновані рубки та забудови, недостатня доглянутість, значна засміченість та їх незадовільний загальний якісний стан. В дослідженні сучасного стану фіторізноманіття на території Львова, виконаному М.М. Назаруком та ін. [6], зазначено, що зростання щільності забудови на території міста призводить до зниження щільності зелених насаджень, а отже сприяє зниженню якості життєвого середовища мешканців. Для покращення ситуації, було рекомендовано провести повну інвентаризацію і паспортизацію зелених насаджень із виданням технічних умов на озеленення, розробити плани щодо садіння дерев і чагарників згідно з Комплексною зеленою зоною міста, а також ввести в насадження нові молоді екземпляри з метою відновлення колекції цінних у дендрологічному відношенні рослин.

Просторово-статистичний підхід Y. Sakieh et al. [7] дозволив визначити, що модель більш зв'язаних та компактних зелених зон поблизу центрів забруднення, якими є транспортна мережа, значно послаблює вплив шуму, а зони забудови повинні мати низьку щільність та перемежовуватися зеленими насадженнями.

Останнім часом проводилося чимало досліджень щодо пом'якшення ефекту «міського острова тепла» [8, 9, 10] на прикладі окремих міст Японії, Китаю, США та ін. Поряд зі збільшенням альбедо міського середовища (покриття), рекомендується розвиток «зеленої інфраструктури», передусім, лісопарків, зелених дахів і стін, а також садів на дахах. В умовах посушливих територій пропонується використовувати зрошування ґрунтовими водами або побутовими стічними водами після належної очистки. Для максимального теплового комфорту протягом року, в центрі міст найкраще висаджувати невеликі дерева, чагарники та трав'яні рослини на відкритих галявинах, а в передмісті – високі дерева з широкою кроною.

В роботі Н. Liu et al. [11] представлений програмний інструмент з оцінки забезпеченості міст зеленими зонами «Urban Nature Access model», що знаходиться у вільному доступі на платформі InVEST та базується на цільовому критерії доступності у 10 м<sup>2</sup> на мешканця.

Дослідження J.C. Fisher et al. [12] показали, що збільшення видового різноманіття зелених насаджень, зокрема, додавання декоративних

рослин у міських садах, позитивно впливає на ментальне здоров'я, знижує рівень стресу, сприяє відпочинку та покращує емоційний стан мешканців. V. Carter, C. Henríquez [13] запропонували використання в міському плануванні концепції біофільного урбанізму, що передбачає усталене впровадження біофільних елементів та природо-орієнтованих рішень (парків, алей, лісів, річок, зелених дахів і стін) за підтримки урядових чи місцевих програм.

J.P. Newell et al. [14] розглядає перспективи розвитку міського сільського господарства як багатофункціональної розосередженої зеленої інфраструктури. Прикладами можуть бути як ферми на приватних і громадських міських ділянках, так і теплиці у шкільних подвір'ях, городи на балконах, дахах і присадибних ділянках, підпільні сади на покинутих ділянках та багатоповерхові вертикальні ферми. Таке локальне виробництво овочів та фруктів сприятиме покращенню якості харчування, ментального здоров'я та привабливості місцевості.

Дуже цікавий аспект висвітлений, A. Rendeková [15], чия робота присвячена такому елементу зеленої інфраструктури, як насадження вздовж трамвайних та залізничних колій. У «зелених коліях» бур'янова рослинність замінюється спеціально підібраними травами та суккулентами, які мають місцеве походження, соле- та посухостійкі, чим збільшується біологічне різноманіття міського біоценозу.

В роботах B. Martins [16], B. Huang et al. [17] досліджується доступність зелених зон для вразливих груп населення – дітей, людей похилого віку тощо. Ними рекомендується, щоб в житлових районах принаймні одна зелена зона площею 2 га знаходилася в межах 300 м від будинків. Також пропонується створення сприятливої для віку інфраструктури в парках (пандуси і т. п.), виділення невеликих ділянок насаджень у житлових мікрорайонах та розвиток вертикального озеленення.

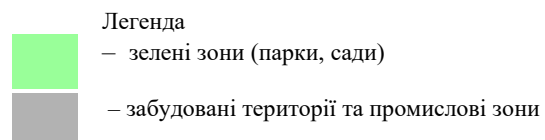
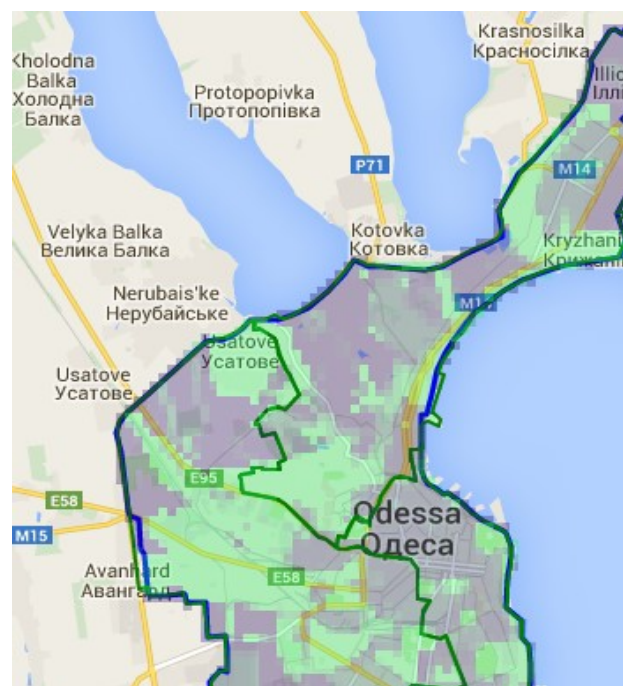
### 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Проведений структурний аналіз дозволив визначити стратегію адаптації для досліджуваної території, яка повинна включати такі заходи, як: вдосконалення системи охорони здоров'я та служб соціального забезпечення; розвиток екологічно безпечних рекреаційно-розважальних можливостей; управління та підтримка місцевих курортів; зменшення викидів забруднюючих

речовин у повітряний басейн та їх вмісту в скидах стічних та інших зворотних вод, а також обсягів утворення і накопичення твердих муніципальних відходів; мінімізація техногенного впливу на прибережну зону; покращення рівня екологічної культури широких верств міського населення.

Один із пріоритетних напрямків розвитку урбанізованої території, визначених у діючих стратегічних документах, передбачає забезпечення екологічно сприятливих умов життя, покращення якості та доступності медичних послуг та просування здорового способу життя.

Місто Одеса розташоване у приморській смузі, на північно-західному узбережжі Чорного моря, та характеризується помірно-континентальним степовим кліматом. Площа зелених насаджень міста Одеса становить 742 га, що у розрахунку на 1 жителя міста складає 7,4 м<sup>2</sup>/особу і становить для міста 61,7% проти діючого в державі нормативу у 12 м<sup>2</sup>/особу для міст рівня Одеси (рис. 1).



**Рис. 1** – Карта забезпеченості мешканців Одеси зеленими насадженнями (усереднена за площею зелених насаджень) [18]

**Fig. 1** – Map of the provision of green spaces for Odessa residents (averaged by the area of green spaces) [18]

За даними Департаменту екології та розвитку рекреаційних зон Одеської міської ради, найбільш озелененими є Малиновський і Київський райони, в основному, за рахунок приватного сектору. У Приморському і Суворовському районах кількість зелених зон значно менша. При цьому, якщо в центрі міста на кожного мешканця припадає близько 4 м<sup>2</sup> зелених насаджень у середньому (при нормі в 12 м<sup>2</sup>), то в великих житлових масивах на душу населення припадає не більше 1 м<sup>2</sup> насаджень. На деяких ділянках Суворовського району і в місці розташування аеропорту, в Малиновському районі, питома кількість зелених насаджень ще менша. Наприклад, у Суворовському районі Одеси, кількість зелених насаджень на одного жителя становить лише 17% від національного нормативу.

Слід зауважити, що Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) в якості необхідної норми для забезпечення здоров'я населення пропонує ще більш високу цифру – 50 м<sup>2</sup> на одного міського жителя.

Видовий склад міської флори визначається як географічним розташуванням (на півдні Степової зони України), так і застосовуваними підходами до висаджування. Зазначимо, що якщо у видовому складі флори міста задіяно менше 10 видів аборигенних деревно-чагарникових рослин, а в озелененні міста зазвичай використовується близько 800 видів і форм, завезених з інших країн і континентів. Як приклад, *Ginkgo biloba* родом з Китаю, інші представники голонасінних походять зі Східної Азії (ялівець, ялина, сосна), а символ Одеси – *Robinia pseudoacacia* («біла акація») та інші квітучі рослини (гледичія колюча *Gleditsia triacanthos*, кентуккське кавове дерево *Gymnocladus dioica*, клен ясенелистий *Acer negundo*, тополя дельтолиста *Populus deltoides* тощо) – вихідці з Америки. Останні добре переносять забруднення повітря та мощення вулиць, затримують пил та шкідливі гази і є досить декоративними. Серед близько 900 видів трав'янистої міської флори понад третину становлять бур'яни. Частина з них під час цвітіння є алергенною (наприклад, амброзія полинолиста *Ambrosia artemisiifolia*), хоча ці рудеральні види, які найкраще пристосовані до екстремальних умов життя, є потужним джерелом фотосинтезу в місті.

Вивчення світової та національної практики для цілей цього дослідження дає можливість знайти перспективні рішення питання розвитку «зеленої інфраструктури» в Одесі.

Так, найефективнішим способом розширення зелених зон є формування зеленого поясу Одеси, тобто системи екологічних коридорів навколо центру міста, які б об'єднали зелені насадження на приморських схилах з усіма існуючими парками, садами та скверами зеленими зв'язками, смугами бульварів та озеленених вулиць (проспектів), а також за рахунок створення нових зон відпочинку замість закинутих промзон.

Вперше ідея створення «Зеленого поясу Одеси» була запропонована Одеським державним екологічним університетом спільно з Одеською державною академією будівництва та архітектури та Асоціацією архітекторів Одеси (рис. 2). Вказаний проєкт, що спрямований на створення комфортних умов і привабливих інвестиційних майданчиків для будівництва за межами історичного центру, передбачає сполучення Грецького і Стамбульського скверів, центрального парку імені Т.Г. Шевченка, парку «Юбілейний», парку Перемоги, Артилерійського парку, скверів імені Г. Гамова і Савицького та Дюковського парку.

У перспективі, видається доцільним, щоб мережа таких зелених коридорів була розширена на всі райони міста та передмістя, і передумови для цього, у вигляді низки парків, скверів та садів, вже існують.

У доповнення до екологічних коридорів, перспективним видається популяризація створення по всій території міста зелених дахів, які сприяють адаптації до змін клімату та збільшенню біорізноманіття, затримують зливи води, покращують якість повітря, поглинають CO<sub>2</sub>, надають мешканцям простір для міського сільського господарства та рекреації, а також зелених стін, які, в свою чергу, дозволяють зменшити шумове забруднення та споживання енергії на штучне кондиціонування.

Стосовно питання визначення видів рослин, які найкраще підходять для створення зелених зон, потрібно враховувати їх еколого-кліматичні характеристики та стійкість до антропогенного навантаження на урбанізованій території.

Основним джерелом шумового забруднення є автотранспорт, який генерує 60-80% міського шуму. За даними спостережень Одеської міської санітарно-епідеміологічної станції, у 2012 р. та у 2015 р. на перехрестях основних транспортних магістралей міста рівень шуму складав 85-92 дБ у денний час. За нашими вимірами, у 2021-2022 рр. на всіх досліджених вулицях також перевищувався допустимий норматив рівня шуму (55 дБ) для денного часу.

