

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



Номер 31
Issue 31

2023

УКРАЇНСЬКИЙ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ

Ukrainian Hydrometeorological Journal

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Ministry of Education and Science of Ukraine

ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Odessa State Environmental University

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

Ukrains'kij Gidrometeorologičnij Žurnal

Ukrainian Hydrometeorological journal

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

Scientific Journal

Друкується 2 рази на рік

Issued: 2 times a year

Заснований у 2005 р.

Founded in 2005 y.

№ 31, 2023

Одеса

Одеський державний екологічний університет

2023

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, Агрометеорологія

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-Тимор" (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. Шахірзанова**, д-р
геогр. наук, проф., зав. кафедри гідрології суші ОДЕКУ.

Редактор англійських текстів

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

Відповідальний секретар

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

“Український гідрометеорологічний журнал” є спеціалізованим науковим виданням, в якому публікуються результати фундаментальних та прикладних наукових досліджень у напрямках “Гідрометеорологія” (метеорологія і кліматологія; агрометеорологія; гідрологія суші, водні ресурси, гідрохімія; океанологія) спеціальності «Науки про Землю» та «Екологічні аспекти природокористування» спеціальності «Екологія» з метою інформування про сучасні наукові досягнення українських та зарубіжних дослідників, розвитку вищої освіти, оприлюднення результатів наукових досліджень з теоретичних та прикладних аспектів вирішення актуальних проблем у відповідних або суміжних областях науки.

Журнал призначений для науковців, науково-педагогічних працівників закладів вищої освіти, студентів, аспірантів та докторантів та 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’.

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
Makarynskiy**, PhD in Geography, Lead Researcher, Australian Institute of
Marine Science, Arafura Timor Research Facility, Australia; **Dina
Makarynska**, PhD in Geophysics, Aquatic Health Unit / Water Resources
Division, Department of Environment and Natural Resources, Australia;
Oleksandr V. Mudrak, D. Sc. in Agriculture, Prof., Head of the
Department of Ecology, Nature and Mathematic Sciences of Vinnytsia
Academy of Continuing Education, Ukraine; **Valeriya A. Ovcharuk**, D. Sc.
in Geography, Assoc. Prof., Director of the Hydrometeorological Institute of
OSENU, Ukraine; **Anatolii M. Polovyi**, D. Sc. in Geography, Prof., Head of
the Department of Agrometeorology and Agroecology of OSENU, Ukraine;
Inna Semenova, D. Sc. in Geography, Assoc. Prof., Prof. of the Department
of Military Training of OSENU, Ukraine; **Zhanetta R. Shakhirzanova**,
D. Sc. in Geography, Prof., Head of the Department of Land Hydrology of
OSENU, Ukraine; **Sergiy M. Stepanenko**, D. Sc. in Physics and
Mathematics, Prof., Rector of OSENU, Ukraine.

Editor of texts in English

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

Executive Secretary

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

ЗМІСТ

CONTENTS

**Гідрологія суші, водні ресурси,
гідрохімія**

**Hydrology and Water Resources,
Hydrochemistry**

Шакірзанова Ж. Р., *Перевозчиков І. М.,* **5**
Шевченко О. П. Застосування методу територіальних довгострокових прогнозів для визначення максимальних витрат води в умовах формування весняного водопілля 2022-2023 року в басейні р.Десна

Shakirzanova Zh. R., *Perevozchikov I. M.,*
Shevchenko O. P. Application of the method of territorial long-term forecasts to determine the maximum water discharge rates under the conditions of spring flood 2022-2023 formation across the Desna basin

Океанологія

Oceanography

Тучковенко Ю. С. Комплексне вирішення **22**
проблеми забезпечення доброго екологічного стану морського середовища на прилеглий до північної частини міста Одеса ділянці узбережжя

Tuchkovenko Y. S. A comprehensive solution to the problem of ensuring a good environmental status of the marine environment across the coastal area that is adjacent to the northern part of the city of Odesa

Коморін В. М. Теоретико-методологічні **33**
аспекти управління екосистемними ризиками моря

Komorin V. M. Theoretical and methodological aspects of sea ecosystem risks management

**Екологічні аспекти
природокористування**

**Environmental Aspects of
Nature Management**

Сафранов Т. А. Корисні властивості природних **55**
систем окремих частин прибережної зони Північно-Західного Причорномор'я

Safranov T. A. Useful properties of natural systems within specific parts of the North-Western Black Sea Region's coastal zone

Савенець М. В., *Дворецька І. В.,* *Козленко Т. В.,* **69**
Комісар К. М., *Уманець А. П.,* *Жемера Н. С.* Стан забруднення атмосферного повітря в Україні напередодні повномасштабного російського вторгнення. Частина 1: приземний вміст забруднюючих речовин

Savenets M. V., *Dvoretzka I. V.,* *Kozlenko T. V.,*
Komisar K. M., *Umanets A. P.,* *Zhemera N. S.* Status of atmospheric air pollution in Ukraine prior to the full-scale russian invasion. Part 1: ground-level content of pollutants

Лобода Н. С., *Отченаш Н. Д.,* *Федіна Н. О.* **88**
Розроблення методичного підходу до визначення екологічних ризиків забруднення водних об'єктів у межах індустріально розвинутих територій (на прикладі річок міста Харків)

Loboda N. S., *Otchenash N. D.,* *Fedina N. O.* Development of a methodological approach for determination of environmental risks of water bodies pollution across industrially developed territories (as exemplified by the rivers of city of Kharkiv)

- Лобода Н. С., Яров Я. С., Куза А. М., Катинська І. В. Комплексна оцінка антропогенних навантажень та наслідків їх впливу на екологічний стан водних об'єктів (на прикладі річки Грузька Кіровоградської області) **103**
- Loboda N. S., Yarov Y. S., Kuza A. M., Katynska I. V. Comprehensive assessment of anthropogenic loads and consequences of their influence on the environmental state of water bodies (as exemplified by the Gruzka River, Kirovohrad Region)
- Сафранов Т. А., Приходько В. Ю., Михайленко В. І. Відходи пластикових матеріалів: оцінка утворення та поводження в регіонах Північно-Західного Причорномор'я **122**
- Safranov T. A., Prykhodko V. Yu., Mykhailenko V. I. Plastic waste: assessment of the processes of its formation and management in the North-Western Black Sea Coast Regions

УДК 556.16.06 (321):556.166

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ДОВГОСТРОКОВИХ ПРОГНОЗІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНИХ ВИТРАТ ВОДИ В УМОВАХ ФОРМУВАННЯ ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ 2022-2023 РОКУ В БАСЕЙНІ Р.ДЕСНА

**Ж. Р. Шакірманова¹, І. М. Перевозчиков²,
О. П. Шевченко¹**

¹Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, jannetodessa@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-0600-5657>

²Український гідрометеорологічний центр ДСНС України,
вул. Золоторітська, 6-В, 01030, Київ, Україна

В умовах зміни клімату та установлені багатьма авторами багаторічної тенденції до зменшення гідрологічних характеристик весняного водопілля річок України, ймовірним залишається формування на річках багатководних повеней, що супроводжуються підйомами рівнів води та виходом води на заплаву. Так, гідрометеорологічні умови формування тало-дощового стоку річок у осінньо-зимовий та весняний періоди 2022-2023 років в басейнах рр. Дніпра, Десни та їх приток, за даними Українського гідрометеорологічного центру (УкрГМЦ) ДСНС України (web: www.meteo.gov.ua), характеризувалися складним характером, що призвело до підйому рівнів води в річках із затопленням заплів, порушенням транспортного сполучення, а також затопленням населених пунктів у Київській, Чернігівській та інших областях України.

Метою даного дослідження є вирішення питань щодо визначення природних чинників, які призводять до екстремальних за розмірами весняних водопілля, та довгострокового прогнозування максимального стоку весняного водопілля 2022-2023 р. в басейні р. Десна.

В роботі для оперативного прогностичного забезпечення та оцінки розмірів весняних водопілля у басейні річки Десна та інших лівих приток Середнього Дніпра застосована методика територіальних довгострокових прогнозів максимального стоку весняного водопілля, що враховує комплекс гідрометеорологічних чинників, які в щорічному їх поєднанні призводять до формування різних за розмірами весняних водопілля.

Результати довгострокового прогнозу максимальних витрат води весняного водопілля 2022-2023 р. за прогностичним комп'ютерним комплексом «СЕЙМ» показали задовільні статистичні оцінки прогнозу максимальних витрат води водопілля у разі врахування високої передповеневої водності річок на спаді зимового паводку. Завчасність прогнозів максимальних витрат води водопілля 2022-2023 р. становила від 20-30 діб для невеликих приток Десни до двох місяців - для річок Десна і Сейм.

Застосування методу територіальних довгострокових прогнозів характеристик весняного водопілля річок дає можливість просторового моніторингу водності річок при прогнозуванні за методикою максимальних витрат води для будь-яких річок території, включаючи й ті, на яких відсутні спостереження за стоком води.

Передчасне попередження про небезпечну водність річок зимово-весняного періоду може суттєво скоротити розміри негативних наслідків і отримати соціально-економічний та екологічний ефект.

Ключові слова: максимальний стік; екстремальне весняне водопілля; довгострокові прогнози.

1. ВСТУП

Одним з небезпечних наслідків кліматичних змін є збільшення частоти та амплітуди небезпечних природних явищ, до яких в гідрологічному циклі можна віднести катастрофічні паводки різного походження, у тому числі й тало-дощового стоку періоду

весняного водопілля річок.

На фоні загальної тенденції зменшення стокових характеристик весняного водопілля річок України, не виключено формування й багатководних і, навіть, катастрофічних повеней, що призводять до затоплення територій та руйнування господарських об'єктів. Такими, вкрай складними, гідрометеорологічними

умовами, за даними Українського гідрометеорологічного центру Державної служби України з надзвичайних ситуацій (УкрГМЦ) [1] характеризується формування тало-дощового стоку річок у осінньо-зимовий та весняний періоди 2022-2023 років в басейнах рр. Дніпро, Десна та її приток. Детальний аналіз і постійний моніторинг гідрометеорологічної ситуації у цей період в басейнах цих річок, який виконувався у відділі гідрологічних прогнозів УкрГМЦ та Чернігівському обласному центрі з гідрометеорології дозволив в оперативному режимі інформувати та надавати попередження про розвиток і формування небезпечних підйомів рівнів води річок та затоплення окремих заплавної території в басейнах Верхнього Дніпра і Десни. Так, через підйом рівнів води на Десні спостерігалося ускладнення гідрологічної обстановки з затопленням заплави, порушенням транспортного сполучення, а також підтоплення повеневими водами та відрізання від основних шляхів сполучення ряду прирічкових сіл в окремих регіонах [2].

Гідрологічна ситуація перебувала на посиленому контролі ДСНС України, коли було введено тимчасове закриття руху для всіх транспортних засобів на деяких ділянках автомобільних доріг загального користування державного значення (Департамент з питань цивільного захисту та оборонної роботи Чернігівської обласної державної адміністрації). У деяких областях було затоплено сільськогосподарські угіддя, порушено транспортне сполучення до 33 населених пунктів (Чернігівська – 32 та Київська – 1).

Для цих районів було оголошено червоний і помаранчевий рівень небезпеки через проходження високих вод весняного водопілля 2022-2023 р. Високий рівень небезпеки також був на Київщині та Чернігівщині [2].

Пропуски повені здійснювалися через гідроагрегати і через затвори водозливних гребель гідроелектростанцій у контрольованому режимі (Укргідроенерго).

Внаслідок пропуску весняного водопілля через Київську ГЕС, на річці Дніпро у місті Києві та деяких районах Київської області спостерігалося затоплення заплавної території та відмічалось часткове затоплення низьких ділянок садово-дачних забудов, присадибних ділянок у низці прирічкових населених пунктів (II рівень небезпеки – помаранчевий) [2].

В такому разі актуальним стає прогнозування висоти весняних максимумів на основі створення моделей комплексної оцінки гідрометеорологічних чинників і завчасного

попередження водної стихії, що може суттєво скоротити розміри негативних наслідків і отримати соціально-економічний та екологічний ефект.

Метою даного дослідження є вирішення питань щодо визначення природних чинників, які призводять до екстремальних за розмірами весняних водопіль та довгострокового прогнозування максимального стоку весняного водопілля 2022-2023 р. в басейні р. Десна та її приток.

2. ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Річка Десна є лівою притокою р.Дніпро, водозбір якої розташований в східній частині Українського Полісся, в межах зони мішаних лісів і лісостепової зони України. Річка є трансграничною водною артерією, басейни верхів'їв річок з гідрологічними постами та метеорологічними станціями розташовані за межами території країни.

За даними монографічного видання [3], в басейні Десни холодні та багатосніжні зими сприяють формуванню виражених повноводних весняних водопіль з відповідною часткою від 39 до 80 % в загальному річному стоці річок. Зимові відлиги тут рідкі і не глибокі (за винятком нижньої частини Десни). Водність річок обумовлюється запасами води у сніговому покриві в умовах значної залісеності басейнів, процесами сніготанення і рідкими опадами, які випадають в період танення снігу. Водопроникна властивість ґрунтів, від якої залежать основні втрати весняних вод на інфільтрацію, визначається зволоженням водозборів за рахунок рясних осінніх дощів і глибоким промерзанням ґрунтів взимку. При цьому водопроникна їх спроможність незначна і мало змінюється з року в рік.

Однак, аналіз останніх досліджень закордонних і вітчизняних вчених Blöschl G. et al. [4-6] показав, що внаслідок зміни клімату в масштабах повеней і строках їх виникнення в Європі за останні п'ять десятиліть мають місце різні тенденції через відмінності в процесах їх формування. Зокрема, встановлено, що на території Східної Європи, у тому числі на території України зменшення кількості снігу та його танення призвело до зменшення повеней.

Дані також вказують на очевидне зсування часу початку повеней до більш ранніх дат, майже до зимових місяців і формування на річках максимального тало-дощового стоку. Однак, ймовірність катастрофічних сніго-

дошових повеней збільшується при потеплінні клімату [4].

Дослідження українського вченого В.В. Гребеня [7] показали, що вплив кліматичної зміни у зв'язку з підвищенням температур повітря, збільшенням випаровування та внутрішньорічним перерозподілом атмосферних опадів, став особливо помітним у водному режимі річок України у період з 1989 року.

Вплив змін клімату на водні ресурси України та оцінка можливих майбутніх змін водного стоку річок України за даними кліматичних сценаріїв розглянуті в роботах українських вчених Н.С. Лободи [8, 9] та Л.О. Горбачової [10].

Для довгострокового прогнозування максимального стоку весняного водопілля 2022-2023 р. в басейні р. Десна та її приток застосований науково-обґрунтований метод прогнозування з довгостроковою завчасністю максимальних витрат води весняних водопіль, в основу якого покладено математичну модель формування поверхневого стоку на басейні [11-14]. Прогнозування максимальних витрат води водопілля 2022-2023 р. виконане при використанні автоматизованого програмного комплексу, який впроваджений і практично використовується в оперативній діяльності Українського гідрометцентру (Акт впровадження, 2015 р.).

3. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

На сьогодні в світовій і вітчизняній практиці гідропрогностичного обслуговування методи прогнозування характеристик стоку, у тому числі екстремальних, представляються математичними моделюючими комплексами, які дозволяють детально і послідовно описувати випадкові зміни метеорологічних впливів на водозбір, а процеси формування річкового стоку представляти у динаміці їх розвитку у часі [15, 16, 17].

Більшість математичних моделей призначена в основному для короткострокового прогнозування гідрографів стоку у замикальних створах річок з різною деталізацією процесів стокоутворення. Вони враховують витрати води основних приток або включають до себе систему диференціальних рівнянь, що описують такі фізичні процеси на басейні, як затримання опадів рослинністю, сумарне випаровування, схилний та руслової стік, рух води в зоні аерації й зоні насичення та сніготанення. Огляд таких моделей наданий в [15, 16, 18, 19].

Прикладами закордонних математичних моделей короткострокових гідрологічних прогнозів гідрографу стоку річок, тобто тих, що дозволяють виконувати безперервний (із завчасністю від 12-24 годин та до 1-7 діб) розрахунок ходу річкового стоку на басейні, можуть бути названі такі, як концептуальна гідрологічна модель HBV (Hydrologiska Byrans Vatten balansavdelning model) [18], модель Сакраменто [20], LARSIM (Large Area Runoff Simulation Model) [21], гідродинамічні математичні моделі з розподіленими параметрами – Європейська гідрологічна система (SHE) [22], модель DHSWM (Distributed Hydrology Soilsand Vegetation Model) [23], моделі WAVOS [24], FLORIS 2000 [25] з урахуванням зарегульованості стоку гідровузлами, модель типу HBV (Hydrologiska Byrans Vatten balansavdelning model) – COSERO (безперервна напіврозподілена модель) [26], універсальна гідродинамічна модель MIKE11 для оперативного прогнозу стоку будь-яких характеристик річкового водозбору [27], детерміністична концептуальна та напіврозподілена модель NHFS [28] та ін.

У вітчизняній практиці в Українському гідрометеорологічному інституті ДСНС України та НАН України (УкрГМІ) розроблені автоматизовані прогнозно-моделюючі комплекси, які на основі математичного розрахунку процесів просторового розподілу опадів, снігонакопичення та сніготанення, зміни стану поверхні водозборів, стокоутворення, випаровування та фільтрації дозволяють прогнозувати річковий стік у період розвитку весняних водопіль та дошових паводків [29, 30]. Такі автоматизовані комплекси на даний час широко використовуються в оперативній діяльності УкрГМЦ.

Для довгострокового прогнозування характеристик максимального стоку весняного водопілля рівнинних річок в Україні розроблені і використовуються в оперативній практиці прогностичний комплекс «СЛОЙ-2» [17, 29, 30] та комплексний метод територіальних довгострокових прогнозів характеристик весняного стоку деяких рівнинних річок України [11 - 14].

В моделі «СЛОЙ-2» для різних ландшафтних умов обґрунтована можливість просторових довгострокових гідрологічних прогнозів шарів стоку весняного водопілля рівнинних річок, у тому числі тих, що не вивчені у гідрологічному відношенні [29, 30]. Оцінка динаміки природних процесів формування тало-дошового стоку здійснюється для відкритих і залісених частин

річкових басейнів й у районах з зимовими відлигами, які стали звичайним природним явищем в сучасних умовах клімату [31].

Метод ймовірнісної оцінки максимальних витрат води, що пропонується авторами моделі «СЛОЙ-2» [29], ґрунтується на статистичних зв'язках між шарами стоку h і максимальними витратами води Q_m для модельних створів річок басейнів, тобто тих, по даних яких велася розробка і апробація моделі «СЛОЙ-2» [29]. Такі зв'язки описуються узагальненим рівнянням

$$\tilde{Q}_{m_{сер}} = K_Q h, \quad (1)$$

де $\tilde{Q}_{m_{сер}}$ - витрати води, оцінені по середній емпіричній лінії зв'язку;

K_Q - емпіричний коефіцієнт.

Відхилення максимальних витрат води від лінії зв'язку

$$\Delta Q = \tilde{Q}_{m_{сер}} - Q_m \quad (2)$$

залежить від витрат води $\tilde{Q}_{m_{сер}}$, тобто

$$|\Delta \tilde{Q}| = K_{\Delta Q} \cdot \tilde{Q}_{m_{сер}}, \quad (3)$$

де $K_{\Delta Q}$ - емпіричний коефіцієнт цієї залежності;

$|\Delta \tilde{Q}|$ - відхилення для будь-якого значення максимальної витрати води розподілені за біноміальним законом з показниками варіації C_V та асиметрії C_S .

Таким чином, за одержаними в моделі значеннями коефіцієнтів K_Q і $K_{\Delta Q}$, за допомогою функцій розподілу відхилень $|\Delta \tilde{Q}|$ за величиною випадкового компонента δQ_P обчислюються максимальні витрати води \tilde{Q}_{m_P} певної ймовірності перевищення P для будь-якого значення шару стоку h .

Викладені положення записуються наступним чином [29]:

$$\tilde{Q}_{m_P} = \tilde{Q}_{m_{сер}} + \delta Q_P; \quad (4)$$

$$\delta Q_P = K_P |\Delta \tilde{Q}|, \quad (5)$$

де K_P - перехідний коефіцієнт від відхилень $|\Delta \tilde{Q}|$ до величини δQ_P .

Розраховані за рівняннями (1)-(5) значення витрат води \tilde{Q}_{m_P} надаються у вигляді інтервальних оцінок при ймовірності β , за якою гарантується умова, що значення спрогнозованої витрати води буде знаходитись у межах довірчого інтервалу I_β

$$\begin{cases} I_\beta = \{\tilde{Q}_{m_{P2}}, \tilde{Q}_{m_{P1}}\}, \\ \beta = P_2 - P_1 \end{cases}, \quad (6)$$

де P_1 і P_2 - ймовірності перевищення (забезпеченість).

Коефіцієнти $K_Q(P)$ обчислені авторами моделі для встановлених забезпеченостей $P\%$ - 10, 20, 25, 75, 80 і 90%. При використанні коефіцієнтів $K_{\Delta Q}$ відпадає необхідність застосовувати допустимі похибки прогнозів, оскільки у межах довірчих інтервалів одночасно враховуються ймовірні відхилення витрат води.

При прогнозуванні максимальних весняних витрат води з малих водозборів, при відсутності гідрометричних спостережень параметри моделі узагальнюються в залежності від площі і похилу поверхні водозборів або приймаються як осереднені величини. Однак, використання цього методу для прогнозування максимальних витрат води весняного водопілля потребує наявності прогнозних шарів стоку весняного водопілля, що збільшує похибку прогнозу і зменшує його достовірність. Також метод не дає можливості просторової оцінки максимальних витрат води весняних водопіль, що обмежує моніторинг небезпеки екстремальних максимумів річкового стоку.

На відміну від моделі «СЛОЙ-2», комплексний метод територіальних довгострокових прогнозів гідрологічних характеристик весняного водопілля рівнинних річок України авторів [11 - 14] вирішує задачу просторового прогнозування шарів стоку та максимальних витрат води весняного стоку річок при попередньому встановленні типу або діагнозу водності майбутньої весни за комплексом гідрометеорологічних чинників, отриманих за регіональними залежностями прогнозних величин та представлених у картографічному вигляді як шарів стоку, так й максимальних витрат води, які виражені у безрозмірних величинах.

Основною перевагою комплексного методу територіальних довгострокових прогнозів є можливість одержання як прогнозних, так середньобогаторічних характеристик стоку (які є

базовими в прогнозній методиці), включаючи й річки, що не охоплені тривалими гідрологічними спостереженнями для надійного розрахунку їх статистичних величин. При визначенні останніх, авторами методу [11 - 14] прийнята теорія руслових ізохрон добігання води, яка була реалізована для типового одноmodalного гідрографу весняного водопілля [13, 32].

4. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

В роботі для прогнозування максимальних витрат води весняного водопілля в басейні р.Десна та інших приток лівобережжя Середнього Дніпра використаний метод територіальних довгострокових прогнозів характеристик весняного стоку рівнинних річок [11, 12].

Основу прогнозу методика становлять обґрунтовані регіональні залежності між максимальними модульними коефіцієнтами та максимальними запасами води в сніговому покриві, які мають вигляд

$$q_m/q_0 = f(S_m/S_0) \quad (7)$$

або

$$k_{q_m} = f(k_S), \quad (8)$$

де q_m і q_0 - максимальний модуль весняного водопілля і його середньобаторічна величина, м³/(с·км²); S_m і S_0 - максимальний запас води в сніговому покриві (з урахуванням льодової кірки) перед початком весняного сніготанення і його середньобаторічна величина, мм;

k_{q_m} - максимальний модульний коефіцієнт весняного водопілля;

k_S - модульний коефіцієнт запасів води в сніговому покриві на басейні, які приймають участь у формуванні максимальної витрати води весняного водопілля.

Аналіз гідрометеорологічних умов формування весняних водопіль багаторічного періоду в басейнах р. Десна та інших приток лівобережжя Середнього Дніпра показав, що стан ґрунтів при формуванні витрат води в період весняного водопілля визначають їх зволоженість в осінньо-зимовий період і промерзання протягом зими. Процеси інтенсивності танення снігу, який є основним чинником формування весняного стоку річок, визначаються температурними умовами періоду сніготанення на басейнах.

Комплекс гідрометеорологічних чинників, які в щорічному їх поєднанні призводять до формування різних за розмірами весняних водопіль враховується в методі територіальних довгострокових прогнозів водопіль при використанні лінійної дискримінантної функції [33, 34].