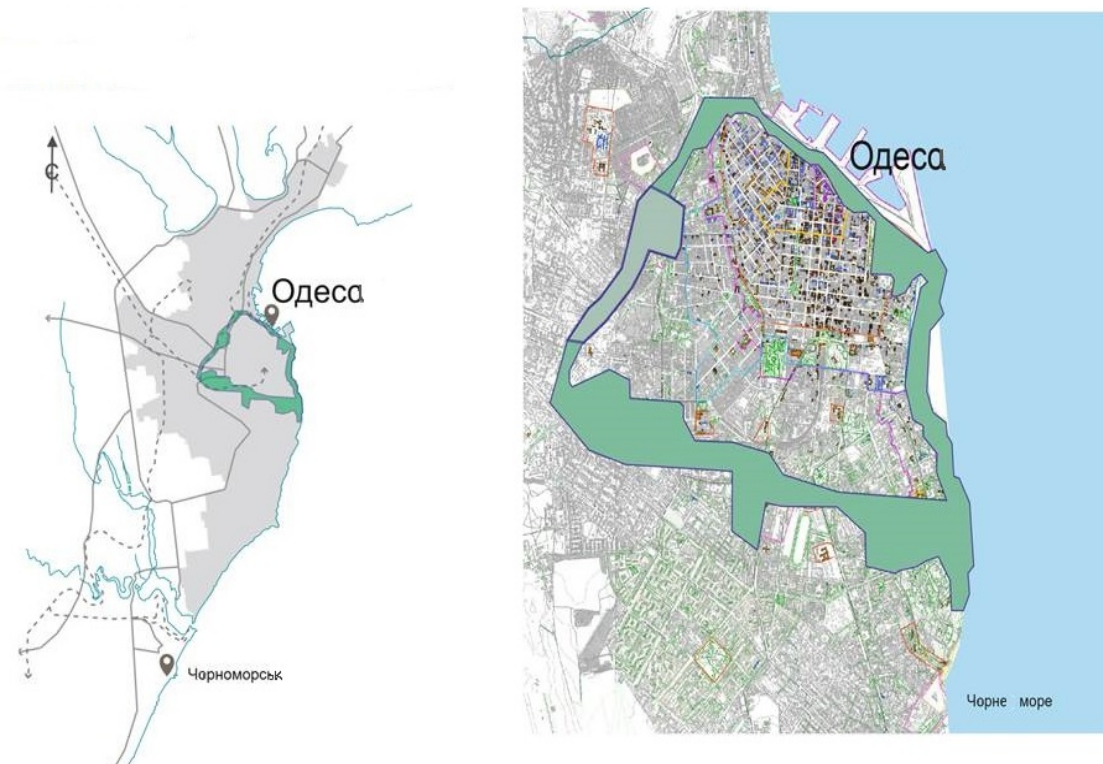


Рис. 2 – Формування природного каркасу «Зелений пояс Одеси» [19]

Fig. 2 – Formation of the natural network 'Green Belt of Odesa' [19]

Для різних перехресть зафіксовані наднормативні для денного часу рівні шуму 65-84 дБ у жовтні 2021 р. та 69-88 дБ у лютому 2022 р. Вимірний і розрахований рівень шуму на перехрестях Київського району Одеси восени і взимку перевищують встановлений нормативами допустимий рівень.

За даними вимірювань, взимку 2022 р. на досліджуваних перехрестях та вулицях у більшості випадків зафіксовано збільшення рівня шумового забруднення, що, можливо, зумовлено відсутністю вегетації зелених насаджень [20], тому збільшення рівня озеленення міської території сприятиме зменшенню акустичного навантаження.

З метою нейтралізації низки шкідливих речовин у міському повітрі, згідно з дослідженнями А.С. Бонецького та ін. [21], рекомендується висаджувати такі дерева та чагарники, як кінський каштан, вишня повстиста, платан західний, туя східна, кедр атлаский та ефіроолійні рослини. Звісно, в умовах досить стрімких змін клімату, зокрема зростання посушливості, необхідно провести сучасні дослідження щодо оптимального набору рослин для озеленення. Так, в агрономічних публікаціях останніх років з'являється інформація про можливість вирощування в

умовах півдня України екзотичних декоративних та плодових дерев, таких як павловнія, катальпа, сумах, дуб червоний, клен червоний, вишня японська, гранат, мигдаль і олива, а в працях екологів – про доцільність висаджування неінвазійних видів низькорослих дерев та багаторічних високорослих трав (злакових, пирію бессарабського, лаванди), які потребують значно легшого догляду, ніж газонна трава.

Таким чином, під час створення нових зелених зон у місті Одеса варто звернути увагу на посухостійкі та витривалі деревно-чагарникові та трав'яні рослини, притаманні Південнестеповій зоні України. До типових представників рослинного світу такого полиново-злакового степу належать житняк, типчина, полини, терен, шипшина, а також верба біла, верба ламка та обліпіха крушиновидна.

#### 4. ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1) для підвищення комфорту проживання в місті необхідне збільшити частку «зеленої» інфраструктури, зокрема сформувати зелений пояс Одеси та створити зелені дахи і стіни (зелені дахи сприятимуть адаптації до змін клімату та збільшенню біорізноманіття,

затримуватимуть зливи води, покращать якість повітря, поглинати вуглекислий газ, створять мешканцям простір для рекреації, а зелені стіни дозволять зменшити шумове забруднення та споживання енергії на штучне кондиціювання);

2) зелений пояс, що передбачає систему екологічних коридорів навколо історичного центру міста, повинен включати в себе приморські схили, парки, сади, сквери та озеленені бульвари і вулиці, а у перспективі озеленення доцільно розширити на всі райони міста та околиці;

3) під час створення нових зелених зон варто звернути увагу на посухостійкі низькорослі дерева, чагарники та багаторічні високорослі трави, передусім, місцевого походження;

4) для визначення найбільш оптимального набору насаджень, ефективних підходів до впровадження елементів «зеленої» інфраструктури та зон, придатних до озеленення, потрібні подальші дослідження із залученням широкого кола фахівців;

5) виконане дослідження дозволило виявити перспективні шляхи розвитку «зеленої інфраструктури» в межах території міста Одеси.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Васильева Т. В., Коваленко С. Г., Ружицкая И. П. Растения как неотъемлемая часть и фактор улучшения городской среды. *Материалы Международной научно-практической конференции «Экология городов и рекреационных зон»*, 25-26 июня. Одесса: «Астропринт», 1998. С. 31-34.
2. Сучасна тенденція скорочення площі зелених насаджень в світі / Очеретний В. П., Потапова Т. Е., Кузьміна Д. М., Сологор В. М. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. 2017. №2. С. 69-76.
3. Зібцева О. В., Юхновський В. Ю. Аналітична оцінка осучаснених норм озеленення міст. *Біоресурси і природокористування*. 2019. Т. 11. № 5-6. С. 131-140. <http://dx.doi.org/10.31548/bio2019.05.014>
4. Прищепа А. М. Екосистемні послуги зелених насаджень урбосистем. *Наукові доповіді НУБіП України, Серія: Біологія, біотехнологія, екологія*. 2019. №1 (77). <https://doi.org/10.31548/dopovidi2019.01.004>
5. Шолок І. В. Просторовий аналіз зеленої зони та перспективні території її розширення в межах Львова. *Вісник Львівського університету. Серія географічна*. 2014. Вип. 45. С. 417-423.
6. Назарук М. М., Сенчина Б. В., Шолок І. В. Збереження фіторізноманіття як шлях до оптимізації соціоекосистеми міста Львова. *Конструктивна географія і геоекологія. Наукові записки*. 2016. №1. С. 79-85.
7. Green and calm: Modeling the relationships between noise pollution propagation and spatial patterns of urban structures and green covers / Sakieh Y. et al. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2017. 24. Pp. 195-211.

8. Evaluating urban heat island mitigation strategies for a subtropical city centre (a case study in Osaka, Japan) / Zheng T. et al. *Energy*. 2022. 250. Pp. 123-721.
9. Spatial and temporal changes of outdoor thermal stress: influence of urban land cover types / Rahman M. A. et al. *Scientific Reports*. 2022. 12. C. 671. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-04669-8>.
10. Global climate-driven trade-offs between the water retention and cooling benefits of urban greening / Cuthbert M. O. et al. *Nature Communications*. 2022. 13. P. 518. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-28160-8>.
11. A geospatial model of nature-based recreation for urban planning: Case study of Paris, France / Liu H. et al. *Land Use Policy*. 2022. 117. Pp. 106-107.
12. Can biodiverse streetscapes mitigate the effects of noise and air pollution on human wellbeing? / Fisher J. C. et al. *Environmental Research*. 2022. 212. Pp. 113-154.
13. Can Strategic Environmental Assessment (SEA) contribute towards the implementation of biophilic urbanism in urban planning? The case of Chilean Municipal Regulatory Plans / Carter V., Henríquez C. *Environmental Impact Assessment Review*. 2022. 95. Pp. 106-765.
14. Ecosystem services of urban agriculture and prospects for scaling up production: A study of Detroit / Newell J. P. et al. *Cities*. 2022. 125. Pp. 103-664.
15. Comparison of the differences in the composition of ruderal flora between conventional tram tracks and managed green tram tracks in the urban ecosystem of the city of Bratislava / Rendeková A. et al. *Hacquetia*. 2022. 21/1. Pp. 73-88. <http://doi.org/10.2478/hacq-2021-0020>.
16. Martins B. Where to construct new urban green spaces to be at the recommended distance from users and to complement existing ones? A study in five cities of northern Portugal. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2022. 72. Pp. 127-571.
17. Non-linear association between residential greenness and general health among old adults in China / Huang B. et al. *Landscape and Urban Planning*. 2022. 223. Pp. 104-406.
18. Департамент екології та розвитку рекреаційних зон Одеської міської ради, 2016. URL: <http://ecomap.od.ua/> (дата звернення 27.10.2022).
19. Асоціація архітекторів Одесси. Зелений пояс Одесси. URL: <http://www.aao.com.ua/green-belt-odessa/> (дата звернення 27.10.2022).
20. Полетаєва Л. М., Сафранов Т. А., Житкевич Я. Я. Оцінка шумового забруднення урбанізованих територій від автотранспорту (на прикладі міста Одеса). *Екологічні науки*. 2022. Вип. 41. С. 56-61.
21. Итоги интродукции декоративных деревьев и кустарников в условиях ботанического сада и их использование в зелёном строительстве / Боневский А. С., Осадчая Л. П., Филатова С. А. и др. «Экология городов и рекреационных зон»: материалы Международной научно-практической конференции, 25-26 июня. Одесса: «Астропринт», 1998. С. 22-25.

## REFERENCES

1. Vasilieva, T.V., Kovalenko, S.G. & Ruzhytskaya, I.P. (1998). [Plants as an integral part and a factor in improvement of the urban environment]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Ekologiya gorodov i rekreatsionnykh zon [Proceedings of the International Scientific-and-Practical Conference on 'Ecology of Cities and Recreational Areas']*, 25-26 June. Odessa, pp. 31-34. (in Russ.)
2. Ocheretnyi, V.P., Potapova, T.E., Kuzmina, D.M. et al. (2017). Suchasna tendentsiia skorochennia ploshchi