Так, для басейну р. Десна та приток лівобережжя Середнього Дніпра [11, 35 - 37] до складу вектор-предиктора дискримінантної функції включені (у вигляді модульних коефіцієнтів) сумарні запаси вологи на водозборі, що беруть участь у формуванні весняного водопілля – максимальні передвесною снігозапаси (k_S); індекс зволоження ґрунтів, в якості якого прийнятий річковий стік осінньо-зимового періоду ($k_{q_{09-01}}$); максимальна глибина промерзання ґрунтів (k_L); температура повітря у лютому (Θ_{02} °С).

В межах всієї лівобережної частини басейну Дніпра одержані районні рівняння дискримінантних функцій DF у вигляді [11, 35, 36]

$$DF = a_0 + a_1 k_S + a_2 k_{q_{09-01}} + a_3 k_L + a_4 \Theta_{02}; \quad (9)$$

де A ($a_0, a_1, a_2, \dots, a_m$) - вектор коефіцієнтів дискримінантної функції.

З урахуванням знаку лінійної дискримінантної функції DF здійснюється складання альтернативного (якісного) прогнозу типу водності майбутнього весняного водопілля.

Прогнозні залежності $q_m/q_0 = f(S_m/S_0)$, які побудовані за знаком дискримінантних функцій, описуються поліномами 3-го ступеня

$$\frac{q_m}{q_0} = b_0 + b_1 \frac{S_m}{S_0} + b_2 \left(\frac{S_m}{S_0} \right)^2 + b_3 \left(\frac{S_m}{S_0} \right)^3, \quad (10)$$

де b_0, b_1, b_2, b_3 – коефіцієнти поліному.

Встановлено, що для басейнів річок розглядуваної території, які характеризуються однорідними умовами формування весняних водопіль, дискримінантні рівняння і прогнозу поліноми стали та можуть використовуватися для усіх річок регіону, включаючи й ті з них, що не вивчені у гідрологічному відношенні [11, 35, 36]. По встановлених регіональних залежностях вигляду (7) чи (8), а також за даними снігомірних зйомок, за методикою знаходяться значення максимальних модульних коефіцієнтів

$k_{q_m} = q_m/q_0$. Одержання прогнозних величин максимальних модулів весняного водопілля q_m , м³/(с·км²) відбувається як

$$q_m = k_{q_m} q_0, \quad (11)$$

а максимальних витрат води (м³/с) –

$$Q_m = k_{q_m} q_0 F, \quad (12)$$

де F - площа водозборів річок, км².

Реалізація методу територіальних довгострокових прогнозів максимальних витрат води весняного водопілля потребує визначення середньобагаторічного модуля максимального стоку q_0 , м³/(с·км²). Для річок, по яких є багаторічні ряди спостережень, його значення можна визначити як

$$q_0 = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{m_i}}{n \cdot F}, \quad (13)$$

де Q_{m_i} - максимальні витрати води водопілля i -х років (м³/с) за період спостережень n .

За відсутності даних спостережень за стоком води, тобто річок, не вивчених у гідрологічному відношенні, величина q_0 визначається за методикою, яка спирається на модель типового редуційного гідрографа водопілля – операторної моделі формування максимального стоку річок [13, 32].

В умовах сучасних коливань клімату та наявності, у зв'язку з цим, часових тенденцій до зменшення як шарів стоку, так і максимальних витрат води весняних водопілля, авторами [32, 38] запропонований модифікований варіант операторної моделі формування максимального стоку рівнинних річок України у вигляді

$$q_0 = q'_0 \psi(t_p / T_0) \varepsilon_F r k_{зм}, \quad (14)$$

де $k_{зм}$ – коефіцієнт змін клімату

$$k_{зм} = \frac{((S_m + \sum X) \cdot \eta)_{прогн.}}{((S_m + \sum X) \cdot \eta)_{сучасн.}}, \quad (15)$$

де S_m – максимальні запаси води в сніговому покриві перед початком весняного водопілля, мм; $\sum X$ – сума опадів періоду весняного водопілля, мм; η – коефіцієнт стоку весняного

водопілля (за прогнозними оцінками і у сучасний період);

В формулі (14) також:

q'_0 – середньобагаторічний модуль максимальної витрати води схилового припливу, м³/(с·км²);

$\psi(t_p / T_0)$ – трансформаційна функція розпластування повеневих хвиль під впливом руслового добігання;

ε_F – коефіцієнт русло-заплавного регулювання;

r – коефіцієнт трансформації водопілля під впливом озер і водосховищ руслового типу.

Середньобагаторічний модуль максимальної витрати води схилового припливу q'_0 в (14), визначається в рамках редуційних гідрографів [13, 32]

$$q'_0 = 0,28 \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} Y_0, \quad (16)$$

де $(n+1)/n$ – коефіцієнт нерівномірності схилового припливу у часі, що приймається для басейнів рівнинних річок України на рівні 8,1;

T_0 – тривалість схилового припливу, год;

Y_0 – середньобагаторічний шар стоку, мм.

В прогнозній методиці територіальних довгострокових прогнозів характеристик весняного водопілля річок [11, 35, 36] передбачено також визначення забезпеченості або ймовірності настання у багаторічному періоді прогнозних величин максимальних витрат води водопілля Q_m . Вона встановлюється за спрогнозованими за методикою максимальними модульними коефіцієнтами k_{q_m} і коефіцієнтами варіації максимальних витрат води водопілля $(C_v)_{Q_m}$ по таблицях трипараметричного гама-розподілу С.Н. Крицького і М.Ф. Менкеля при встановленому для даної території $(C_s / C_v)_{Q_m} = 2,5$ [39].

Для невивчених у гідрологічному відношенні річок величина $(C_v)_{Q_m}$ може бути отримана за регіональною залежністю

$$(C_v)_{Q_m} = 1,09 - 0,17(\varphi^0 - 50), \quad (17)$$

де φ^0 - широта геометричних центрів водозборів, в частках °півн.ш.

Забезпеченість прогнозних величин максимальних витрат води весняного водопілля P_{Q_m} , % встановлюється у вигляді інтервалу забезпеченостей

$$P_1 < P_{Q_m} < P_2, \quad (18)$$

де P_1 і P_2 – верхня та нижня межі забезпеченості, % [40].

Оцінка справджуваності довгострокових прогнозів максимальних витрат води весняного водопілля виконувалася шляхом визначення похибки прогнозу δ та в частках від допустимої похибки – $\delta/\delta_{\text{доп}}$ [41, 42].

Величина похибки прогнозу δ , м³/с визначається за рівнянням

$$\delta = Q_m - Q'_m, \quad (19)$$

де Q_m і Q'_m – спостережені і спрогнозовані максимальні витрати води весняного водопілля, м³/с.

Величина допустимої похибки $\delta_{\text{доп}}$ максимальних витрат води водопілля становить $\pm 0,674$ від середньоквадратичного відхилення прогнозої величини від її середньобагаторічної величини (норми) σ_{Q_m} , м³/с. Прогноз вважається справджуваним, якщо відношення $\delta/\delta_{\text{доп}} \leq 1,0$ [41].

Формою представлення територіальних довгострокових прогнозів максимальних витрат води весняного водопілля по запропонованій методиці [11, 35, 36] є карти очікуваних величин максимальних модульних коефіцієнтів k_{q_m} та їх прогнозних забезпеченостей P_{Q_m} , %, що складаються в оперативному режимі на різні дати випуску прогнозів.

Карти дають змогу у кожному році здійснювати просторовий моніторинг розмірів майбутнього водопілля в цілому для великої території та визначати прогнозні значення максимальних витрат води водопілля для будь-якого водозбору у межах розглядуваної території, що є особливо корисним для невивчених річок.

Довгострокове прогнозування максимальних витрат води весняних водопіль річок басейну р.Десна та лівобережжя Середнього Дніпра виконано авторами [11, 43-45] при використанні програмного комплексу «СЕЙМ» з можливістю оперативного збору та обробки вихідної

гідрометеорологічної інформації, поточного прогнозування та статистичних оцінок характеристик максимального стоку весняного водопілля річок.

5. ОПИС І АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

Гідрометеорологічні умови формування весняного водопілля 2022-2023 р. За даними Українського гідрометеорологічного центру [1] гідрометеорологічна ситуація у басейнах річок України, зокрема басейну Дніпра, Десни та інших приток, в зимово-весняний період 2022-2023 рр. характеризувалася такими умовами формування весняного водопілля цього року.

Упродовж осінньо-зимового періоду 2022-2023 рр. склались несприятливі гідрометеорологічні умови для формування весняного водопілля у 2023 р. на більшості річок України: нестійкий температурний режим взимку, малоактивне та нерівномірне снігонакопичення, незначні снігозапаси, добра зволоженість метрового шару ґрунту (порівняно з осіннім періодом) та неглибоке промерзання ґрунту.

Осінній період 2022 року видався дощовим для більшої частини території України, у тому числі басейну р. Десна та її приток, що обумовило збільшення водності річок перед початком зимового періоду (рис.1).

Гідрометеорологічні умови зимового періоду 2022-2023 рр. (чергування снігонакопичення і відлиг в зимовий період, достатня кількість опадів переважно у вигляді дощів та мокрог снігу), що склались в другій половині грудня 2022 р. та впродовж січня 2023 р. обумовили формування та розвиток у грудні-січні кількох хвиль **тало-дощових паводків на річках суббасейнів Десни, Середнього Дніпра та інших річок** (рис.1). На Десні зафіксовано видатний зимовий паводок за всі роки. Таким чином на цих річках утримувався підвищений режим рівнів води і відповідно водність річок була переважно близькою до норми та вищою за неї.

За даними Каталогу небезпечних відміток минулих років, в період формування тало-дощових паводків, у Чернігівській області відмічалось досягнення та перевищення відміток небезпечних гідрологічних явищ, таких як порушення транспортного сполучення та часткового затоплення окремих населених пунктів, присадибних ділянок та сільськогосподарських угідь.

Процес снігонакопичення протягом зими 2022-2023 рр. був малоактивним з чергуванням періодів встановлення незначного снігового

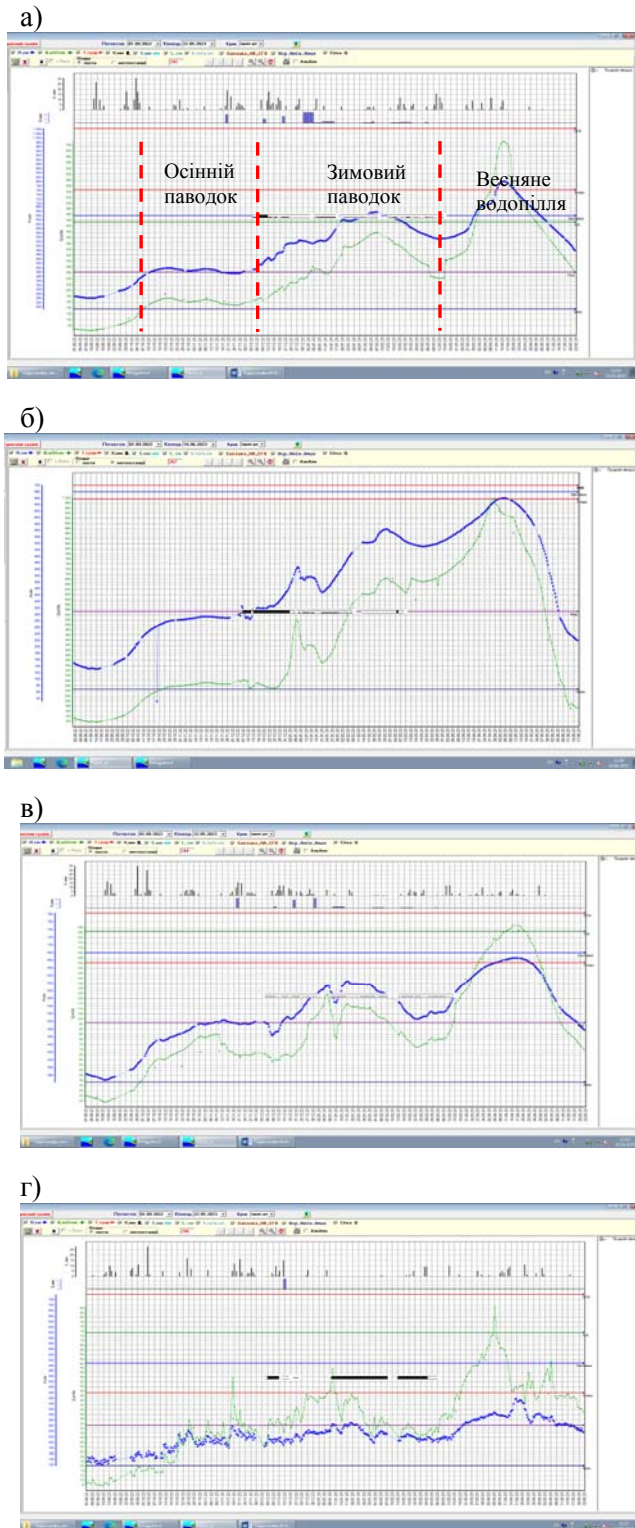


Рис. 1 – Комплексні графіки ходу гідрометеорологічних характеристик на р.Десна - с. Розльоти (а), р.Десна - м. Чернігів (б), р.Сейм - с. Мути́н (в), р. Псел - с. Запсілля (г)

Fig. 1 – Complex graph of hydrometeorological characteristics on the Desna River - the Razlyoty water gauging station (a), the Desna River - the Chernihiv water gauging station (b), the Seim river - the Mutyn water gauging station (c), Psel river - the Zapsillia water gauging station (d)

покриву та відлиг. Максимальні середні снігозапаси по основних річкових водозборах території спостерігались у грудні 2022 р. і становили на водозборах Прип'яті та Десни 25 мм.