- zelenykh nasadzen' v sviti [A current trend of the shortening area of green plantations in the world]. *Suchasni tekhnologii, materialy i konstruktivni v budivnytstvi [Modern Technologies, Materials and Constructions in Building Industry]*, 2, pp. 69-76. (in Ukr.)
3. Zibtseva, O.V. & Yukhnovskyi, V.Yu. (2019). Analitichna otsinka osuchasnenykh norm ozelenennia mist [Analytical assessment of the modernized standards of greening cities]. *Bioresursy i pryrodokorystuvannia [Bioresources and Nature Management]*, vol. 11 (5-6), pp. 131-140. <http://dx.doi.org/10.31548/bio2019.05.014> (in Ukr.)
  4. Pryshchepa, A.M. (2019). Ekosystemni posluhy zelenykh nasadzen' urbosystem [Ecosystem services of green areas in urban systems]. *Naukovi dopovidi NUBiP Ukrayiny, Seriya: Biologiya, biotekhnologiya, ekologiya [Scientific Reports of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Series: Biology, Biotechnology, Ecology]*, 1 (77). <https://doi.org/10.31548/dopovidi2019.01.004> (in Ukr.)
  5. Sholok, I.V. (2014). Prostorovyi analiz zelenoi zony ta perspektyvni terytorii ii rozshyrennia v mezhakh Lvova [Spatial analysis of the green zone and prospective areas for its expansion within Lviv]. *Visnyk Lvivskoho universitetu, Seriya heohrafichna [Bulletin of Lviv University, Geographical Series]*, 45, pp. 417-423. (in Ukr.)
  6. Nazaruk, M.M., Senchyna, B.V. & Sholok, I.V. (2016). Zberezhennia fitoriznomanitstva yak shliakh do optymizatsii sotsioekosystemy mista Lvova [Conservation of phytodiversity as a way to optimize the socio-ecosystem of the city of Lviv]. *Konstruktyvna heohrafiia i heoekologiya. Naukovi zapysky [Constructive Geography and Geoecology. Scientific Proceedings]*, 1, pp. 79-85. (in Ukr.)
  7. Sakieh, Y. et al. (2017). Green and calm: Modeling the relationships between noise pollution propagation and spatial patterns of urban structures and green covers. *Urban Forestry & Urban Greening*, 24, pp. 195-211.
  8. Zheng, T. et al. (2022). Evaluating urban heat island mitigation strategies for a subtropical city centre (a case study in Osaka, Japan). *Energy*, 250, pp. 123-721.
  9. Rahman, M.A. et al. (2022). Spatial and temporal changes of outdoor thermal stress: influence of urban land cover types. *Scientific Reports*, 12, p. 671. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-04669-8>.
  10. Cuthbert, M.O. et al. (2022). Global climate-driven trade-offs between the water retention and cooling benefits of urban greening. *Nature Communications*, 13, p. 518. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-28160-8>.
  11. Liu, H. et al. (2022). A geospatial model of nature-based recreation for urban planning: Case study of Paris, France. *Land Use Policy*, 117, pp. 106-107.
  12. Fisher, J.C. et al. (2022). Can biodiverse streetscapes mitigate the effects of noise and air pollution on human wellbeing? *Environmental Research*, 212, pp. 113-154.
  13. Carter, V. & Henriquez, C. (2022). Can Strategic Environmental Assessment (SEA) contribute towards the implementation of biophilic urbanism in urban planning? The case of Chilean Municipal Regulatory Plans. *Environmental Impact Assessment Review*, 95, pp. 106-765.
  14. Newell, J.P. et al. (2022). Ecosystem services of urban agriculture and prospects for scaling up production: A study of Detroit. *Cities*, 125, pp. 103-664.
  15. Rendeková, A. et al. (2022). Comparison of the differences in the composition of ruderal flora between conventional tram tracks and managed green tram tracks in the urban ecosystem of the city of Bratislava. *Hacquetia*, 21/1, pp. 73-88. <https://doi.org/10.2478/hacq-2021-0020>.
  16. Martins, B. (2022). Where to construct new urban green spaces to be at the recommended distance from users and to complement existing ones? A study in five cities of northern Portugal. *Urban Forestry & Urban Greening*, 72, pp. 127-571.
  17. Huang, B. et al. (2022). Non-linear association between residential greenness and general health among old adults in China. *Landscape and Urban Planning*, 223, pp. 104-406.
  18. Departament ekolohii ta rozvytku rekreatsinykh zon Odessko miskoi rady [Department of Ecology and Development of Recreation Areas at Odesa City Council] (2016). Available at: <http://ecomap.od.ua/> (Accessed: 27.10.2022) (in Ukr.)
  19. Assotsiatsiya arkhitektov Odessy. Zelenyi poyas Odessy [Association of Architects of Odessa. Green Belt of Odessa]. Available at: <http://www.aao.com.ua/green-belt-odessa/> (Accessed: 27.10.2022) (in Russ.)
  20. Poletaieva, L.M., Safranov, T.A. & Zhytkevych, Ya.Ya. (2022). Otsinka shumovoho zabrudnennia urbanizovanykh terytorii vid avtotransportu (na prykladi mista Odessa) [Assessment of noise pollution of urban areas from motor transport (with the city of Odesa taken as an example)]. *Ekologichni nauky [Environmental Sciences]*, 41, pp. 56-61. (in Ukr.)
  21. Bonetskiy, A.S., Osadchaya, L.P., Filatova, S.A. et al. (1998). [Results of the introduction of decorative trees and shrubs in the conditions of a botanical garden and their use in green construction]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Ekologiya gorodov i rekreatsionnykh zon [Proceedings of the International Scientific-and-Practical Conference on 'Ecology of Cities and Recreational Areas']*, 25-26 June. Odessa, pp. 22-25. (in Russ.)

## PROSPECTS FOR GREEN INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT TO IMPROVE THE LIVING COMFORT FOR THE POPULATION OF ODESA

K. D. Husieva, T. A. Safranov

Odessa State Environmental University,  
15 Lvivska Str., 65016, Odesa, Ukraine, kate.gusieva@gmail.com

The paper is aimed at identification of the prospects for development of green infrastructure as an element of the comfort of living for the urban population of Odesa.

The authors briefly described the natural and climatic characteristics of the city. An overview of the research into the development of green infrastructure in urban areas and its connection with the comfort of living for the population in the latest papers of Ukrainian and foreign scientists, such as Bonetskyi, Carter, Cuthbert, Fisher, Henriquez, Huang, Liu, Martins, Nazaruk, Newell, Ocheretnyi, Pryshchepa, Rendekova, Rahman, Sakieh, Sholok, Vasylieva, Zheng, Zibtseva, etc., was performed.

The percentage of the city's green space area per resident was calculated and compared to the normative value, a map of the provision of Odesa residents with green spaces was given, and the city districts with maximum and minimum green areas were identified.

The paper characterized the species composition of the city's flora, including the species of native woody, shrubby and herbaceous plants and those imported from other countries and continents.

During identification of promising ways to develop green infrastructure within the territory of Odesa, the authors found that for improvement of the comfort of living in the city it is necessary to increase the share of green infrastructure, in particular, to form the green belt of Odesa and create green roofs and walls.

The authors gave recommendations for the future expansion of the existing project on formation of the green belt of Odesa, which provides for a system of ecological corridors around the historical centre of the city, to all city districts and the outskirts.

The main functions and advantages of green roofs and walls are indicated in terms of improvement of the quality of life of the urban population. In view of rather rapid climate change, when creating new green areas, the authors recommended to give attention to drought-resistant bushy trees, shrubs and perennial tall grasses, primarily of local origin.

The paper also mentions the main possible directions of further research regarding identification of the optimal set of plantations and efficient approaches to the introduction of green infrastructure elements.

**Keywords:** green infrastructure; living comfort; plantations; green belt; urban agriculture; drought-resistant plants; urban area.

Подання до редакції : 09. 11. 2022  
Надходження остаточної версії : 21. 11. 2022  
Публікація статті : 27. 12. 2022

УДК 504.064.4

## ОЦІНКА УТВОРЕННЯ ОКРЕМИХ ПОЛЮТАНТІВ В ТІЛІ ПОЛІГОНУ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

В. Ю. Приходько, В. І. Михайленко, Т. А. Сафранов

Одеський державний екологічний університет,  
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, [vks26@ua.fm](mailto:vks26@ua.fm)

Місця захоронення твердих побутових відходів являють собою джерела вторинного забруднення довкілля продуктами деструкції відходів, які піддаються подальшим фізико-хімічним трансформаціям. В роботі розглянуті питання кількісної оцінки утворення парникових газів та стійких органічних поллютантів на полігонах твердих побутових відходів. Методи дослідження: математичні моделі утворення забруднюючих речовин в тілі полігону твердих побутових відходів, зокрема метану та стійких органічних поллютантів. Біоорганічні відходи, які складають основну масу твердих побутових відходів, генерують метан, вуглекислий газ та інші сполуки; наявність хлору у різних сполуках в складі відходів спричиняє ненавмисне утворення стійких органічних поллютантів, зокрема поліхлорованих дибензо-п-діоксинів та дибензофуранів (ПХДД/Ф). В статті наведені результати розрахунків утворення метану (за Національною моделлю газоутворення), вуглекислого газу та неметанових летких органічних сполук (за моделлю LandGEM) для умов полігону твердих побутових відходів «Дальницькі Кар'єри», де розміщуються відходи Одеської промислово-міської агломерації. Показано, що полігон твердих побутових відходів є суттєвим джерелом утворення парникових газів, кількість яких стрімко зростає в умовах тривалої експлуатації та постійного надходження відходів. Розбіжність результатів розрахунків генерації метану вказує на необхідність адаптації моделі LandGEM до українських умов, оскільки вона дозволяє визначати широкий спектр забруднюючих атмосферний басейн речовин. За авторською розробкою визначено утворення стійких органічних поллютантів на прикладі ПХДД/Ф. Розрахунки показали, що полігони є значним джерелом ненавмисного утворення ПХДД/Ф, 99% якого накопичується у тілі полігону. Показано, що за умов постійного надходження відходів на полігон відбувається стрімке зростання кількості утвореного ПХДД/Ф, навіть з урахуванням періоду напіврозпаду. А сам полігон розглядається як основне джерело ненавмисного утворення ПХДД/Ф в межах Одеського регіону.

**Ключові слова:** полігон твердих побутових відходів; модель; парникові гази; стійкі органічні поллютанти.

### 1. ВСТУП

Захоронення твердих побутових відходів (ТПВ) на сьогодні є основним методом поводження з ними в багатьох країнах, зокрема, в Україні. Так, за даними Мінрегіону України [1], в 2021 р. на полігонах і звалищах було розміщено 92,4% утворених ТПВ (для 2011 р. цей показник становив 94%).

Відомо, що ТПВ являють собою суміш багатьох компонентів та речовин (наприклад, дослідження морфологічного стану ТПВ Нью-Йорка, проведені у 2013 р., показали наявність серед відходів більше як 70 компонентів, більше 35 компонентів виділяють при проведенні досліджень морфологічного складу ТПВ українських міст). Захоронення цієї «суміші»

призводить до неконтрольованого проходження хімічних та біохімічних реакцій, пов'язаних з деструкцією, перетворенням та взаємодією речовин між собою. В зв'язку з цим місця захоронення відходів наразі розглядаються як об'єкти негативного впливу на довкілля, які потребують особливої уваги. Так, за даними доповіді "What a Waste (2018)" доля полігонів і звалищ світу у загальній емісії парникових газів (ПГ) від антропогенних джерел складає 5%, в США – 15% (дані Агентства із захисту довкілля США за 2022 р.), в Україні – 4% (дані Національного Кадастру [2] за 2019 р.). Ключовою проблемою, пов'язаною із функціонуванням місць захоронення ТПВ, є фільтрат – рідина, збагачена органічними речовинами, важкими металами [3] та стійкими

органічними поллютантами (СОП) [4]. За даними Мінрегіону України [1], лише на 56 полігонах ТПВ України влаштована система збору фільтрату, а за умови, що всього нараховується близько 6 тис. полігонів і звалищ, можна дійти висновку про значний, але невизначений, внесок місць захоронення ТПВ у забруднення довкілля через фільтрат. Навіть якщо виведення поллютантів за межі систему полігону не відбувається, такі об'єкти є накопичувачами речовин. Так, мова йде про мобілізацію в тілі полігона майже 70% вуглецю і 100% азоту і фосфору з біоорганічних відходів у складі ТПВ [5], концентрування важких металів (від десятків до тисяч разів) [3] та СОП. Аналіз опублікованих джерел інформації показує, що відсутні дослідження щодо накопичення СОП у ТПВ з врахуванням кумулятивного ефекту розрахунковим шляхом [4]. Внаслідок цього наявність такої кількості СОП у навколишньому середовищі не фіксується при інвентаризації як відходів, що містять СОП так і джерел ненавмисного утворення ПХДД/Ф.

Враховуючи постійне зростання питомого утворення відходів, а також стан сфери із захоронення ТПВ, можна стверджувати, що дослідження, пов'язані із впливом місць захоронення ТПВ на довкілля, є актуальними. Метою дослідження є характеристика комплексного впливу та оцінка утворення окремих ЗР в місцях захоронення ТПВ (на прикладі окремого полігону).

## 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Як і будь-яка складна система, «полігон-довкілля» характеризується значною невизначеністю вхідних і вихідних потоків речовин. Попри це, ми можемо розглянути та оцінити утворення та надходження двох груп речовин – ПГ у складі біогазу (або звалищного газу) та СОП.

Вихідними даними для проведення дослідження є інформація щодо утворення та захоронення ТПВ Одеської ПМА на полігоні «Дальницькі Кар'єри» за період 2007-2017 рр., морфологічний склад відходів.