За результатами снігомірної зйомки середні по басейнах річок запаси води у сніговому покриві станом на 28 лютого 2023 р. дорівнювали (у мм і відсотках норми на цю дату): Дніпра до Києва 12 (31); Сейму (притока Десни) до Мутино 16 (33); Десни до Чернігова 17 (35); Середнього Дніпра: Псел, Ворскла 7-15 (28-58). На решті рівнинних водозборів країни протягом зимового періоду снігозапаси були незначні (до 10 мм) або взагалі не спостерігались.

Враховуючи, що ґрунт з осені був добре зволожений і протягом зимового періоду відмічались відлиги та опади у вигляді дощу, **зволоження метрового шару ґрунту** у лютому переважно відмічалось близьким до достатнього зволоженого та перезволоженого.

Нетиповий режим погоди зимового періоду 2022-2023 рр. без тривалих значних морозів обумовив нерівномірне та незначне промерзання ґрунту по території країни. За даними на 20 лютого **глибина промерзання ґрунту** була меншою за середні багаторічні показники та становила у басейнах річок лівобережжя Дніпра 20-45 см, що дорівнює 25-45 % норми.

Таким чином, гідрометеорологічні умови осінньо-зимового періоду 2022-2023 рр. характеризувалися підвищеною водністю річок від осінніх дощів, нестійким режимом погоди зимового періоду (чередуванням холодних періодів та відлиг), незначним промерзанням ґрунту, формуванням у зимовий період екстремального тало-дощового паводку, що обумовили високу водність річок перед весняним водопіллям, подальшим малоактивним накопиченням та нерівномірним заляганням снігового покриву і, як наслідок, в цілому незначними снігозапасами в межах водозборів річок басейну Дніпра, Десни, лівих приток Середнього Дніпра на території країни (28-35%).

Такі гідрометеорологічні умови дали підставу УкрГМЦ [1] для очікування близького до норми весняного водопілля річок розглядуваної території, на відміну від інших частин території країни, де весняне водопілля 2022-2023 р. було не вираженим, оскільки був відсутній основний чинник водопілля – сніговий покрив.

Прогнозування максимальних витрат води весняного водопілля 2022-2023 р. в басейні р.Десна та інших приток Середнього Дніпра,

умови формування та наслідки якого проаналізовано вище, виконане авторами даної роботи за методикою територіальних довгострокових прогнозів характеристик водопіль при використанні програмного прогностичного комплексу «СЕЙМ» [12, 43 - 45]. Датою складання прогнозу прийнята встановлена УкрГМЦ дата основного випуску прогнозу в Україні, тобто 20 лютого.

На календарну дату складання прогнозу максимальних витрат води весняного водопілля розрахунок середніх на водозборах максимальних запасів води в сніговому покриві $(S_m)_{ДСП}$ ведеться за схемою

$$(S_m)_{ДСП} = [S_{ДСП}(1 - f_l) + k_l S_{ДСП} f_l] + \Delta \bar{S}, \quad (20)$$

де $S_{ДСП}$ – максимальні запаси води в сніговому покриві (за вимірами у полі), які накопичилися на дату складання прогнозу, мм;

f_l – залісеність водозборів, у частках від одиниці;

k_l – коефіцієнт снігонакопичення у лісі, прийнятий на рівні 1,12 [11, 36];

$\Delta \bar{S}$ – середня багаторічна добавка запасів води в сніговому покриві до максимальних в кожному році їх величин.

Визначення середніх величин добавок $\Delta \bar{S}$ на календарні дати складання прогнозу виконується за трьома сценаріями розвитку очікуваних погодних умов зимового сезону – по температурам повітря в лютому й березні та величинам можливих опадів в період після дати складання прогнозу (вищими, близькими та нижчими за норму) шляхом введення відповідних коефіцієнтів [11, 12, 36].

Індекс зволоження ґрунтів перед весняним водопіллям $(q_{09-01})_i$, що входить до складу вектор-предиктора дискримінантної функції (9) для конкретних років отримується на основі безпосередніх спостережень за стоком води річок. За відсутності спостережень в програмному комплексі здійснюється відновлення значень $(q_{09-01})_i$ шляхом побудовання для кожного i -го року залежностей типу

$$(q_{09-01})_i = k_1 + k_2(\varphi^o - 50), \quad (21)$$

де k_1 і k_2 – коефіцієнти рівняння (21), що отримуються у поточному році;

φ^o – широта геометричних центрів водозборів, в частках °півн.ш. приведена до середньої широти 50 °півн.ш.

Для розрахунку глибин промерзання ґрунтів на водозборах у вектор-предикторі дискримінантної функції (9) використовуються безпосередні їх виміри та розраховуються середні арифметичні значення глибин промерзання у межах кожного з водозборів. За відсутності спостережень на водозборі в програмному комплексі здійснюється відновлення полів глибин промерзання ґрунтів на дати прогнозу шляхом встановлення залежностей вигляду

$$L_i = k_3 + k_4(\varphi^o - 50), \quad (22)$$

де k_3 і k_4 – коефіцієнти рівняння (22), визначені у поточному році;

φ^o – географічна широта пунктів виміру глибин промерзання ґрунтів, в ° півн.ш.

Етапи випуску прогнозів максимальних витрат води весняного водопілля 2022-2023 р. в басейнах річок Десни та лівих приток Середнього Дніпра відповідають викладеній методиці територіальних довгострокових прогнозів максимального стоку весняного водопілля, що наведена вище.

Довгострокове прогнозування максимальних витрат води весняного водопілля та їх забезпеченостей у багаторічному періоді здійснюється у програмному комплексі «СЕЙМ» для опорних гідрологічних створів. Слід зазначити, що їх перелік включає крім басейну р. Десна з притоками, ще й інші ліві притоки Середнього Дніпра (рр. Сула, Псел і Ворскла). Визначення запасів води в сніговому покриві на водозборах відбувається за даними 57 метеорологічних станцій та постів. При цьому слід зазначити, що майже за відсутності запасів снігу на водозборах рр. Сула та Ворскла та їх приток перед початком весни 2023 р. прогнозування максимальних витрат води весняного водопілля цих річок не відбувалося.

Слід також зазначити, що застосування методу територіального довгострокового прогнозування максимальних витрат води весняного водопілля може здійснюватися й для інших річок території, включаючи ті, по яких відсутні дані спостережень за стоком води, при виконаних регіональних узагальненнях параметрів і коефіцієнтів прогновної методики і представленні прогнозних величин у вигляді

безрозмірних комплексів - максимальних модульних коефіцієнтів [11, 35, 36].

У зв'язку зі складними гідрометеорологічними умовами формування весняного водопілля 2022-2023 р. прогнозування максимальних витрат води річок Десни та інших лівих приток Середнього Дніпра (р. Псел з притокою) здійснювалося за різних сценаріїв випадіння опадів у вигляді снігу в період завчасності прогнозу (при температурі повітря в березні та опадах близьких та вищих за їх середньобогаторічні величини), що визначаються в методі прогнозу величиною добавок снігу до максимальних снігозапасів $\Delta\bar{S}$ на календарні дати складання прогнозу.

Так, на першому етапі довгострокове прогнозування максимальних витрат води весняного водопілля 2022-2023 р. для опорних створів в басейнах річок Десни та інших лівих приток Середнього Дніпра здійснено за сценарієм, коли температура повітря в березні і кількість опадів у вигляді снігу близькі до їх середньобогаторічних величин. При цьому величина добавок снігу до максимальних снігозапасів $\Delta\bar{S}$ на календарну дату складання прогнозу 20 лютого становила по території 3-8 мм (табл.1). Результати розрахунків показали (див. табл.1), що спрогнозовані за методикою величини максимальних витрат води весняного водопілля поточного року були значно меншими за їх спостережені величини.

Це пов'язане з тим, що передумовою утворення весняного стоку річок стала висока їх водність за рахунок проходження у грудні-січні екстремальних за витратами води тало-дошових паводків і весняне водопілля поточного року сформувалося на фоні значних передповенеких витрат води (див. рис.1). В такому разі, був розглянутий варіант розрахунків, коли спрогнозовані за методикою максимальні витрати води водопілля Q'_m , м³/с були підсумовані з витратами води, що спостерігалися на спаді зимового паводку, тобто перед початком весняного водопілля Q_{ns} , м³/с (табл.2).

Спрогнозовані таким чином максимальні витрати води весняного водопілля 2022-2023 р. річок Десни та інших приток Q''_m , м³/с у 85% випадків були справжуваними (за статистичними оцінками δ/δ_{don}), а їх величини близькі до спостережених.

В іншому варіанті прогнозування максимальних витрат води весняного водопілля

2022-2023 р було здійснено й за сценарієм випадіння опадів більших за їх середньобогаторічні величини, при величинах $\Delta\bar{S}$ періоду завчасності прогнозу на рівні 12-25 мм для різних за географічним положенням річкових водозборів.

До речі, загалом за березень найбільша кількість опадів спостерігалась в басейнах річок Прип'яті та Десни – 113-203 % місячної норми. І, навіть, останніми днями місяця (з 28 березня) із заходу відбувся затік холоду з помірними і значними дощами, які перейшли у сніг і на лівобережжі встановився сніговий покрив висотою до 10 см, а на пригирловій ділянці Десни – 1-4 см.

За таким сценарієм випадіння опадів, спрогнозовані максимальні витрати води майже врахували спостережені максимальні обсяги водопілля з високим відсотком справджуваності складених прогнозів. При додаванні до спрогнозованих максимальних витрат води передповенеких витрат збільшило їх величини до значень, вищих за спостережені.

Забезпеченість настання прогнозних величин максимальних витрат води весняного водопілля 2022-2023 р. P_{Q_m} у багаторічному періоді становила 50-65% – в басейні Десни, 86-97% – в басейні Сейму та інших приток.

За даними УкрГМЦ [1] неоднорідні та змінні погодні умови обумовили різний початок весняного водопілля 2022-2023 р. у басейнах річок. Спостережені строки початку водопілля припадали на 25 лютого – 2 березня на притоках Десни в межах країни, 16-29 березня – на Десні, що було пізніше нормальних строків (див. рис.1).

На р. Десна - с. Розльоти максимальні витрати води сформувалися до 14-15 квітня, а у м. Чернігів – до 24 квітня, р. Сейм - с. Мутин – до 16 квітня. В подальший період спостерігалось поступове зниження рівнів і витрат води весняного водопілля (див. рис.1). Слід зазначити, що максимальні витрати води весняного водопілля 2022-2023 р. на р. Десна за розмірами майже досягли їх значення у багатоводному, сформованому за рахунок значних снігозапасів, 2010 р.

Завчасність довгострокових прогнозів максимальних витрат води була обумовлена швидкістю розвитку весняних процесів, тривалістю підйому весняного водопілля річок, різних за географічним положенням і розмірами водозборів. Таким чином, при даті випуску основного прогнозу 20 лютого 2023 р. завчасність прогнозів максимальних витрат води

Таблиця 1 - Результати довгострокових прогнозів максимальних витрат води весняного водопілля 2022-2023 р. річок басейну Десни та інших лівих приток Середнього Дніпра

Table 1 – Results of long-term forecasts of the maximum water discharges of the spring flood in 2022-2023 of the rivers of the Desna basin and other left tributaries of the Middle Dnieper

№	Річка - пост	$S_{ДСП}$, мм	$\Delta\bar{S}$, мм	$(S_m)_{ДСП}$, мм	q_{09-01} , л/(с·км ²)	L , см	θ_{02} , °С	$DF1$	$DF2$	k_{qm}	Q'_m , м ³ /с
1	Десна-с.Розльоти	29	7	36	5,07	24	-4,0	2,82	3,21	0,4	380
2	Сейм-с.Мутин	10	5	15	2,78	29	-4,0	5,46	3,51	0,10	90,2
3	Псел-м.Суми	28	4	33	1,85	28	-2,9	0,0	1,1	0,17	52,6
4	Псел-м.Гадяч	15	4	19	1,41	31	-2,9	3,25	2,12	0,19	53,6
5	Псел-с.Запсілля	9	4	13	1,32	30	-2,9	4,93	3,19	0,12	39,4
6	Хорол-м.Миргород	16	3	19	0,52	32	-2,0	3,55	2,35	0,18	14,1

Таблиця 2 - Оцінка справджуваності довгострокових прогнозів максимальних витрат води весняного водопілля 2022-2023 р. річок басейну Десни та інших лівих приток Середнього Дніпра

Table 2 – The long-term forecasts verification of the maximum water discharges of the spring flood in 2022-2023 of the rivers of the Desna basin and other left tributaries of the Middle Dnieper

№ зп	Річка - пост	F , км ²	σQ_m , м ³ /с	$\delta_{дон}$, м ³ /с	Q_m , м ³ /с	Q'_m , м ³ /с	$Q_{пв}$, м ³ /с	Q''_m , м ³ /с	δ , м ³ /с	$\delta / \delta_{дон}$
1	Десна-с.Розльоти	36300	654	441	712	380	304	684	28,3	0,06
2	Сейм-с.Мутин	25600	676	456	192	90,2	82,3	173	19,5	0,04
3	Псел-м.Суми	7770	253	171	***	52,6	-	-	-	-
4	Псел-м.Гадяч	11300	273	184	***	53,6	-	-	-	-
5	Псел-с.Запсілля	22400	233	157	84,5	39,4	36,2	75,6	8,89	0,06
6	Хорол-м.Миргород	1740	57,5	38,8	***	14,1	-	-	-	-

Примітка *** - відсутність даних про спостережені витрати води.

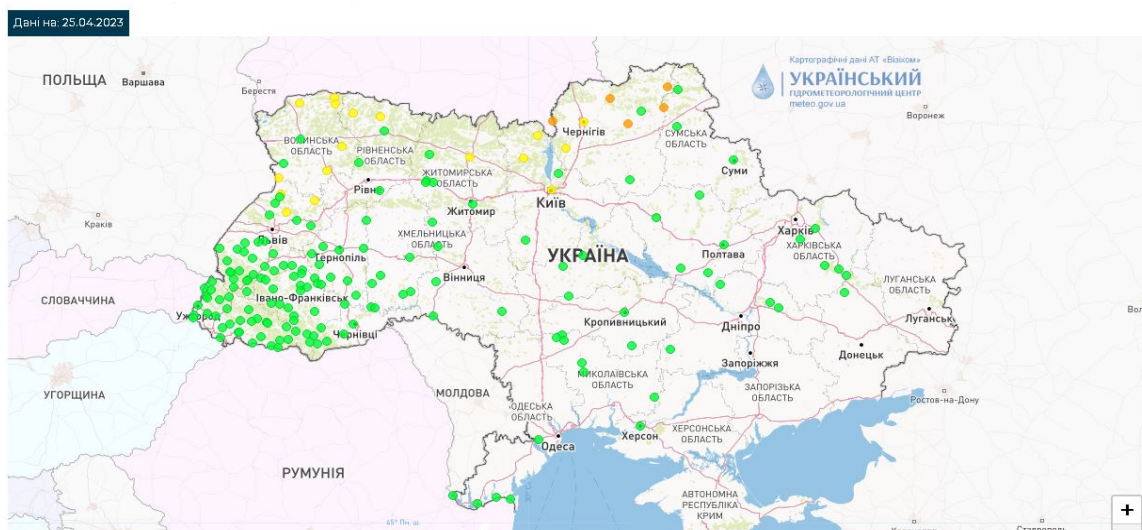


Рис. 2 – Щоденна гідрологічна ситуація небезпеки весняної повені 2022-2023 р. на річках території України станом на 25 квітня 2023 р.[2]

Fig. 2 – Daily hydrological situation of the spring flood danger in 2022-2023 on the rivers of the territory of Ukraine as of April 25, 2023 [2]

водопілля 2022-2023 р. становила порядку 20-30 діб для невеликих приток Десни, та майже двох місяців - для річок Десни і Сейму.

Моніторинг щоденної гідрологічної ситуації річок території України, що проводиться УкрГМЦ показав, що в період проходження максимальних витрат води весняного водопілля 2022-2023 р. (станом на 25 квітня 2023 р.) для річок басейну Десни і Сейму був оголошений жовтий і помаранчевий рівень небезпеки (рис.2) [2].

При цьому затоплення спостерігалися на понижених ділянках заплави вздовж р. Десна, окремих населених пунктів, присадибних ділянок, міських пляжів водами Дніпра та Сожу у Чернігівському районі та водами Десни у Новгород-Сіверському, Корюківському, Ніжинському, Чернігівському районах, відбувався перелив води через дороги та порушення транспортного сполучення з рядом прирічкових сіл у Чернігівській області.

При цьому слід відмітити, що застосування методу територіальних довгострокових прогнозів характеристик весняного водопілля річок, включаючи не вивчені у гідрологічному відношенні, дає можливість просторового моніторингу водності річок при проходженні максимальних витрат води в умовах формування водопілля.

6. ВИСНОВКИ

У даному дослідженні авторами проаналізовано гідрометеорологічні умови формування видатного за максимальними витратами води весняного водопілля 2022-2023 р. в басейні р. Десна й інших приток та здійснене довгострокове прогнозування максимальних витрат води водопілля поточного року.

Аналіз формування весняного водопілля 2022-2023 р. в басейнах рр. Дніпра, Десни та лівих приток Середнього Дніпра показав, що воно характеризувалося складними гідрометеорологічними умовами як в осінньо-зимовий, так й весняний періоди. Підвищена водність річок від осінніх дощів, нестійкий режим погоди зимового періоду, незначне промерзання ґрунту та снігонакопичення, формування у зимовий період тало-дощового паводку обумовили високу водність річок, що стало основною передумовою формування видатного весняного водопілля і виникнення небезпеки затоплення окремих населених пунктів, присадибних ділянок та

сільськогосподарських угідь, а також автомобільних шляхів, порушення транспортного сполучення в межах Київської, Чернігівської та інших областях України.

Довгострокове прогнозування максимальних витрат води весняного водопілля 2022-2023 р. в басейнах рр. Десна та лівих приток Середнього Дніпра (р.Псел з притокою) було виконане за методикою територіальних довгострокових прогнозів характеристик весняного водопілля річок при використанні програмного комплексу «СЕЙМ» для різних сценаріїв випадіння опадів у період завчасності прогнозу, високої осінньо-зимової зволоженості і незначного зимового промерзання ґрунтів на водозборах.

Результати довгострокового прогнозу максимальних витрат води весняного водопілля 2022-2023 р. показали задовільні статистичні оцінки прогнозу максимальних витрат води водопілля у разі врахування високої передповеневої водності річок при проходженні зимового паводку. При цьому спрогнозовані максимальні витрати води весняного водопілля поточного року були одержані шляхом їх сумування з витратами води на спаді зимового паводку, тобто перед початком весняного водопілля.

Завчасність прогнозів максимальних витрат води водопілля 2022-2023 р. становила порядку 20-30 діб для невеликих приток Десни, та майже двох місяців - для річок Десна і Сейм.

Застосування методу територіального довгострокового прогнозування максимальних витрат води весняного водопілля може здійснюватися для всіх річок розглядуваної території, включаючи ті, які не вивчені у гідрологічному відношенні, при виконаних регіональних узагальненнях параметрів і коефіцієнтів прогнозної методики. Це дає можливість просторового моніторингу водності річок при проходженні максимальних витрат води в умовах формування водопілля.

Таким чином, враховуючи складні гідрометеорологічні умови формування весняного водопілля річок в умовах зміни клімату, які все частіше пов'язані з несталими зимовими температурами повітря та незначним зимовим снігонакопиченням й промерзанням ґрунтів на водозборах, прогнозування гідрологічних характеристик максимального стоку водопілля річок повинно здійснюватися при аналізі особливостей погодних умов як осінньо-зимового, так й весняного періодів кожного конкретного року.

ПОДЯКИ

Автори висловлюють подяку д-ру геогр. наук, професору В.А. Овчарук за активну участь в зборі інформації про небезпечні наслідки весняного водопілля 2022-2023 р. та наукові обговорення проблематики дослідження.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Український гідрометеорологічний центр Державної служби України з надзвичайних ситуацій. Головна. Гідрологія. Паводки, водопілля. URL: <https://www.meteo.gov.ua/ua/Pavodki-vodopillya> (дата звернення 21.03.2023)
- Український гідрометеорологічний центр Державної служби України з надзвичайних ситуацій. Головна. Попередження. Гідрологічні попередження. URL: <https://www.meteo.gov.ua/ua/Hidrolohichni-poperedzhennya> (дата звернення 25.04.2023)
- Ресурси поверхневих вод СРСР Т.6. Украина и Молдавия. Вып.2. Среднее и Нижнее Поднепровье / под ред. М.С.Каганера. Ленинград : Гидрометеиздат, 1971. 656 с.
- Changing climate shifts timing of European floods / Blöschl G. et al. *Science*. 2017. Vol. 357(6351). Pp. 588-590. <https://doi.org/10.1126/science.aan2506>.
- Changing climate both increases and decreases European river floods / Blöschl G. et al. *Nature*. 2019. 573(7772). Pp. 108-111. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1495-6>
- Joint trends in flood magnitudes and spatial extents across Europe / Kemter M. et al. *Geophysical Research Letters*. 2020. 46. Pp. 1-8. <https://doi.org/10.1029/2020GL087464>
- Гребінь В. В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз). Київ: Ніка-Центр, 2010. 316 с.
- Лобода Н. С., Козлов М. О. Оцінка водних ресурсів річок України за середніми статистичними моделями траєкторій змін клімату RCP4.5 та RCP8.5 у період 2021-2050 роки. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2020. №25. С. 93-104. <https://doi.org/10.31481/uhmj.25.2020.09>
- Лобода Н. С. Прогноз змін водних ресурсів України за сценаріями змін клімату (RCP4.5, RCP8.5) та оцінка ризиків для водного господарства // Кліматичні ризики функціонування галузей економіки України в умовах зміни клімату: колективна монографія / за ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового; Одеський державний екологічний університет. Одеса: ТЕС, 2018. С. 498-521.
- Горбачова Л. О. Оцінка можливих майбутніх змін водного стоку річок України (на середину XXI століття). *Проблеми матеріальної культури. Географіческие науки*. 2014. С. 89-94. URL : <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/92902>
- Шакірманова Ж. Р. Довгострокове прогнозування характеристик максимального стоку весняного водопілля рівнинних річок та естуаріїв території України : монографія. Одеса : ФОП Бондаренко М.О., 2015. 252 с.
- Shakirmanova Zhannetta, Dokus Anhelina. Territorial long-term forecasting of hydrological characteristics of spring floods of lowland rivers. *Ecological Significance of River Ecosystems, Elsevier* / Edited by Sugghosh Madhav, Shyam Kanhaiya, Arun Srivastav, Virendra Singh, Pardeep Singh. 2022. Chapter 17. Pp. 325-350. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85045-2.00020-0>
- Гопченко Є.Д., Овчарук В.А., Шакірманова Ж.Р. Розрахунки та довгострокові прогнози характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Прип'ять: монографія. Одеса: Екологія, 2011. 336 с.
- Шакірманова Ж. Р., Докус А. О. Довгострокове прогнозування характеристик весняного водопілля в басейні р. Південний Буг: монографія. Одеса : ФОП Бондаренко М.О., 2021. 244 с.
- Guide to Hydrological Practices. Volume II, no. 168 : Management of Water Resources and Application of Hydrological Practices WMO / Edited by World Meteorological Organization, 2009. 302 p.
- Guide to hydrological practices. No. 168 : Data acquisition and processing, analysis, forecasting and other applications / Edited by World Meteorological Organization, 1994. 770 p.
- Сусідко М. М. Математичне моделювання процесів формування стоку як основа прогностичних систем. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2000. Том 1. С. 32-40.
- Hydrological Models for Water-Resources System Design and Operation. Report № 34 / Operational Hydrology. World Meteorological Organization. Geneva, 1990.
- Гопченко Є. Д., Шакірманова Ж. Р., Овчарук В. А. Сучасні математичні моделі в гідрологічних розрахунках і прогнозах: навчальний посібник. Одеса : ОДЕКУ, 2015. 195 с.
- Burnash R. J. C., Ferral R. L., McGuire R. A. A Generalized Streamflow Simulation System: Conceptual Modelling for Digital Computers. *National Weather Service and State of California Department of Water Resources*, March. 1973. P. 69.
- Gerlinger K., Demuth N. The flood forecast model LARSIM application experience and evaluation of operational runoff forecasts in the Moselle basin. 2011. URL : <http://www.watlab.be/en/events/files> (Accessed: 29.03.2021).
- An Introduction to the European Hydrological System – Systeme Hydrologique Europeen, "SHE," 1: Structure of a Physically-Based, Distributed Modelling System / Abbott M.B. et al. *Journal of Hydrology*. 1986. No. 87. Pp. 61-77. URL : [10.1016/0022-1694\(86\)90114-9](https://doi.org/10.1016/0022-1694(86)90114-9)
- Wigmosta M. S., Vail L., Lettenmaier D. P. A distributed hydrology-vegetation model for complex terrain. *Water Resources Research*. 1994. Vol. 30. Pp. 1665-1679. URL : https://www.uvm.edu/~bwemple/HydroModel/DHSVM/Wigmosta_et_al1994.pdf
- Wilke K., Rademacher S. Operationelle Wasserstands – und Durchflussvorhersagen im Rheingebiet. Operational forecast of water level and runoff in Rhine Catchment. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*. 2002. No. 54. Pp. 9-10.
- Reichel G. FluxDSS und FLORIS2000 – ein leistungsfähiges Paket zur Modellierung der Fließvorgänge in komplexen Systemen. *Österreichische Wasserwirtschaft*. 2001. 53. Pp. 5-6.
- Calibration techniques used for HBV hydrological model in Savinja catchment / Kobold M., Suselj K., Polajnar J. et al. *Conference abstracts XXIV-th of the Danubian countries on hydrological forecasting and hydrological bases of water management*, 2-4 June. Slovenia. 2008. P. 14.
- User guide MIKE 11. A Modelling System for River and Channels / DHI. 2012. Vol. 2. 204 p.
- Hydrological calibration scenarios of the HSPF model for the upper Iskar basin / Ninov P. et al. *Conference abstracts XXIII of the Danubian countries on hydrological forecasting and hydrological bases of water management*, 28-31 August. Serbia : Belgrade, 2006. P. 59.