### 2.1 Оцінка емісії метану від полігонів ТПВ

Оцінка емісії  $CH_4$  з місць захоронення ТПВ визначається за Національною багатокомпонентною моделлю на основі метода затухання першого порядку третього рівня деталізації (далі – Національна модель). Утворення  $CH_4$  з місць захоронення ТПВ

визначається як

$$Q(t) = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n A \cdot k_j \cdot MWS_i \cdot MWS_{i,j} \cdot L_{0i,j} \cdot e^{-k_j \cdot (t-x)}, \quad (1)$$

де  $A$  – нормалізуючий множник, визначається за формулою (2)

$$A = (1 - e^{-k_j}) / k_j, \quad (2)$$

де  $k_j$  – постійна темпів утворення  $CH_4$  для  $j$ -го компонента ТПВ, рік<sup>-1</sup>;  $MWS_i$  – загальна маса ТПВ, захоронених в рік  $i$ , т/рік;  $MWS_{j,i}$  – вміст  $j$ -го компонента в ТПВ в  $i$ -му році, %;  $t$  – розрахунковий рік;  $x$  – період, за який внесені дані, рік;  $L_{0i,j}$  – потенціал утворення  $CH_4$  за рік  $i$ , т $CH_4$ /т ТПВ:

$$L_{0i,j} = DOC_j \cdot DOC_F \cdot F \cdot 16/12 \cdot MCF_i, \quad (3)$$

де  $DOC_j$  – загальна маса органічного вуглецю, здатного до біологічного розкладання, в  $j$ -ой фракції, тС/тТПВ;  $DOC_F$  – частина вуглецю, що приймає участь в реакціях розкладання ( $DOC_F = 0,5$ );  $F$  – вміст метану в біогазі ( $F = 0,5$ );  $16/12$  – коефіцієнт перерахунку вуглецю в метан;  $MCF_i$  – фактор корекції утворення метану, який визначається умовами захоронення ТПВ [2]. Уточнення параметрів моделі для Одеської області міститься в нашій попередній роботі [6].

### 2.2 Оцінка емісії ПГ за допомогою моделі LandGEM

Для визначення інших ПГ та поллютантів, які утворюються в місцях захоронення ТПВ, зручно скористатися додатком (автоматизованим інструментом) LandGEM Version 3.02, створеним на основі електронних таблиць MS Excel. В основі додатку є модель LandGEM, запропонована Агентством із захисту довкілля США [7]. Основне рівняння цієї моделі в адаптованому для України вигляді [8]:

$$Q_{LFG} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0,1}^1 2kL_0 \left( \frac{M_i}{10} \right) e^{-kt_{ij}} \cdot MCF \cdot F, \quad (4)$$

де  $F$  – поправочний коефіцієнт для возгоряння. Параметри  $k$ ,  $L_0$ ,  $MCF$  з формули (4) аналогічні попередній моделі. За результатами попередніх досліджень моделей

газоутворення в тілі полігону [6], нами визначені параметри моделі LandGEM для умов Одеської області. Зауважимо, що результати розрахунків метану за Національною та LandGEM моделями відрізняються, сама модель LandGEM розроблялася для внутрішнього використання. Тим не менш, використання додатку LandGEM Version 3.02 в даному дослідженні дозволяє проілюструвати утворення інших, окрім метану, ПГ та ЗР (до 50 найменувань).

### 2.3 Оцінка ненавмисного утворення СОП від полігонів ТПВ

Для визначення ненавмисного утворення СОП від місць захоронення ТПВ, скористалися формулою, представленою у методиках [9, 10]:

$$E_{\text{СОП}} = M_{\text{ТПВ}} \cdot \Phi E_{\text{СОП}}, \quad (5)$$

де  $E_{\text{СОП}}$  – ненавмисне утворення СОП у одиницях маси;  $M_{\text{ТПВ}}$  – маса ТПВ, яка складається на місцях захоронення відходів;  $\Phi E_{\text{СОП}}$  – фактор емісії для представника класу СОП.

У наших попередніх роботах [11, 12] наочно продемонстровано, що лише одночасне використання методик дає змогу отримати повну картину емісії всіх представників СОП з врахуванням всіх напрямків надходження цих речовин у довкілля.

Накопичення СОП розраховувалося на основі запропонованої нами вдосконаленої методики, яку запатентовано у вигляді твору науково-практичного характеру [13]. Розрахунок має вигляд (6):

$$A_t = A \cdot e^{-t/\tau} \quad (6)$$

де  $A_t$  – маса СОП після напіврозпаду за період часу  $t$ ;  $A$  – вихідна маса СОП;  $t$  – проміжок часу, що розглядається;  $\tau$  – період часу, за який концентрація зменшиться у  $e$  разів.

Зауважимо, що період напіврозпаду СОП у довкіллі прийнято за 10 років.

Доцільно зауважити, що методики кількісного розрахунку ненавмисного утворення СОП [9] та [10] є інвентаризаційними і дозволяють отримати річні маси СОП на основі даних річного утворення ТПВ у одиницях маси. Але, на жаль, цей підхід не дає інформації про часову динаміку продукування СОП і не дозволяє визначити, в який період часу утворювалася найбільша або найменша маса цих речовин. Такий розрахунок дозволяє

представити загальну інформацію про генерацію СОП у довкіллі згідно до вимог Стокгольмської конвенції, проте обмежує можливість отримання інформації для характеристики динаміки утворення та розповсюдження цих речовин у довкіллі.

### 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Взаємодію місць захоронення ТПВ з довкіллям у вигляді потоку політантів можна описати такими напрямками: емісія газів до атмосферного повітря; утворення фільтрату і виведення забруднюючих речовин (ЗР) з ним, депонування ЗР у тілі полігону.

З позицій трансформації в тілі полігону, компоненти ТПВ можна класифікувати на такі групи:

- біоорганічні відходи, які достатньо швидко розкладаються в тілі полігону внаслідок процесів біохімічної деструкції органічних речовин;
- хімічно інертні відходи, які зберігають свої властивості протягом достатньо тривалого часу;
- хімічно нестійкі речовини, переважно у рідкій фазі, здатні до взаємодії та переходу за межі системи.

Враховуючи широкий спектр вихідного матеріалу для утворення нових сполук і варіативність процесів розкладу та утворення нових речовин в системі «полігон – довкілля», задача комплексної оцінки впливу місць захоронення ТПВ є достатньо невизначеною. Попри це, ми можемо кількісно оцінити утворення метану (та інших ПГ) і СОП.

#### 3.1 Оцінка утворення метану за Національною моделлю

Дослідження щодо вмісту у ТПВ біоорганічних відходів (тобто тих, що містять біодоступний вуглець і здатні до розкладання мікроорганізмами в природних або наближених до цього умов), показало, що на ці відходи припадає майже 60% від загальної маси ТПВ, з них 50% - це харчові відходи, 22% – папір і картон, 15% – садово-паркові відходи [14]. Саме ці відходи є джерелом утворення в тілі полігону біогазу, який складається, в основному, з метану (50-60%) і вуглекислого газу (30-40%), нелетких метанових органічних сполук (НЛОС), які є ПГ, що відрізняються парниковим потенціалом. Наприклад, 1 т  $\text{CH}_4$  еквівалентна 21 т  $\text{CO}_2$ , а 1 т  $\text{N}_2\text{O}$  – 298 т  $\text{CO}_2$ .

Використовуючи формули (1)-(3) та уточнені для умов «Дальницьких Кар'єрів» параметри Національної моделі, визначили утворення метану від річної маси захоронених у 2007-2017 рр. ТПВ. Результати представлені на рис. 1.

Як бачимо, маса ТПВ, яка утворюється за рік в Одеській ПМА та захоронюється на полігоні «Дальницькі Кар'єри», продукує майже 1,2 тис. т метану на наступний рік розміщення відходів. Але фактичне утворення метану, враховуючи захоронені за попередні роки відходи, буде значно вища. Наприклад, маса метану від

захоронених за десятирічний період ТПВ майже у 8 разів вища за утворення метану від річної маси ТПВ.

### 3.2 Оцінка утворення ПГ за моделлю LandGEM

Використання додатку LandGEM Version 3.02 дозволило нам отримати величини утворення метану, вуглекислого газу та НМЛОС від річних мас захоронених ТПВ на перший рік розміщення цих відходів (рис. 2).

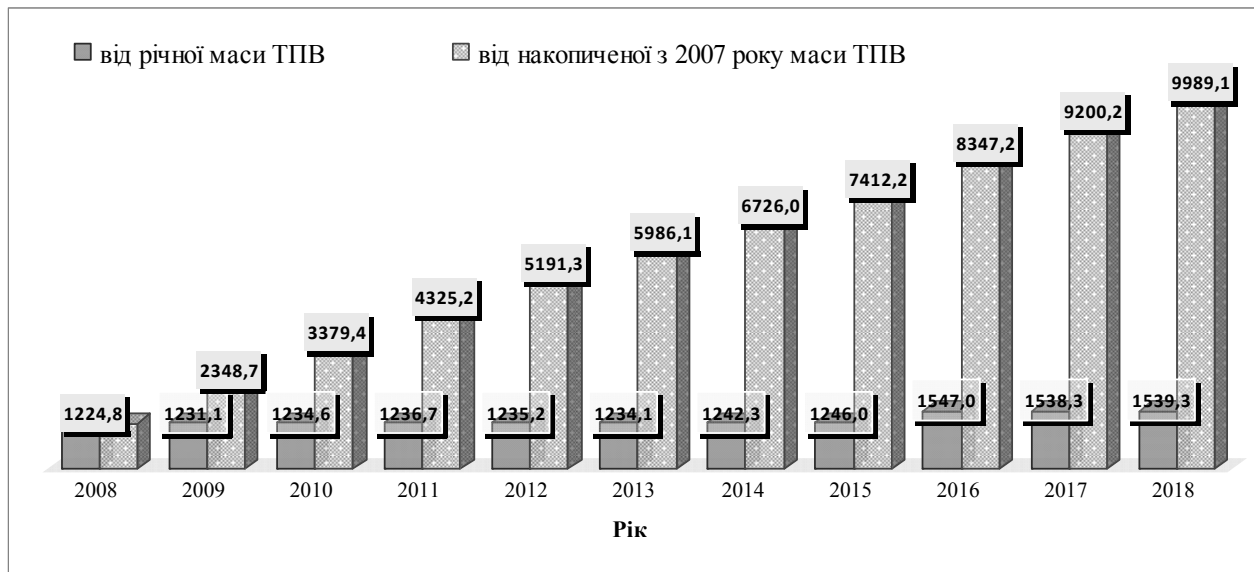


Рис. 1 – Утворення метану (т/рік) від річної маси захоронених на «Дальницьких Кар'єрах» ТПВ (2007-2017 рр.)

Fig. 1 – The methane generation (mg/year) from the annual MSW mass disposed on “Dalnitsky Kariery” (2007-2021)

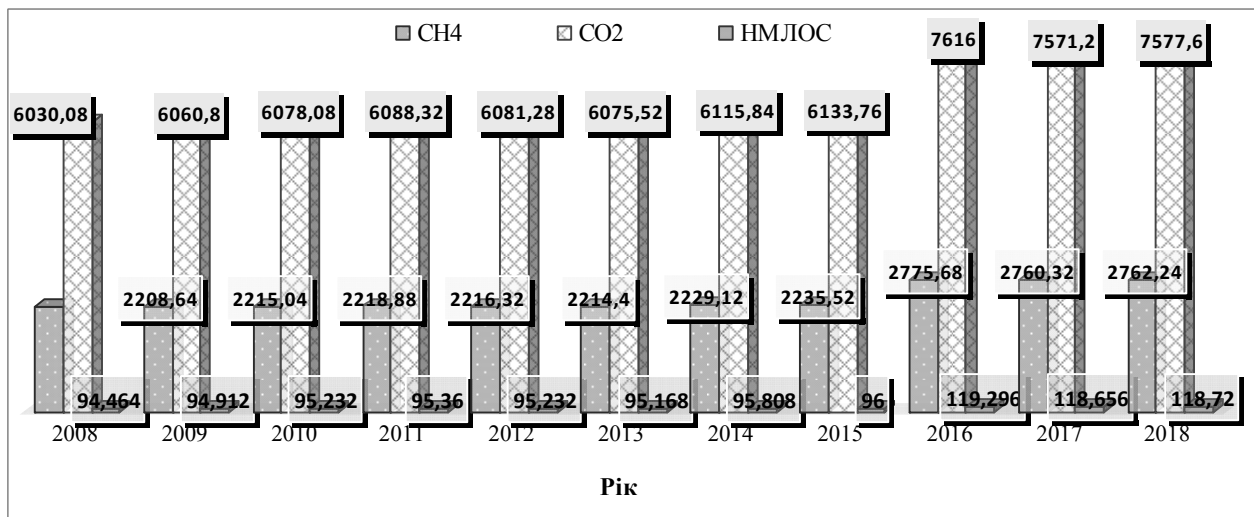


Рис. 2 – Оцінка емісії метану, вуглекислого газу та НМЛОС (т/рік) при захороненні ТПВ на «Дальницьких Кар'єрах»

Fig. 2 – The methane, carbon dioxide and NMVOC emission (mg/year) from the MSW disposal on “Dalnitsky Kariery”

Як бачимо, захоронення ТПВ є джерелом утворення і надходження до атмосфери ПГ. Так, в середньому, на 1 т захоронених ТПВ утворюється 4 кг метану, 11,2 кг вуглекислого газу та 176 г НМЛОС за перший рік розміщення відходів на полігоні. Загальна продукція та емісія політантів триває протягом 50-80 років. Також відмітимо, що є розбіжності в отриманих оцінках емісії метану за Національною моделлю та за моделлю LandGEM (в адаптованому для України варіанті), що визначає необхідність подальшої роботи у напрямку національної адаптації другої моделі. Про це більш детально показано в нашій попередній роботі [6]. Тим не менш, модель LandGEM дозволяє проілюструвати широкий спектр впливу полігонів ТПВ на атмосферне повітря.