29. Кочелаба Е. И., Окорский В. П., Соседко М. Н. Математическое моделирование процессов формирования половодного стока на территории Полесья с учетом отепельных явлений. *Труды УкрНИГМИ*. 1990. Вып. 235. С. 3-18.
30. Разработать методику расчета и прогноза дождевого и талого стока на территории Киевского Полесья. Отчёт о НИР. ГР № 01870026055 / науч. руков. Соседко М.Н.; УкрНДГМИ. Киев, 1988. 78 с.
31. Хохлов В. М., Сіріченко К. С., Уманська О. В. Вплив змін клімату на періоди холодної погоди в Україні. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2017. № 22. С. 39-44. URL : http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vodeu_2017_22_7
32. Овчарук В. А. Максимальний стік весняного водопілля рівнинних річок України : монографія. Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2020. 300 с.
33. Школьнік С. П., Лоева І. Д., Гончарова Л. Д. Обробка та аналіз гідрометеорологічної інформації : підручник. Київ : Міносвіти України, 1999. 538 с.
34. Лобода Н. С. Методи статистичного аналізу у гідрологічних розрахунках і прогнозах : навчальний посібник. Одеса: Екологія, 2010. 184 с.
35. Метод прогностичної оцінки характеристик гідрологічного режиму річок басейну Дніпра у весняний період року / Шакирзанова Ж. Р., Бойко В. М., Гопцій М. В. та ін. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2018. Вип. №22. С. 80-99. <https://doi.org/10.31481/uhmj.22.2018.08>
36. Комплексний метод довгострокового прогнозування гідрологічних характеристик весняного водопілля річок : Проблеми гідрології, гідрохімії, гідроекології : монографія / Шакирзанова Ж. Р., Докус А. О., Сербова З. Ф., Швець Н. М.; за ред. В. І. Осадчого та ін. Київ : Ніка-Центр, 2019. С.58 – 74.
37. Інноваційний комплексний метод ймовірносно-прогностичного моделювання характеристик весняного водопілля та оцінки екологічних ризиків урболандшафтів басейну Дніпра в умовах мінливості клімату. Зелено-блакитна інфраструктура в містах пострадянського простору : вивчення спадщини та підключення до досвіду країн V4 : колективна монографія / Овчарук В., Шакирзанова Ж., Кічук Н., Гопцій М.; за ред. Максименко Н.В., Шкаруба А.Д. Харків : Вид-во ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2022. 400 с. URL : <http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/11318/>
38. Valeriya Ovcharuk, Eugene Gopchenko. Engineer substantiation of estimated characteristics of maximum rivers runoff during floods under climate change. *Ecological Significance of River Ecosystems* / Edited by Sughosh Madhav, Shyam Kanhaiya, Arun Srivastav, Virendra Singh, Pardeep Singh. *Elsevier*. 2022. Chapter 18. Pp. 351-382. URL : <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85045-2.00018-2>.
39. Гопченко С. Д., Лобода Н. С., Овчарук В. А. Гідрологічні розрахунки: підручник для студентів ВНЗ. Одеса, 2014. 483 с.
40. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Ленинград: Гидрометеиздат, 1984. 447 с.
41. Наставова з оперативної гідрології. Прогнози режиму вод суші. Гідрологічне забезпечення і обслуговування / Керівний документ. Київ: Український гідрометеорологічний центр, 2012. 120 с.
42. Оцінювання якості методики та точності (справджуваності) прогнозів режиму поверхневих вод суші / Керівний документ. Київ: Український гідрометеорологічний центр, 2015. 70 с.
43. Шакирзанова Ж. Р. Прогнозування максимальних витрат води весняного водопілля в басейні Дніпра з використанням автоматизованих програмних комплексів. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2011. Т.4 (25). С. 48-55.
44. Шакирзанова Ж. Р., Андреевська Г. М., Бойко В. М. Довгострокове прогнозування максимальних витрат води весняних водопіль річок лівобережжя Дніпра (з використанням програмного комплексу). *Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту*. 2012. Вип. 263. С. 89-95.
45. Shakirzanova Zh., Kazakova (Dokus) A., Volkov A. Territorial long-term forecasting of spring flood characteristics in the modern climatic condition utilizing geographical informational systems. *International Journal of Research In Earth & Environmental Sciences*. April. 2017. Vol. 7. No. 1. Pp. 13-16. URL : <http://www.ijsk.org/ijrees.html>.

REFERENCES

1. *Ukrainskyi hidrometeorolohichnyi tsentr Derzhavnoi sluzhby Ukrainy z nadzvychaynykh sytuatsii. Holovna. Hidrolohiia. Pavodky, vodopillia [Ukrainian Hydrometeorological Center of the State Emergency Service of Ukraine. Main. Hydrology. Floods, water harvesting]*. Available at: <https://www.meteo.gov.ua/ua/Pavodki-vodopillya> (Accessed: 21.03.2023) (in Ukr)
2. *Ukrainskyi hidrometeorolohichnyi tsentr Derzhavnoi sluzhby Ukrainy z nadzvychaynykh situatsii. Holovna. Poperedzhennia. Hidrolohiichni poperedzhennia [Ukrainian Hydrometeorological Center of the State Emergency Service of Ukraine. Main. Warning. Hydrological warnings]*. Available at: <https://www.meteo.gov.ua/ua/Hidrolohiichni-poperedzhennia> (Accessed: 25.04.2023) (in Ukr)
3. Kaganer, M.S. (ed). (1971). *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR [Surface water resources of the USSR]*. Vol. 6: *Ukraina i Moldaviya [Ukraine and Moldova]*. Issue 2: *Srednee i Nizhnee Podneprov'e [Middle and Lower Dnieper]*. Leningrad : Gidrometeoizdat. (in Russ.)
4. Blöschl, G. et al. (2017). Changing climate shifts timing of European floods. *Science*, 357(6351), pp. 588-590. <https://doi.org/10.1126/science.aan2506>.
5. Blöschl, G. et al. (2019). Changing climate both increases and decreases European river floods. *Nature*, 573(7772), pp. 108-111. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1495-6>
6. Kemter, M., Merz, B., Marwan, N. et al. (2020). Joint trends in flood magnitudes and spatial extents across Europe. *Geophysical Research Letters*, 46, pp. 1-8. <https://doi.org/10.1029/2020GL087464>
7. Hrebin, V.V. (2016). *Suchasnyy vodnyy rezhym richok Ukrainy (landshaftno-hidrolohiichnyy analiz) [The current water regime of the rivers of Ukraine (landscape-hydrological analysis)]*. Kyiv: Nika-Tsentr Publ. (in Ukr.)
8. Loboda, N.S. & Kozlov, M.O. (2020). [Assessment of water resources of rivers of Ukraine according to average statistical models of climate change trajectories RCP4.5 and RCP8.5 in the period 2021-2050]. *Ukrains'kij gidrometeorologichnij zhurnal [Ukrainian hydrometeorological journal]*, 25, pp.93-104. (in Ukr). <https://doi.org/10.31481/uhmj.25.2020.09>
9. Loboda, N.S. (2018). Prohnoz zmin vodnykh resursiv Ukrainy za stsenariiamy zmin klimatu (RCP4.5, RCP8.5) ta otsinka ryzykiv dlia vodnoho hospodarstva [Forecast of changes in water resources of Ukraine according to climate change scenarios (RCP4.5, RCP8.5) and risk assessment for water management]. In: Stepanenko, S.M., Polovoho, A.M. (eds). *Klimatychni ryzyky funktsionuvannia*

- haluzei ekonomiky Ukrainy v umovakh zminy klimatu [Climatic risks of the functioning of branches of the economy of Ukraine in the conditions of climate change]. Odesa: TPP, pp. 498-521. (in Ukr.)
10. Horbachova, L.O. (2014). Otsinka mozhyvykh maibutnykh zmin vodnoho stoku richok Ukrainy (na seredynu XXI stolittia) [Assessment of possible future changes in the water flow of the rivers of Ukraine (for the middle of the 21st century)]. *Problemy materialnoi kultury [Problems of material culture]*, pp. 89-94. Available at: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/92902> (Accessed: 15.05.2022) (in Ukr.)
 11. Shakirzanova, Zh.R. (2015). *Dovhostrokovye prohozuvannia kharakterystyk maksimalnogo stoku vesnianoho vodopillia rivnynykh richok ta estuariiv terytorii Ukrainy [Long-term forecasting of characteristics maximum runoff of spring flood plain rivers and estuaries in Ukraine]*. Odesa: FOP Bondarenko Publ. (in Ukr.)
 12. Shakirzanova, Z. & Dokus, A. (2022). Territorial long-term forecasting of hydrological characteristics of spring floods of lowland rivers. In: Sughosh, M., Shyam, K., Arun, S. et al. (eds). *Ecological Significance of River Ecosystems, Elsevier*, chapter 17, pp. 325-350. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85045-2.00020-0>
 13. Gopchenko, E.D., Ovcharuk, V.A. & Shakirzanova, Zh.R. (2011). *Rozrakhunky ta dovhostrokovyi prohozy kharakterystyk maksimalnogo stoku vesnianoho vodopillia v baseini r. Prypiat [Calculations and long-term forecasts of the characteristics of the maximum runoff of spring water in the Prypiat river basin]*. Odesa: Ekolohiia Publ. (in Ukr.)
 14. Shakirzanova, Zh.R. & Dokus, A.O. (2021). *Dovhostrokovye prohozuvannia kharakterystyk vesnianoho vodopillia v baseini r. Pivdennyi Buh [Long-term forecasting of characteristics of spring irrigation in the basin of the Pivdenny Bug River]*. Odesa: FOP Bondarenko M.O. (in Ukr.)
 15. World Meteorological Organization (2009). *Guide to Hydrological Practices*. Volume II, no. 168 : *Management of Water Resources and Application of Hydrological Practices WMO*.
 16. World Meteorological Organization (1994). *Guide to hydrological practices*. No 168 : *Data acquisition and processing, analysis, forecasting and other applications*.
 17. Susidko, M.M. (2000). Matematychni modeliuvannia protsesiv formuvannia stoku yak osnova prohoznychnykh system [Mathematical modeling of flow formation processes as a basis for prognostic systems]. *Hidrolohiia, hidrokimiia i hidroekolohiia [Hydrology, hydrochemistry and hydroecology]*, 1, pp. 32-40. (in Ukr.)
 18. World Meteorological Organization. (1990). *Hydrological Models for Water-Resources System Design and Operation. Report № 34*. Geneva.
 19. Hopchenko, Ye.D., Shakirzanova, Zh.R. & Ovcharuk, V.A. (2015). *Suchasni matematychni modeli v hidrololichnykh rozrakhunkakh i prohozakh [Modern mathematical models in hydrological calculations and forecasts]*. Odesa: ODEKU. (in Ukr.)
 20. Burnash, R.J.C., Ferral, R.L. & McGuire, R.A. (1973). A Generalized Streamflow Simulation System: Conceptual Modelling for Digital Computers. *National Weather Service and State of California Department of Water Resources*, march, p. 69.
 21. Gerlinger, K. & Demuth, N. (2011). *The flood forecast model LARSIM application experience and evaluation of operational runoff forecasts in the Moselle basin*. Available at: <http://www.watlab.be/en/events/files> (Accessed: 29.03.2021).
 22. Abbott, M.B. et al. (1986). An Introduction to the European Hydrological System – Systeme Hydrologique Europeen, "SHE," 1: Structure of a Physically-Based, Distributed Modelling System. *Journal of Hydrology*, 87, pp. 61-77. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(86\)90114-9](https://doi.org/10.1016/0022-1694(86)90114-9)
 23. Wigmosta, M.S., Vail, L. & Lettenmaier, D.P. (1994). A distributed hydrology-vegetation model for complex terrain. *Water Resources Research*, 30, pp. 1665-1679. Available at: https://www.uvm.edu/~bwemple/HydroModel/DHSVM/Wigmosta_et al1994.pdf (Accessed: 29.03.2021).
 24. Wilke, K. & Rademacher, S. (2002). Operationelle Wasserstands – und Durchflussvorhersagen im Rheingebiet. Operational forecast of water level and runoff in Rhine Catchment. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 54, pp. 9-10.
 25. Reichel, G. (2001). FluxDSS und FLORIS2000 – ein leistungsfähiges Paket zur Modellierung der Fließvorgänge in komplexen Systemen. *Österreichische Wasserwirtschaft*, 53, pp. 5-6.
 26. Kobold, M., Suselj, K., Polajnar, J. et al. (2008). Calibration techniques used for HBV hydrological model in Savinja catchment. *Conference abstracts XXIV-th of the Danubian countries on hydrological forecasting and hydrological bases of water management, 2-4 June. Slovenia*, p.14
 27. *User guide. MIKE 11. A Modelling System for River and Channels* (2012). DHI. Vol. 2.
 28. Ninov, P. et al. (2006). Hydrological calibration scenarios of the HSPF model for the upper Iskar basin. *Conference abstracts XXIII of the Danubian countries on hydrological forecasting and hydrological bases of water management, 28-31 August. Serbia: Belgrade*, p. 59.
 29. Kochelaba, E.I., Okorskij, V.P. & Sosedko, M.N. (1990). Matematicheskoe modelirovanie protsessov formirovaniya polovodnogo stoka na territorii Poles'ya s uchetom otpep'nykh yavleniy [Mathematical modeling of the processes of formation of flood runoff in the territory of Polesie, taking into account thaw phenomena]. *Trudy UkrNIGMI [Proceedings of UkrNIHMI]*, 235, pp. 3-18. (in Russ.)
 30. Sosedko, M.N. (scient.chief). (1988). *Razrabotat' metodiku rascheta i prognoza dozhdevogo i talogo stoka na territorii Kievskogo Poles'ya : Otchyot o NIR. GR № 01870026055 [To develop a methodology for calculating and forecasting rain and snowmelt runoff on the territory of Kyiv Polissya. Research report. GR No. 01870026055]*. UkrNDGMI. Kyiv. (in Russ.)
 31. Khokhlov, V.M., Sirichenko, K.S. & Umanska, O.V. (2017). [Impact of climate change on periods of cold weather in Ukraine]. *Visnyk Odeskoho derzhavnogo ekolohichnogo universytetu [Bulletin of Odessa State Ecological University]*, 22, pp. 39-44. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vodeu_2017_22_7 (Accessed: 10.09.2022) (in Ukr.)
 32. Ovcharuk, V.A. (2020). *Maksimalnyi stik vesnianoho vodopillia rivnynykh richok Ukrainy [The maximum flow of spring irrigation of lowland rivers of Ukraine]*. Odesa: "Helvetika" Publ. (in Ukr.)
 33. Shkolnyi, Ye.P., Loieva, I.D. & Honcharova, L.D. (1999). *Obrobka ta analiz hidrometeorolohichnoi informatsii [Processing and analysis of hydrometeorological information]*. Kyiv: Ministry of Education of Ukraine. (in Ukr.)
 34. Loboda, N.S. (2010). *Metody statystychnoho analizu u hidrololichnykh rozrakhunkakh i prohozakh : navchalnyi posibnyk [Methods of statistical analysis in hydrological calculations and forecasts: a study guide]*. Odesa: Ecology. (in Ukr.)

35. Shakirzanova, Zh.R., Boiko, V.M., Hoptsi M.V. et al. (2018). Metod prognostychnoi otsinky kharakterystyk hidrolohichnoho rezhymu richok baseinu Dnipro u vesnianyi period roku [The method of prognostic assessment of the characteristics of the hydrological regime of the rivers of the Dnipro basin in the spring period of the year]. *Ukrains'kij gidrometeorologičnij žurnal [Ukrainian hydrometeorological journal]*, 22, pp. 80-99. (in Ukr.) <https://doi.org/10.31481/uhmj.22.2018.08>
36. Shakirzanova, Zh.R., Dokus, A.O., Serbova, Z.F. & Shvets, N.M. (2019). Kompleksnyi metod dovhostrokovoho prohozuvannia hidrolohichnykh kharakterystyk vesnianoho vodopillia richok : Problemy hidrolohii, hidrokhimii, hidroekolohii [Complex method of long-term forecasting of hydrological characteristics of spring waterlogging of rivers: Problems of hydrology, hydrochemistry, hydroecology]. Edited by Osadchyi, V.I. Kyiv: Nika Center Publ. (in Ukr.)
37. Ovcharuk, V., Shakirzanova, Zh., Kichuk, N. & Hoptsi, M. (2022). Innovatsiyni kompleksnyi metod imovirnosno-prognostychnoho modeliuвання kharakterystyk vesnianoho vodopillia ta otsinky ekolohichnykh ryzykiv urbolandshafiv baseinu Dnipro v umovakh minlyvosti klimatu. Zelenoblakytina infrastruktura v mistakh postradianskoho prostoru : vyvchennia spadshchyny ta pidkliuchennia do dosvidu krain V4 [Innovative complex method of probabilistic and prognostic modeling of characteristics of spring irrigation and assessment of ecological risks of urban landscapes of the Dnipro basin in conditions of climate variability. Green and blue infrastructure in the cities of the post-Soviet space: study of heritage and connection to the experience of V4 countries]. Edited by N.V. Maksymenko. Kharkiv : Publ. KhNU after V.N. Karazin. (in Ukr.) Available at: <http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/11318/> (Accessed: 15.03.2023) (in Ukr.)
38. Ovcharuk, V. & Gopchenko, E. (2022). Engineer substantiation of estimated characteristics of maximum rivers runoff during floods under climate change. In: Madhav, S. et al (ed.). *Ecological Significance of River Ecosystems*. Elsevier, chapter 18, pp. 351-382. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85045-2.00018-2>
39. Gopchenko, E.D., Loboda, N.S. & Ovcharuk, V.A. (2014). *Hidrolohichni rozrakhunky [Hydrological calculations]*. Odesa. (in Ukr.)
40. Posobie po opredeleniyu raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik. (1984). [Manual for the determination of calculated hydrological characteristics]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ. (in Russ.)
41. Nastanova z operatyvnoi hidrolohii. (2012). *Prohozy rezhymu vod sushi. hidrolohichne zabezpechennia i obsluhovuvannia [Instruction on operational hydrology. Forecasts of the regime of land waters. Hydrological Support and Maintenance]*. Kyiv. (in Ukr.)
42. Kerivnyi document. (2015). *Otsiniuvannia yakosti metodyky ta tochnosti (spravdzhuvanosti) prohoziv rezhymu poverkhnevyykh vod sushi [Assessment of the quality of the methodology and accuracy (validity) of forecasts of surface land water regime]*. Kyiv. (in Ukr.)
43. Shakirzanova, Zh.R. (2011). [Forecasting the maximum water consumption of spring irrigation in the Dnipro basin using automated software complexes]. *Hidrolohiia, hidrokhimii i hidroekolohii [Hydrology, hydrochemistry and hydroecology]*, 4 (25), pp. 48-55. (in Ukr.)
44. Shakirzanova, Zh.R., Andreievska, H.M. & Boiko V.M. (2012). Dvhostrokove prohozuvannia maksimalnykh vytrat vody vesnianykh vodopil richok livoberezhzhia Dnipro (z vykorystanniam prohramnoho kompleksu) [Long-term forecasting of the maximum water consumption of spring weirs of the left bank of the Dnieper (using a software package)]. *Naukovi pratsi Ukrainskoho naukovo-doslidnoho hidrometeorolohichnoho instytutu [Scientific works of the Ukrainian Research Hydrometeorological Institute]*, 263, pp. 89-95. (in Ukr.)
45. Shakirzanova, Zh., (Dokus) Kazakova, A. & Volkov, A. (2017). Territorial long-term forecasting of spring flood characteristics in the modern climatic condition utilizing geographical informational systems. *International Journal of Research In Earth & Environmental Sciences*, April, 7(1), pp. 13-16. Available at: <http://www.ijsk.org/ijrees.html>. (Accessed: 05.02.2023)

APPLICATION OF THE METHOD OF TERRITORIAL LONG-TERM FORECASTS TO DETERMINE THE MAXIMUM WATER DISCHARGE RATES UNDER THE CONDITIONS OF SPRING FLOOD 2022-2023 FORMATION ACROSS THE DESNA BASIN

Zh. R. Shakirzanova¹, I. M. Perevozchikov²,
O. P. Shevchenko¹

¹Odessa State Environmental University,
15, Lvivska St., 65016 Odesa, Ukraine, jannetodessa@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-0600-5657>

² Ukrainian hydrometeorological center of the state emergency service of Ukraine
6-B, Zolotovoriiska St., 01030 Kyiv, Ukraine

Despite the conditions of both climate change and long-term trend to decrease of hydrological characteristics of the Ukrainian rivers' spring flood that was established by many authors, the formation of high-water river floods accompanied by rising water levels and release of water to floodplains still remains probable.

Thus, according to the data of the Ukrainian Hydrometeorological Center (UkrHMC) of the State Emergency Service of Ukraine (web: www.meteo.gov.ua), the hydrometeorological

conditions of snowmelt and rain runoff formation during the autumn-winter and spring periods of 2022-2023 across the basins of the Dnipro and Desna rivers and their tributaries were characterized as those having a complex nature. This led to a rise of these rivers' water levels with flooding of floodplains, disruption of transport connections, as well as flooding of populated areas in Kyiv, Chernihiv and other Ukrainian regions.

The purpose of this study is the issues related to determination of natural factors that lead to extreme large-scale spring floods, and long-term forecasting of maximum runoff of spring floods in 2022-2023 across the Desna River basin.