### 3.3 Оцінка утворення СОП

Різноманітний морфологічний склад ТПВ, зокрема – наявність компонентів, що містять хлор у різних формах, робить їх потенційним джерелом ненавмисного утворення СОП. Джерелом хлору у загальному потоці ТПВ є, головним чином, медичні відходи, антисептичні засоби та хлормісні види пластмас. Зокрема, великий внесок за рахунок матеріалів з поліхлорвінілу, які надходять у складі будівельного сміття (натяжні стелі, лінолеуми, термостійкі пластмаси тощо) і взуттєвих пластикатів. Наявність у ТПВ важких металів у складі батарейок, акумуляторів та інших електричного і електронного обладнання прискорює процес утворення ПХДД/Ф (але уповільнює процеси розкладання біоорганічних відходів). Використовуючи дані нами була визначена кількість ПХДД/Ф, яка утворюється внаслідок видалення ТПВ Одеської ПМА. Слід зазначити, що надходження ПХДД/Ф у навколишнє середовище іде двома шляхами: у воду – у складі фільтрату, який потрапляє у ґрунти і, як наслідок, у ґрунтові води, та залишку, який накопичується у тілі полігону. Схему надходження СОП у довкілля від полігону ТПВ Одеської ПМА наведено на рис. 3.

Наприклад, маса відходів, утворених в Одесі у 2017 р. склала 674,1 тис. т, а відповідне надходження ПХДД/Ф у довкілля: 0,34 г ТЕ (токсикологічний еквівалент – величина, яка виражає кумулятивну токсичність складних сумішей ПХДД/Ф через токсичність 2,3,7,8-ТХДД) – ПХДД/Ф у складі фільтрату та 33,71 г ТЕ – ПХДД/Ф у складі залишку, що

накопичується у тілі полігону ТПВ. Таким чином, щорічне утворення ПХДД/Ф у тілі полігону в 100 разів перевищує вміст ПХДД/Ф у рідкій фазі. Це можна пояснити тим, що перед потраплянням у ґрунтові води фільтрат проходить своєрідний процес очищення через ґрунтовий профіль, на якому сформовано тіло полігону.

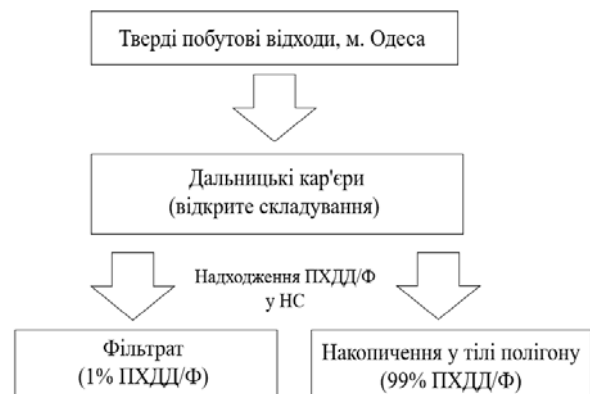


Рис. 3 – Схема надходження СОП у довкілля від полігону ТПВ «Дальницькі Кар'єри»

Fig. 3 – The scheme of POPs entering to the environment from the "Dalnytsky Kariery" landfill

З використанням запропонованого нами алгоритму [13], було визначено річне утворення та накопичення ПХДД/Ф у довкіллі при відкритому складуванні ТПВ на «Дальницьких кар'єрах», зокрема – у тілі полігону та у рідкій фазі (фільтраті), отримані результати представлено на рис. 4 та 5.

Отже, встановлені обсяги ПХДД/Ф з врахуванням кумулятивного ефекту цих речовин є значно більшими, ніж річна маса цих речовин на 2017 рік. Також важливо відмітити, що тенденція накопичення ПХДД/Ф при складуванні ТПВ у Одеській ПМА є постійною, а швидкість накопичення ПХДД/Ф майже не зменшується за весь період з 2007 по 2017 рік. Це вказує на те, що збільшення швидкості утворення відходів у Одеській ПМА та їх накопичення на «Дальницьких кар'єрах» є настільки стрімким, що не дає змоги навіть сповільнити швидкість накопичення ПХДД/Ф у довкіллі Одеської ПМА навіть з врахуванням періоду напіврозпаду цих речовин.

### 4. ВИСНОВКИ

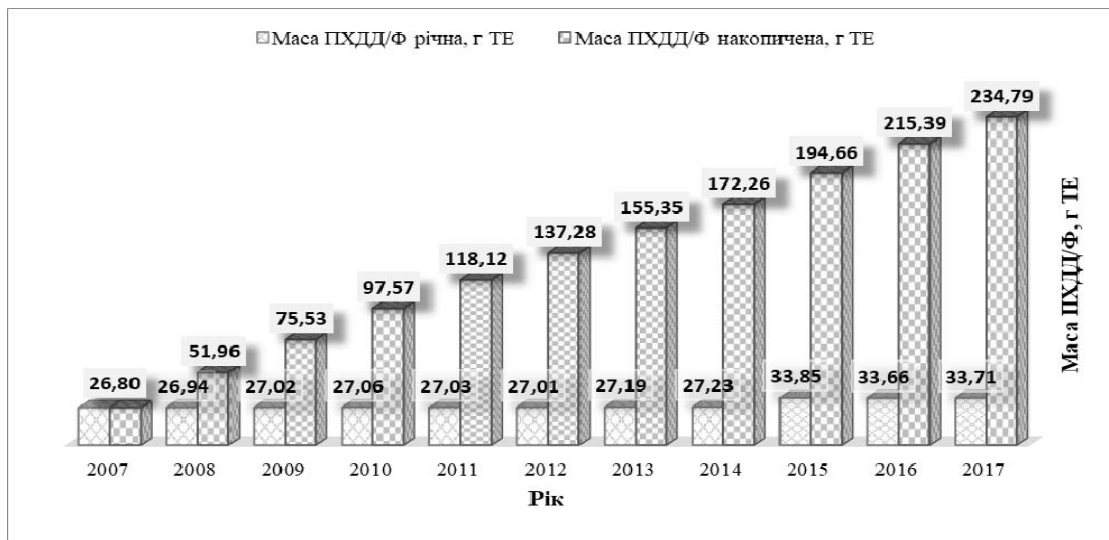
Таким чином, складна суміш різних компонентів, якою є маса ТПВ, є джерелом утворення широкого спектру речовин, які

мігрують у довкілля через викиди, фільтрат, або депонуються у тілі полігону. Безумовно, актуальними є питання комплексної оцінки впливу полігонів ТПВ на довкілля з позицій вивчення утворення окремих ЗР. Нами досліджені найбільш вивчені аспекти функціонування полігонів ТПВ — утворення ПГ та СОП.

На прикладі найбільшого полігону Одеської області – «Дальницьких Кар'єрів» показано, що річна маса захоронених на них ТПВ Одеської ПМА продукує від 1,2 до 2,2 тис. т метану (за різними моделями розрахунку). А з урахуванням

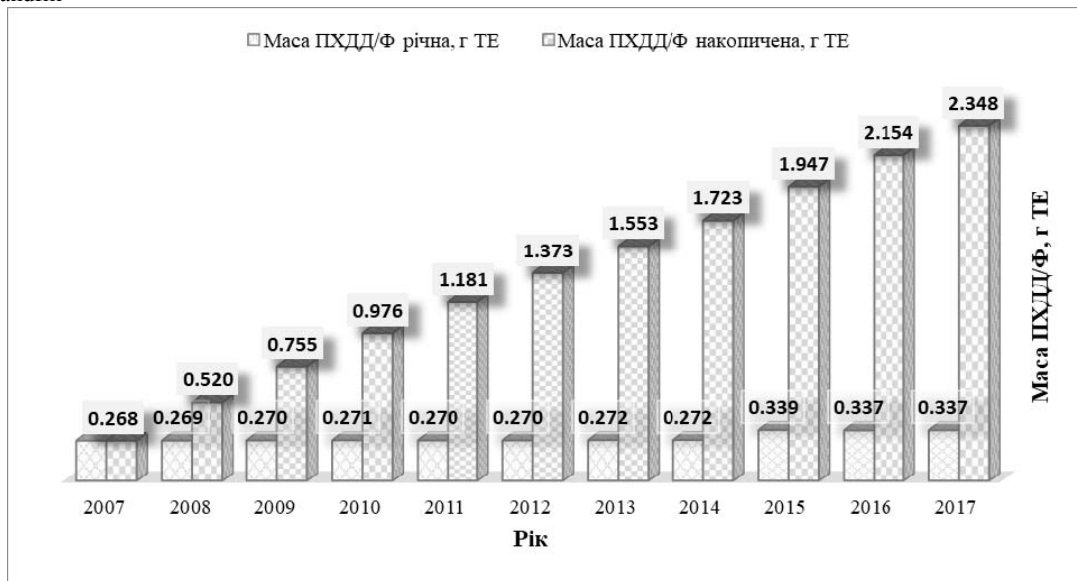
захоронених за попередні роки ТПВ фактичне утворення метану зростає у десятки разів.

Також варто відмітити, що маса накопичених ПХДД/Ф при відкритому складуванні відходів, які утворилися на території Одеської ПМА, складає приблизно 0.24 кг ТЕ – це єдине джерело в Одеській ПМА, при якому маса ненавмисно утворених ПХДД/Ф може розглядатися у таких одиницях вимірювання, як кг, що майже не зустрічається при інвентаризації джерел ненавмисного утворення ПХДД/Ф у країнах ЄС.



**Рис. 4** – Річні та накопичені маси ПХДД/Ф, які утворюються та накопичуються у тілі полігону «Дальницькі Кар'єри»

**Fig. 4** – The annual and accumulated masses of PCDD/F, which are generated and accumulated in the body of the “Dalnitsky Kariery” landfill



**Рис. 5** – Річні та накопичені маси ПХДД/Ф, які утворюються, транспортуються у складі фільтрату та накопичуються у довкіллі

**Fig. 5** – The annual and accumulated masses of PCDD/F, which are generated, transported as a part of leachate and accumulated in environment

В умовах відсутності можливостей інструментального моніторингу ЗР, особливо таких як СОП, застосування розрахункових методик визначення емісії політантів може бути ефективним вирішенням питання моніторингу забруднення довкілля в Україні. Саме тому удосконалення та/або адаптація методичного апарату ЄС під українські умови є важливим завданням з точки зору екологічної безпеки.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Стан сфери поводження з побутовими відходами в Україні за 2021 рік. URL: <https://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/zhkh/teritory/stan-sfery-povodzhennya-z-pobutovymy-vidhodamy-v-ukrayini-za-2021-rik/>
2. Ukraine Greenhouse Gas Inventory (1990-2019). URL: [https://mepr.gov.ua/files/docs/Zmina\\_klimaty/Kadastr\\_2021/Ukraine\\_NIR\\_2021\\_draft.pdf](https://mepr.gov.ua/files/docs/Zmina_klimaty/Kadastr_2021/Ukraine_NIR_2021_draft.pdf) (Accessed 1 September 2022)
3. Єремєєв І. С., Марчук С. В. Дослідження впливу полігонів ТПВ на землях сільськогосподарського призначення. *Агросвіт*. 2015. № 18. С. 3-8.
4. Михайленко В. І., Сафранов Т. А. Аналіз обсягів та джерел утворення відходів, які містять стійкі органічні політанти, на території Одеської області. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2021. №36. С. 83-95. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2021-36-07>
5. Приходько В. Ю., Сафранов Т. А., Шанина Т. П. Особливості міграції біогенних елементів при комплексній утилізації біоорганічної складової твердих побутових відходів. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2021. № 28. С. 92-99. <https://doi.org/10.31481/uhmj.28.2021.08>
6. Сафранов Т. А., Приходько В. Ю., Шанина Т. П. Оценка эмиссии парниковых газов из мест захоронения ТБО: критический анализ методик и адаптация к условиям Одесской области. *Вісник ОДЕКУ*. 2017. № 21. С. 5-14.
7. Landfill Gas Emission Model (LandGEM) Ver. 3.02: User's Guide / U.S. EPA. Washington: U.S. EPA. 2005. 48 p. URL: <https://www3.epa.gov/ttnatcat1/dir1/landgem-v302-guide.pdf> (Accessed 1 September 2022).
8. Ukraine Landfill Gas Model Ver.1.0: User's Manual / Edited by Swapura Ganguli, G. Alex Stege. Washington: U.S. EPA Landfill Methane Outreach Program. 2009. 28 p. URL: [https://www.globalmethane.org/documents/toolsres\\_lfg\\_manual.pdf](https://www.globalmethane.org/documents/toolsres_lfg_manual.pdf) (Accessed 1 September 2022).
9. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook. Technical guidance to prepare national emission inventories, 2019. URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019> (Accessed 1 September 2022)
10. UNEP. 2013. Toolkit for Identification and Quantification of Releases of Dioxins, Furans and Other Unintentional POPs. URL: <http://toolkit.pops.int/publish/downloads/unep-pops-toolkit-2012-en.pdf> (Accessed 11 November 2022)
11. Михайленко В. І., Шанина Т. П., Сафранов Т. А. Основні джерела ненавмисного утворення стійких органічних забруднюючих речовин (на прикладі міста Одеса). *Український гідрометеорологічний журнал*. 2018. № 21. С. 110-119.
12. Mykhailenko V., Safranov T. Estimation of Input of Unintentionally Produced Persistent Organic Pollutants into the Air Basin of the Odessa Industrial-and-Urban Agglomeration. *Journal of Ecological Engineering*. 2021. 22(9). pp. 21-31. <https://doi.org/10.12911/22998993/141479>
13. Удосконалена методика розрахунку ненавмисно утворених стійких органічних політантів з врахуванням їх кумулятивного ефекту: пат. Україна. №109858 ; заявл. №с.202108430 ; опубл. 29 листопада 2021 р, Бюл. №31032378
14. Приходько В. Ю., Гюльяхмедова К. Р. Характеристика біоорганічної складової твердих побутових відходів. *Вісник ХНУ*. 2018. Вип. 19. С.82-90. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2018-19-08>

## REFERENCES

1. *Stan sfery povodzhennia z pobutovymi vidkhodamy v Ukraini za 2021 rik* [The state of the sphere of municipal solid waste management in Ukraine in 2021]. Available at: <https://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/zhkh/teritory/stan-sfery-povodzhennya-z-pobutovymy-vidhodamy-v-ukrayini-za-2021-rik/> (Accessed 20 November 2022). (in Ukr.)
2. *Ukraine Greenhouse Gas Inventory (1990-2019)*. Available at: [https://mepr.gov.ua/files/docs/Zmina\\_klimaty/Kadastr\\_2021/Ukraine\\_NIR\\_2021\\_draft.pdf](https://mepr.gov.ua/files/docs/Zmina_klimaty/Kadastr_2021/Ukraine_NIR_2021_draft.pdf) (Accessed 1 September 2022)
3. Yermieiev, I.S. & Marchuk, S.V. (2015). [Research of the influence of municipal solid waste polygons on agricultural land]. *Ahrosvit [Agroworld]*, 15, pp. 3-8. (in Ukr.)
4. Mykhailenko, V.I. & Safranov, T.A. (2021). [Analysis of volumes and sources of waste containing persistent organic pollutants on the territory of Odessa region]. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, 36, pp. 83-95. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2021-36-07> (in Ukr.)
5. Prykhodko, V.Yu., Safranov, T.A. & Shanina, T.P. (2021). [Peculiarities of biogenic elements migration at complex utilization of municipal solid waste bioorganic component]. *Ukrains'kij gidrometeorologichnij zhurnal [Ukrainian hydrometeorological journal]*, 28, pp. 92-99. <https://doi.org/10.31481/uhmj.28.2021.08> (in Ukr.)
6. Safranov, T.A., Prykhodko, V.Yu. & Shanina T.P. (2017). [Estimation of greenhouse gases emission from the sites of municipal solid waste disposal: a critical analysis of methods and adaptation to the condition of the Odessa region]. *Visnik Odes'kogo derzhavnogo ekologichnogo universitetu [Bulletin of Odessa state environmental university]*, 21, pp. 5-14. (in Ukr.)
7. *Landfill Gas Emission Model (LandGEM) Ver. 3.02: User's Guide*. (2005). Washington: U.S. EPA. 2005. Available at: <https://www3.epa.gov/ttnatcat1/dir1/landgem-v302-guide.pdf> (Accessed 1 September 2022).
8. Swapura, Ganguli & G. Alex, Stege (eds) (2009). *Ukraine Landfill Gas Model Ver.1.0: User's Manual*. (2009). Washington: U.S. EPA; Landfill Methane Outreach Program. Available at: [https://www.globalmethane.org/documents/toolsres\\_lfg\\_manual.pdf](https://www.globalmethane.org/documents/toolsres_lfg_manual.pdf) (Accessed 1 September 2022).
9. *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook. Technical guidance to prepare national emission*

- inventories. (2019). Available at: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019> (Accessed 1 September 2022)
10. UNEP. 2013. Toolkit for Identification and Quantification of Releases of Dioxins, Furans and Other Unintentional POPs. Available at: <http://toolkit.pops.int/publish/downloads/unep-pops-toolkit-2012-en.pdf> (Accessed 11 November 2022)
  11. Mykhailenko, V.I., Shanina, T.P. & Safranov, T.A. (2018). [Main sources of unintentional production of persistent organic pollutants (the case of Odessa)]. *Ukrains'kij gidrometeorologichnij zhurnal [Ukrainian hydrometeorological journal]*, 21, pp. 110-119. (in Ukr.)
  12. Mykhailenko, V. & Safranov, T. (2021). Estimation of Input of Unintentionally Produced Persistent Organic Pollutants into the Air Basin of the Odessa Industrial-and-Urban Agglomeration. *Journal of Ecological Engineering*, 22(9), pp. 21–31. <https://doi.org/10.12911/22998993/141479>
  13. *The improved calculation method of unintentionally formed persistent organic pollutants taking into account their cumulative effect*. Patent Ukr., no. 202108430, 2021. (in Ukr.)
  14. 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.)

## EVALUATION OF CERTAIN POLLUTANTS GENERATION INSIDE MUNICIPAL SOLID WASTE LANDFILLS

V. Yu. Prykhodko, V. I. Mykhailenko, T. A. Safranov

*Odesa State Environmental University,  
15, Lvivska St., 65016 Odesa, Ukraine, vks26@ua.fm*

Municipal solid waste disposal sites act as sources of secondary pollution of the environment with waste destruction products that undergo further chemical and biochemical transformations. The research deals with the issues of quantitative assessment of greenhouse gases and persistent organic pollutants formation within municipal solid waste landfills. It uses such methods as mathematical models of pollutants formation inside a municipal solid waste landfill body, namely methane and persistent organic pollutants formation. Bioorganic substance forming the major part of municipal solid waste generates methane, carbon dioxide and other compounds; presence of chlorine in various compounds included in the composition of waste causes unintentional formation of persistent organic pollutants, in particular PCDD/F. The article presents the results of measurements of methane formation (according to the National Gas Formation Model), carbon dioxide and non-methane volatile organic compounds formation (according to the LandGEM model) with relation to the conditions of the municipal solid waste landfill «Dalnysky Kariery» that accepts waste from the Odesa industrial-and-urban agglomeration. It shows the municipal solid waste landfill as a significant source of greenhouse gases the amount of which increases rapidly under the conditions of long-term operation and constant delivery of waste. The discrepancy in the results of methane formation measurements indicates the need to adapt the LandGEM model that matches the Ukrainian conditions. It would allow determining a wide range of atmospheric polluting substances. The author's design determines the formation of persistent organic pollutants as exemplified by PCDD/F. The measurements showed that landfills act as a significant source of unintentional formation of PCDD/F, 99% of which accumulate inside a landfill itself. They also indicated that, under the conditions of a constant delivery of waste to a landfill, there is a rapid increase in the amount of PCDD/F formed, even with consideration of the half-life period. The landfill itself is considered as a main source of unintentional formation of PCDD/F within the whole Odesa agglomeration.

**Key words:** municipal solid waste landfill; model; greenhouse gases; persistent organic pollutants.

*Подання до редакції : 02. 12. 2022  
Надходження остаточної версії : 08. 12. 2022  
Публікація статті : 27. 12. 2022*

УДК 502:504

## ГРОМАДСЬКИЙ МОНІТОРИНГ ЯК ІНСТРУМЕНТ ОЦІНКИ СТАНУ ПОВІТРЯНОГО БАСЕЙНУ В РЕГІОНАХ УКРАЇНИ

А. В. Чугай, Т. В. Лавров

Одеський державний екологічний університет,  
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, [avchugai@ukr.net](mailto:avchugai@ukr.net)

В останні роки з метою отримання більш повної інформації щодо якісних характеристик повітряного басейну в Україні впроваджуються автоматизовані системи спостережень, які працюють у безперервному режимі і дозволяють отримати інформацію у будь-який момент часу. До таких систем в тому числі відносяться системи громадського моніторингу. Прикладами організацій громадського моніторингу є SaveEcoBot, EcoCity, SaveDnipro.

Інформація, яка представлена на сайтах системи громадського моніторингу, містить значні масиви інформації, які є складними для обробки і аналізу. З метою оптимізації обробки даних розроблено програму PublicMonitoringParser, яка трансформує великі об'єми даних, представлені на інтернет-ресурсі SaveEcoBot.com, у компактні зручні файли малого обсягу із середньомісячними концентраціями забруднюючих речовин і показниками метеопараметрів. Програма написана за допомогою мови програмування C# та платформи .NET. Структуру програми і принципи її дії наведено у роботі.

Із застосуванням розробленої програми за даними сайту SavEcoBot.com виконано оцінку стану повітряного басейну Львівської області за 2021 р. В цілому за більшістю речовин були наявні дані моніторингу лише на пункті у м. Львів за адресою вул. Пластова, 13. За вмістом  $PM_{2.5}$  і  $PM_{10}$  спостереження проводились по області в цілому.

Перевищення  $ГДК_{ср}$  відзначалось за вмістом  $NO_2$ ,  $SO_2$ ,  $NH_3$ . Суттєві перевищення відзначені за вмістом  $NH_3$  (до 9 – 16  $ГДК_{ср}$ ). Виявлено, що на місці розташування пункту спостережень громадського моніторингу переважає промислова забудова, присутні значна кількість підприємств транспортної галузі, нафтобаза автозаправних комплексів «ОККО», міські очисні споруди. Проведене порівняння даних, отриманих на стаціонарних і автоматизованих пунктах, для окремих забруднюючих речовин показало, що лише за вмістом  $NO_2$  результати є порівняними.

Дані автоматизованих пунктів спостережень доповнюють мережу стаціонарних пунктів. На даний час існуюча стаціонарна мережа спостережень за забрудненням атмосфери у більшості регіонів України є застарілою і потребує переобладнання. В цілому необхідно подальше впровадження автоматизованих систем, які більш повно і детально характеризують стан повітряного басейну в окремих населених пунктах.

**Ключові слова:** автоматизовані спостереження; громадський моніторинг; повітряний басейн; забруднення.

### 1. ВСТУП

Стан і якість атмосферного повітря є в окремих регіонах України характеризується незадовільними показниками, що негативно впливає на здоров'я населення. Для більш повної інформації щодо якісних характеристик повітряного басейну на протязі останніх років впроваджуються автоматизовані системи спостережень, які працюють у безперервному режимі і дозволяють отримати інформацію у будь-який момент часу. До таких систем відносяться і системи громадського моніторингу.

Громадський екологічний моніторинг – це долучення окремих громадян або громадських

організацій до спостережень за станом навколишнього природного середовища. В Україні громадський моніторинг розвивається дуже стрімко останні декілька років. Яскравими прикладами є такі організації:

1. SaveEcoBot – телеграм бот, який допомагає активній громадськості впливати на забруднювачів, стежити за якістю повітря, контролювати екоподатки, дозвільні документи та перевірки, створювати скарги на забруднення, а також сайт, що об'єднує майже всі станції громадського моніторингу країни і надає актуальну інформацію в режимі реального часу щодо стану довкілля майже у всіх областях України.

2. EcoCity – розповідає українцям про стан забруднення повітря у містах та дозволяє аналізувати ці дані [1].
3. SaveDnipro – громадська організація, засновники SaveEcoBot, яка співпрацює з РНБО, Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів України, Держекоінспекцією та Управлінням екології та природних ресурсів КМДА; розвиває максимально автоматизоване виробництво станцій моніторингу якості повітря SaveEcoSensor [2].

Системи громадського моніторингу для оцінки стану повітря сьогодні застосовуються у багатьох регіонах. Так, у роботі [3] проведено аналіз забруднення м. Полтава і запропоновано використання системи громадського моніторингу як удосконалення загальної системи спостережень у місті.

Також цікавим є запропонована авторами роботи [4] технологія використання мобільних пристроїв моніторингу як складової системи громадського моніторингу.

## 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Оцінка стану повітряного басейну в регіонах із застосуванням системи громадського моніторингу є додатковим ефективним інструментом отримання щоденної фактичної інформації про концентрації певних забруднюючих речовин (ЗР). Але наявна інформація містить дуже об'ємні масиви інформації, які є складними для обробки і аналізу.

З цією метою було розроблено програму PublicMonitoringParser, яка трансформує великі об'єми даних, представлені на інтернет-ресурсі SaveEcoBot.com, у компактні зручні файли малого обсягу із середньомісячними концентраціями ЗР і показниками метеопараметрів. Програма працює з усіма доступними пунктами спостережень за забрудненням (ПСЗ), які представлені на сайті SaveEcoBot.com, перетворюючи мільйони строк щохвилинних спостережень, які проводилися по декілька років, у файли формату .csv з декількома десятками строк корисної інформації, з якою у подальшому можна працювати у таких програмах як Microsoft Excel і Google Sheets.

Програма була написана за допомогою мови програмування C# та платформи .NET. Вона представлена у виді консольного застосунка і має консольний інтерфейс для взаємодії з

користувачем. Архітектура програми – Model-View-Presenter. Середовище розробки – Visual Studio Code.

Платформа .NET – це програмне забезпечення, яке може виконувати низку завдань. Її перевагами є такі: простота розробки; високопродуктивні додатки; підтримка спільноти. За допомогою .NET можна створювати різні додатки, а саме: *інтернет-додатки*; *мобільні додатки*; *додатки для настільних ПК*; інші додатки [5].

Програма PublicMonitoringParser складається з двох основних частин:

1. *Консольний інтерфейс* – дає можливість користувачу вказати шлях до скачаного первісного файлу з великим об'ємом даних з сайту SaveEcoBot.com, а також обрати, скільки знаків після коми у десяткових чисел залишати після розрахунків середньомісячних значень. Також інтерфейс інформує користувача щодо поточного етапу виконання програми або помилок, які можуть виникнути при виконанні.
2. *Логічна частина програми* – частина, яка виконує перетворення даних з одного формату до іншого.

Структура програми представлена на рис 1.

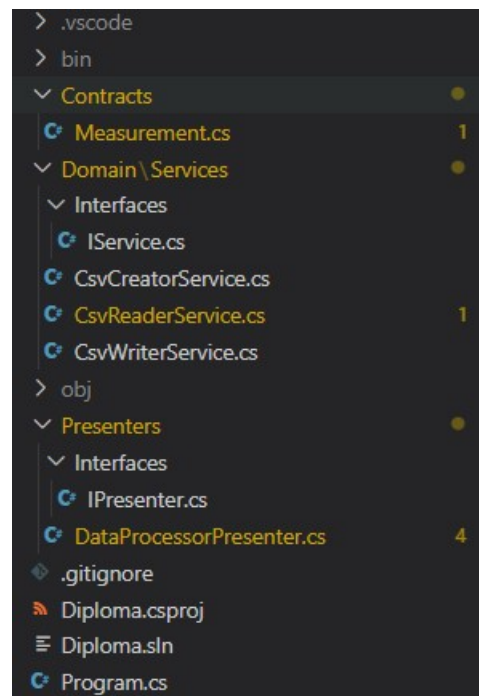


Рис. 1 – Структура програми PublicMonitoringParser у середовищі розробки Visual Studio Code

Fig. 1 – Structure of the PublicMonitoringParser program in Visual Studio Code

Повний цикл роботи програми PublicMonitoringParser включає набір певних

процедур. Результатом є отримання даних із середньомісячними значеннями в файлі в Microsoft Excel для подальшої роботи. Приклад наведено на рис. 2.

| Column1 | Column2 | Column3  | Column4   | Column5   | Column6     | Column7   |
|---------|---------|----------|-----------|-----------|-------------|-----------|
| year    | month   | pm1      | pm25      | pm10      | temperature | humidity  |
| 2022    | 8       | 5.025332 | 7.544705  | 16.621283 | 24.527785   | 55.722313 |
| 2022    | 9       | 5.084806 | 6.914277  | 11.370732 | 14.219109   | 73.082716 |
| 2022    | 10      | 4.497492 | 6.284408  | 10.835604 | 12.056883   | 70.409353 |
| 2022    | 11      | 8.046957 | 10.423060 | 14.668882 | 8.209385    | 80.719274 |

**Рис. 2** – Результати розрахунків середньомісячних концентрацій і значень метеопараметрів у таблиці Microsoft Excel

**Fig. 2** – Results of calculations of average monthly concentrations and values of meteorological parameters in a Microsoft Excel table

За даними сайту SavEcoBot.com із застосуванням розробленої програми виконано оцінку якості повітряного басейну для Львівської області за 2021 р. [6].

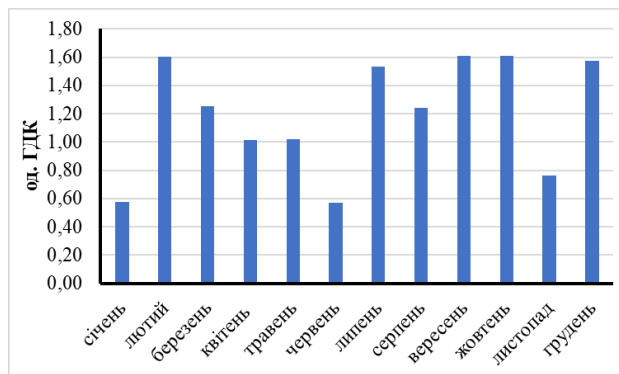
### 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Спостереження на мережі громадського моніторингу у Львівській області проводились за вмістом 6 ЗР, а саме:  $CO$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$ ,  $O_3$ ,  $NH_3$ ,  $PM_{2,5}$  і  $PM_{10}$ . Зазначимо, що лише за вмістом  $PM_{2,5}$  і  $PM_{10}$  спостереження проводились по області в цілому. За більшістю речовин були наявні дані моніторингу лише на 1 ПСЗ у м. Львів за адресою вул. Пластова, 13.

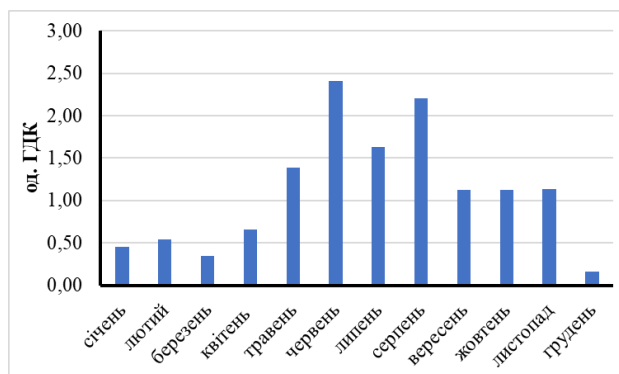
На рис. 3 – 8 наведено динаміку річного ходу концентрацій окремих ЗР.

Вміст  $NO_2$  за наявними даними (рис. 3) характеризувався мінімальними значеннями у січні, березні – червні 2021 р. Максимальні значення в цілому відзначались в період з липня по грудень. Також відзначено у більшості випадків перевищення  $ГДК_{сд}$ .

Вміст  $SO_2$  (рис. 4) характеризувався вираженою сезонною динамікою на протязі року. Максимальні концентрації відзначались у травні – серпні. У цей період, а також восени вміст даної ЗР перевищував нормативи якості у м. Львів з максимумом до  $2,5 ГДК_{сд}$ . Зазначимо, що у більшості регіонів України концентрації  $SO_2$  зазвичай не перевищують нормативів якості.

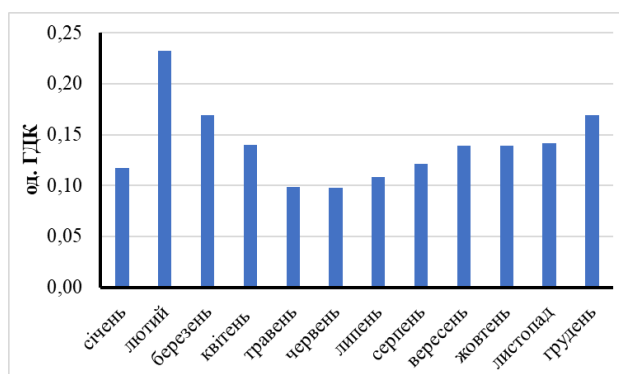


**Рис. 3** – Вміст  $NO_2$  у повітряному басейні м. Львів у 2021 р.  
**Fig. 3** – The content of  $NO_2$  in the air pool of Lviv in 2021



**Рис. 4** – Вміст  $SO_2$  у повітряному басейні м. Львів у 2021 р.  
**Fig. 4** – The content of  $SO_2$  in the air pool of Lviv in 2021

Протилежна картина відзначена для вмістом  $CO$  (рис. 5) з максимумом у лютому і мінімальними концентраціями у весняно-літній період. При цьому вміст  $CO$  на протязі всього року значно нижче нормативів якості.



**Рис. 5** – Вміст  $CO$  у повітряному басейні м. Львів у 2021 р.  
**Fig. 5** – The content of  $CO$  in the air pool of Lviv in 2021

Загальних тенденцій розподілу концентрацій  $O_3$  (рис. 6) на протязі року виявлено не було. Вміст даної речовини не перевищував  $ГДК_{сд}$ .

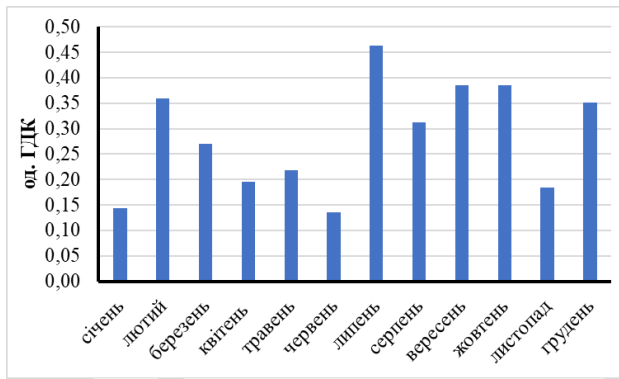


Рис. 6 – Вміст  $O_3$  у повітряному басейні м. Львів у 2021 р.  
Fig. 6 – The content of  $O_3$  in the air pool of Lviv in 2021

Значний інтерес виявив розподіл  $NH_3$  (рис. 7). Максимальні концентрації відзначались у травні – серпні з перевищенням до 9 – 16 ГДК<sub>ср.</sub> В цілому на протязі року за виключенням січня і лютого концентрації  $NH_3$  перевищували нормативи якості. Отримані результати є цікавими, оскільки свідчать про існуюче джерело надходження даної домішки в районі розташування ПСЗ.

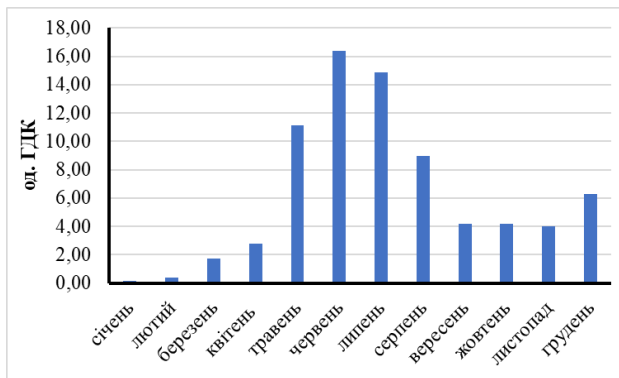


Рис. 7 – Вміст  $NH_3$  у повітряному басейні м. Львів у 2021 р.  
Fig. 7 – The content of  $NH_3$  in the air pool of Lviv in 2021

Згідно з літературними даними, на вул. Пластовій переважає промислова забудова зі значною кількістю підприємств, в першу чергу, транспортної галузі. Також на початку вулиці розташована нафтобаза автозаправних комплексів «ОККО». Вулиця перетинає залізничну колію. На північ від вул. Пластової розташовані міські очисні споруди. За окремими даними, у даному районі планувалась будова сміттєзаводу у найближчі 2 роки [7]. Наявність такої інфраструктури частково пояснює високі концентрації окремих ЗР у повітряному басейні.

Вміст  $PM_{2,5}$  (рис. 8) у повітряному басейні Львівської області в цілому характеризувався зменшенням концентрацій у весняно-літній період. Перевищень нормативів ВООЗ не відзначалось. Аналогічний розподіл характерний і для вмісту  $PM_{10}$ . Максимальні концентрації

$PM_{2,5}$  і  $PM_{10}$  відзначались на окремих ПСЗ у м. Львів (вул. Пасічна. 171, Малооголосківська 8д), а також у м. Жовква.

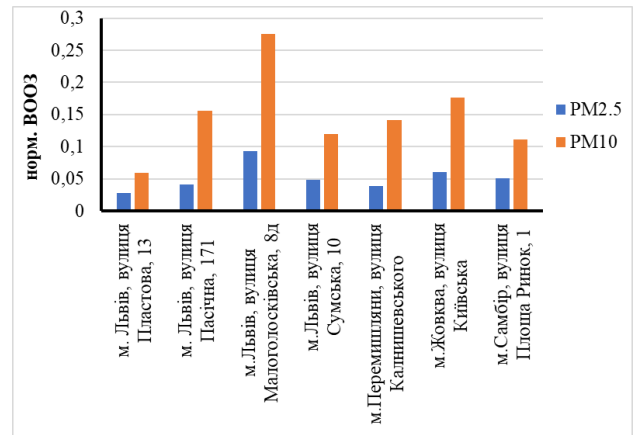


Рис. 8 – Вміст  $PM_{2,5}$  та  $PM_{10}$  у повітряному басейні Львівської області у 2021 р.

Fig. 8 – The content of  $PM_{2,5}$  and  $PM_{10}$  in the air basin of the Lviv region in 2021

Було проведено порівняння даних, отриманих на стаціонарних і автоматизованих ПСЗ, для окремих ЗР по м. Львів (рис. 9) з урахуванням матеріалів [8]. Як видно, загальної залежності не виявлено. Лише за вмістом  $NO_2$  результати є порівняними. Проте таке порівняння не є цілком правомірним, оскільки стаціонарні (4 ПСЗ) розташовані по всій території міста.

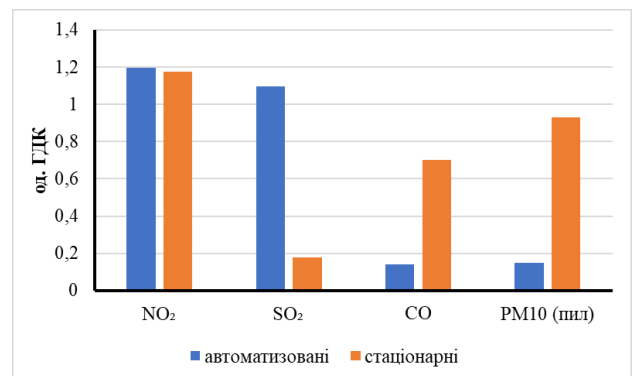


Рис. 9 – Порівняння результатів спостережень на стаціонарних і автоматизованих пунктах

Fig. 9 – Comparison of observation results at stationary and automated points

#### 4. ВИСНОВКИ

В результаті виконаного дослідження можна зробити такі висновки:

1. Системи автоматизованого моніторингу в останні роки все більше застосовуються для оцінки стану атмосферного повітря в регіонах України. Одним з прикладів

застосування таких систем є система громадського моніторингу.

2. З метою оцінки стану повітряного басейну в Україні в системі громадського моніторингу застосовуються такі додатки як SaveEcoBot, EcoCity, SaveDnipro.
3. Розробка програми PublicMonitoringParser дозволяє перетворювати численні дані з сайту громадського моніторингу SaveEcoBot.com на середньомісячні концентрації ЗР, які є більш зручними для подальшої обробки.
4. За даними сайту SavEcoBot.com із застосуванням розробленої програми виконано оцінку для Львівської області за вмістом 6 ЗР. За більшістю речовин були наявні дані моніторингу лише на ПСЗ у м. Львів за адресою вул. Пластова, 13. Перевищення  $ГДК_{ср}$  відзначалось за вмістом  $NO_2$ ,  $SO_2$ ,  $NH_3$ .
5. Порівняння даних, отриманих на стаціонарних і автоматизованих ПСЗ, для окремих ЗР показало, що лише за вмістом  $NO_2$  результати є порівняними. Проте таке порівняння не є цілком правомірним, оскільки стаціонарні (4 ПСЗ) розташовані по всій території міста.

Отримані результати свідчать, що дані автоматизованих ПСЗ доповнюють мережу стаціонарних пунктів (як приклад ПСЗ на вул. Пластова у м. Львів). На жаль, на даний час існуюча стаціонарна мережа спостережень за забрудненням атмосфери у більшості регіонів України є застарілою і потребує переобладнання. Невідповідність отриманих результатів також може бути пов'язана з відмінністю принципів відбору проб і аналізу проб повітря.

В цілому необхідно подальше впровадження автоматизованих систем, які більш повно і детально характеризують стан повітряного басейну в окремих населених пунктах.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Повітря може бути якісним. URL: <https://shotam.info/ecocity-iak-shkoliari-stvoryly-pershu-v-ukraini-merezhu-monitorynhu-iakosti-povitria/> (дата звернення: 13.10.2022).
2. SaveDnipro. URL: <https://www.savednipro.org/about/> (дата звернення: 3.11.2022).
3. Максютя Н. С. Удосконалення моніторингу атмосферного повітря агломерацій (на прикладі

м. Полтава): дис. д-ра філософії: 183 / Нац. ун-т «Полтавська політехніка ім. Ю. Кондратюка». Полтава. 2020. 240 с.

4. Мокін В. Б., Дзюняк Д. Ю., Бондалетов К. О., Олійник В. В. Метод і технологія моніторингу стану атмосферного повітря за допомогою універсальної інформаційно-вимірювальної системи з використанням мобільних пристроїв. *Наукові праці ВНТУ*. 2015. № 4.
5. AWS. URL: <https://aws.amazon.com/ru/what-is/net/> (дата звернення: 15.10.2022).
6. SaveEcoBot. Рівень забруднення атмосферного повітря у Львівській області. URL: <https://www.saveecobot.com/maps/lvivska-oblast> (дата звернення: 20.10.2022).
7. Держінспекція дозволила будувати сміттєпереробний завод у Львові. URL: [https://zaxid.net/derzhinspektsiya\\_arhitekturi\\_dozvolila\\_buduvati\\_smittyepere-robnij\\_zavod\\_u\\_lvovi\\_n1526782](https://zaxid.net/derzhinspektsiya_arhitekturi_dozvolila_buduvati_smittyepere-robnij_zavod_u_lvovi_n1526782) (дата звернення: 25.10.2022).
8. Звіт про результати моніторингу природного довкілля Львівщини за 2021 рік. Львів, 2022. 85 с.

## REFERENCES

1. *Povitria mozhe buty yakisnym [Air can be quality]*. Available at: <https://shotam.info/ecocity-iak-shkoliari-stvoryly-pershu-v-ukraini-merezhu-monitorynhu-iakosti-povitria/> (Accessed: 13 October 2022).
2. *SaveDnipro*. Available at: <https://www.savednipro.org/about/> (Accessed: 3 November 2022).
3. Maksyuta, N.S. (2020). *Udoskonalennia monitorynhu atmosferneho povitria ahlomeratsii (na prykladi m. Poltava) [Improvement of atmospheric air monitoring of agglomerations (on the example of the Poltava city)]*: Ph.D. Thesis 183 / The Yu. Kondratyuk Nat. Poltava Polytechnic University]. Poltava. (in Ukr.)
4. Mokin, V.B., Dzyunyak, D.Yu., Bondaletov, K.O. & Oliynyk V.V. (2015). *Metod i tekhnolohiia monitorynhu stanu atmosferno-ho povitria za dopomohoiu universalnoi informatsiino-vymiriuvalnoi systemy z vykorystanniam mobilnykh prystroiv [The method and technology of monitoring the state of atmospheric air with the help of a universal information and measurement system using mobile devices]*. *Naukovi pratsi VNTU [Scientific works of VNTU]*, 4. (in Ukr.)
5. AWS. Available at: <https://aws.amazon.com/ru/what-is/net/> (Accessed: 15 October 2022).
6. *SaveEcoBot. Riven zabrudnennia atmosferneho povitria u Lvivskii oblasti [SaveEcoBot. Level of atmospheric air pollution in the Lviv region]*. Available at: <https://www.saveecobot.com/maps/lvivska-oblast> (Accessed: 20 October 2022).
7. *Derzhinspektsiia dozvolila buduvati smittyepere-robnij zavod u Lvovi [The State Inspectorate allowed to build a waste processing plant in Lviv]*. Available at: [https://zaxid.net/derzhinspektsiya\\_arhitekturi\\_dozvolila\\_buduvati\\_smittyepere-robnij\\_zavod\\_u\\_lvovi\\_n1526782](https://zaxid.net/derzhinspektsiya_arhitekturi_dozvolila_buduvati_smittyepere-robnij_zavod_u_lvovi_n1526782) (Accessed: 25 October 2022).
8. *Zvit pro rezultaty monitorynhu pryrodnoho dovkillia Lvivshchyny za 2021 rik (2022) [Report on the results of monitoring the natural environment of the Lviv region for 2021]*. Lviv. (in Ukr.)

## **PUBLIC MONITORING AS A TOOL FOR ASSESSING THE STATE OF THE AIR BASIN IN THE UKRAINIAN REGIONS**

**A. V. Chugai, T. V. Lavrov**

*Odessa State Environmental University,  
15, Lvivska St., 65016 Odesa, Ukraine, avchugai@ukr.net  
<http://orcid.org/0000-0002-8091-8430>*

Over the recent years automated observation systems that work continuously and allow obtaining information at any time have been widely implemented. Such systems include public monitoring systems in order to receive more complete information about the quality characteristics of the air basin over Ukraine. Examples of public monitoring organizations include SaveEcoBot, EcoCity, SaveDnipro.

The information presented on the websites of the public monitoring system contains large amount of data that are difficult to process and analyze. In order to optimize data processing, a program called PublicMonitoringParser was developed. It transforms large volumes of data presented on the Internet resource SaveEcoBot.com into compact, convenient, small files containing average monthly concentrations of pollutants and indicators of meteorological parameters. The program is written using the C# programming language and the .NET platform. The structure of the program and the principles of its operation are presented in this research.

According to the data of the website SavEcoBot.com the developed program was applied for assessment of the air basin state of Lviv Region in 2021. In general, for most substances, monitoring data were available only at the station in the city of Lviv at the following address: 13 Plastova Str. Monitoring of  $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$  content was carried out across the whole region.

It was detected that the content of  $NO_2$ ,  $SO_2$ ,  $NH_3$  exceeded the limit value. Significant excesses were also noted for the  $NH_3$  content (up to 9 – 16 MPC). It was established that the location of the public monitoring station was surrounded by industrial buildings, numerous transport industry enterprises, an oil depot for OKKO gas stations and city sewage treatment facilities. A comparison of the data obtained at stationary and automated points that monitor individual pollutants showed that the results are comparable only for the  $NO_2$  content.

Data from automated observation points complement the network of stationary points. Currently, the existing stationary network of atmospheric pollution monitoring across most regions of Ukraine is outdated and needs to be re-equipped. In general, it is necessary to further implement automated systems that are able to characterize the state of the air basin across individual populated places in a more complete and detailed manner.

**Key words:** automated surveillance; public monitoring; air basin, pollution.

*Подання до редакції : 06. 12. 2022  
Надходження остаточної версії : 17. 12. 2022  
Публікація статті : 27. 12. 2022*

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 **KB 23515-13355PR**, originating date is 25.07.2018

*Рекомендовано до друку вченою радою Одеського державного екологічного університету, протокол № 11, 27. 12. 2022 р.*

*Recommendations from Science Council of Odessa State Environmental University, Protocol no.11, 27. 12. 2022*

**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](mailto:info@odeku.edu.ua)  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
ДК № 5242 від 08.11.2016

ISSN 2311-0902 (print). Український гідрометеорологічний журнал. 2022. № 30. 1 – 87.

ISSN 2616-7271 (online). Ukraïns'kij gidrometeorologičnij žurnal. 2022. № 30. 1 – 87.  
Український гідрометеорологічний журнал  
Ukrainian Hydrometeorological Journal