To ensure operational forecasting support and assessment of the spring floods size across the basin of the Desna River and other left tributaries of the Middle Dnieper, the research used a method of territorial long-term forecasts of spring floods maximum runoff. The method takes into account a complex of hydrometeorological factors which, when combined annually, lead to the formation of spring floods of different sizes.

The results of the long-term forecast for maximum water discharge rates during the spring flood in 2022-2023 retrieved from the forecasting computer complex "SEYM" show satisfactory statistical estimates of the forecast for maximum water discharge rates during a spring flood provided that a high pre-flood water content of the rivers during recession of a winter flood is considered. The forecast lead time for maximum water discharge rates of the spring flood in 2022-2023 varied from 20-30 days for small tributaries of the Desna River to two months for the Desna and Seim rivers themselves.

Application of the method of territorial long-term forecasts of characteristics of river spring floods allows spatial monitoring of the rivers' water content provided that forecasting is conducted using the methodology of maximum water discharge rates for any rivers of a certain territory, including those with relation to which there are no observations of their water runoff.

An early warning about a dangerous river water level during winter-spring periods can significantly reduce the scale of negative consequences and ensure achievement of socio-economic and environmental effects.

Keywords: maximum runoff; extreme spring flood; long-term forecasts.

Дата першого подання: 02. 06. 2023

Дата надходження остаточної версії: 21. 06. 2023

Дата публікації статті: 29. 06. 2023

УДК 504.4

КОМПЛЕКСНЕ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОБРОГО ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ МОРСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА НА ПРИЛЕГЛІЙ ДО ПІВНІЧНОЇ ЧАСТИНИ МІСТА ОДЕСА ДІЛЯНЦІ УЗБЕРЕЖЖЯ

Ю. С. Тучковенко

Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, tuch2001@ukr.net
<https://orcid.org/0000-0003-3275-9065>

Визначені й описані найгостріші проблеми, які пов'язані з антропогенним впливом на прибережну зону моря північної частини міста Одеси та водні об'єкти морського походження, прилеглі до неї: Одеську затоку північно-західної частини Чорного моря, Хаджибейський та Куяльницький лимани. До таких проблем віднесені: неможливість скиду зворотних вод, які надходять зі станції біологічного очищення міських стічних вод (СБО) «Північна», в прибережну зону моря або використання їх в господарстві як технічних, через недостатній ступінь очищення; високий ступінь забруднення вод та незадовільний екологічний стан прилеглого до Одеси Хаджибейського лиману; підвищення рівня води в ньому до критичних позначок через постійне надходження до лиману зворотних вод з СБО «Північна»; обміління та загроза повного висихання гіперсолонного Куяльницького лиману, що може призвести до втрати природних ресурсів цього курорту державного значення і засолення прилеглих до нього територій; періодичне погіршення якості морських вод в прибережній рекреаційній зоні Одеси, заборона на купання на окремих пляжах після сильних злив через надходження до моря неочищених зливових стоків з міської території. Показано, що всі ці проблеми певною мірою пов'язані між собою і можуть бути вирішені комплексно в межах реалізації єдиної стратегії природоохоронних заходів, визначених і обґрунтованих у статті. Ключовим і першочерговим елементом цієї стратегії визнана модернізація очисних споруд і впровадження сучасних технологій глибокого очищення стічних вод на СБО «Північна». Складові елементи стратегії рекомендовано включити до Плану дій для досягнення та підтримання «доброго» екологічного стану Азовського і Чорного морів на період 2022-2027 років, розробкою якого займається Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України разом із заінтересованими центральними та місцевими органами виконавчої влади, в межах реалізації Морської природоохоронної стратегії України.

Ключові слова: Чорне море; Одеський район; морське середовище; екологічний стан вод; стратегія поліпшення

1. ВСТУП

Морська природоохоронна стратегія України [1] передбачає розробку планів інтегрованого управління прибережними територіями, а також плану дій для досягнення та підтримання «доброго» екологічного стану Азовського та Чорного морів на період 2022—2027 років.

Одеський район північно-західної частини Чорного моря віднесений до «гарячих», в екологічному сенсі, акваторій Чорного моря через надходження забруднювальних речовин від берегових антропогенних джерел Одеської агломерації, серед яких найбільш потужними і постійно діючими є станції біологічного очищення (СБО) стічних вод м. Одеси «Південна» та «Північна». Детальний їх опис та оцінки впливу на навколишнє середовище

наведені в роботах [2-4]. Такі стаціонарні джерела забруднення є найбільш небезпечними для морських екосистем і потребують розроблення та реалізації окремих місцевих планів дій з охорони навколишнього природного середовища, спрямованих на запобігання забрудненню моря [1].

Найбільш проблемною, відносно негативного впливу на стан морського середовища, є СБО «Північна», оскільки вона багато років здійснювала скид частково очищених зворотних вод у прибережну зону мілководді Одеської затоки на глибину близько 3,5 м на відстані 250-300 м від берега або у ізольований від моря Хаджибейський лиман (рис. 1), що, окрім істотного впливу на якість вод в лимані, породжує проблему його переповнення і загрозу виникнення техногенної катастрофи [3].



Рис. 1 – Картосхема північної частини міста Одеси з прилеглою акваторією Одеської затоки, Хаджибейським та Куяльницьким лиманами. Позначення: 1 – ділянка трубопроводу КНС-25 – море, яка проходить уздовж Румунського каналу; 2 – старий випуск зворотних вод з СБО «Північна» до моря; 3 – Глибоководний випуск зворотних вод з СБО «Північна»; 4 – трубопровід для поповнення Куяльницького лиману морською водою; 5 – дамба Хаджибейського лиману; 6 – побудована наземна частина трубопроводу Глибоководного морського випуску; 7 – Крижанівська балка.

Fig. 1 – Map diagram of the northern part of the city of Odesa with the adjacent water area of the Odesa Bay, Khadzhybeyskiy and Kuialnytskyi Estuaries. Conventional signs: 1 – a section of the pipeline “SPS-25 – the sea” running along the Romanian Channel; 2 – an old discharge of return water from BTS “Pivnichna” to the sea; 3 – the Deep-Water Discharge of Return Water from BTS “Pivnichna”; 4 – a pipeline for replenishing the Kuialnytskyi Estuary with sea water; 5 – the Khadzhybeyskiy Estuary’s dam; 6 – a built land part of the Deep-Water Sea Discharge; 7 – Kryzhanivska Gully

Обсяги скидів зворотних вод з СБО «Північна» майже вдвічі перевищують такі для СБО «Південна» [4].

Окрім того, до північної частини Одеської затоки періодично надходять неочищені зливові стоки з центральної частини м. Одеси та житлового масиву Котовського, які на певний час (3-6 днів) суттєво погіршують якість морської води [2].

У зв'язку з інтенсивним розвитком м. Одеси як найбільшого на теперішній час морського курорту України, визначення стратегії досягнення та підтримання “доброго” екологічного стану морських вод біля Одеського узбережжя північно-західної частини Чорного моря є вкрай актуальною задачею.

В останнє десятиріччя до найгостріших проблем екологічного стану і техногенної безпеки м. Одеси відносять:

- неможливість скиду зворотних вод, які надходять з СБО «Північна», в прибережну зону моря через недостатній ступінь їх очищення;

- високий ступінь забруднення вод та незадовільний екологічний стан прилегло до Одеси Хаджибейського лиману, підвищення рівня води в ньому до критичних позначок через постійне надходження до лиману зворотних вод з СБО «Північна»;

- обміління та загроза повного висихання гіперсолонного Куяльницького лиману, наслідком чого може бути втрата природних ресурсів цього курорту державного значення і загроза засолення прилеглих до нього територій;

- періодичне погіршення якості морських вод в прибережній рекреаційній зоні Одеси, заборона на купання на окремих пляжах після сильних злив через надходження до моря неочищених зливових стоків з міської території.

Мета роботи полягає у викладенні єдиної стратегії, реалізація якої здатна розв'язати Гордієв вузол визначених вище і пов'язаних між собою екологічних проблем, і, в кінцевому підсумку, досягти “доброго” екологічного стану морського середовища на прилеглій до північної частини м. Одеси ділянці узбережжя.

Розглянемо кожну проблему окремо у їх взаємозв'язку та послідовність їх комплексного вирішення.

2. ФУНКЦІОНУВАННЯ СБО «ПІВНІЧНА»

Станція біологічного очищення стічних вод «Північна» приймає 65 % виробничих і комунально-побутових стоків міста, в основному з центральної частини міста, а також з районів Пересипу, Молдаванки, Слободки, ж/м Котовського, 7-го км, Овідіопольської дороги і частково Малиновського району. Ефективність очистки стічних вод на СБО «Північна» набагато поступається такій, що існує і використовується в розвинених країнах світу та на деяких СБО в Україні, які працюють за сучасними технологіями [3].

Відомо [3], що в минулі роки ефективність очищення стоків на СБО «Північна» становила 82–95 % щодо лабільної органічної речовини, 72–86 % щодо амонійного азоту, 53–67 % щодо фосфатів. В той же час, на виході з очисних споруд концентрації азоту нітратів в середньому в 6-7 разів перевищували концентрації на вході, а азоту нітритів – в 5-10 разів. Як було показано в [4], це є слідством використання застарілої і недосконалої технології біологічного очищення стічних вод, яка, у відношенні до сполук азоту, закінчується на стадії нітрифікації з утворенням нітратного азоту у великій концентрації. В теперішній час в країнах Європейського Економічного Співтовариства для забезпечення екологічної ефективності біологічної очистки стічних вод застосовується технологія глибокого їх очищення, яка передбачає видалення сполук азоту в процесі не тільки нітрифікації, але й денітрифікації. В процесі денітрифікації нітрати і нітриси відновлюються до газоподібного азоту мікробіологічним шляхом в анаеробних умовах.

Скид недостатньо очищених стічних вод, з високим вмістом поживних речовин, у морське середовище сприяє інтенсифікації процесу евтрофування водних об'єктів і виникненню негативних наслідків евтрофікації, таких як розбалансування екосистемних процесів, бурхливе розмноження («цвітіння») планктонних водоростей, зниження прозорості води і пригнічення розвитку придонної рослинності, погіршення якості водного середовища для функціонування інших гідробіонтів аж до їх загибелі, розвиток гіпоксії у придонному шарі внаслідок розкладання органічної речовини мертвих рослин і тварин, нестабільність екологічного стану екосистеми, її функціонування. Негативні наслідки евтрофікації посилюються в результаті змін клімату, які наочно проявляються в останнє десятиріччя. Зокрема, в останні роки звичним стало явище накопичення в пляжній зоні моря значної маси водоростей, які після загибелі починають розкладатися (гнити) і призводять до значного погіршення якості вод за низкою мікробіологічних та гідрохімічних показників.

Через високий рівень бактеріального забруднення стічних вод на вході в очисні споруди, очищення зворотних вод, які надходять до морського середовища, є недостатнім для запобігання забрудненню прибережної рекреаційної зони м. Одеси. Не здійснюється обеззаражування зворотних вод перед їх скидом у морське середовище. В роки, коли відбувався скид зворотних вод з СБО «Північна» в прибережну зону моря в тепле півріччя року, відбувалось закриття пляжної зони північного рекреаційного узбережжя для водокористування через значне погіршення санітарно-мікробіологічних показників якості прибережних вод.

Для зменшення негативного впливу СБО «Північна» на екологічний стан вод прибережної рекреаційної зони м. Одеси в 2011 р. було розпочато будівництво «Глибоководного» морського випуску зворотних вод – підводного каналізаційного колектору протяжністю 4 км з випуском на глибині 10 м (рис.1, 2). Цей випуск хоча і був побудований, але в експлуатацію формально досі не введений через розбіжності між державою і підрядником – компанією «INCORE Group» в оцінці вартості проведених робіт. Готовність об'єкта – 95 %, термін експлуатації труб – 100 років. У 2014 та 2018 роках об'єкт запускали в тестовому режимі з

додаванням барвнику в воду. Випуск працював у штатному режимі. З березня 2022 року за розпорядженням Одеської обласної військової адміністрації, через загрозу можливого руйнування Хаджибейської дамби внаслідок ракетного удару, відведення зворотних вод з СБО «Північна» здійснюється в Чорне море через трубопровід КНС-25-море і морську частину Глибоководного випуску.

Проектування та будівництво Глибоководного морського випуску мало на меті виконати нормативні вимоги щодо відстані від випуску до берега (не менш ніж 4 км) і збільшити інтенсивність початкового (дифузійного) і основного (турбулентного, адвективного) гідродинамічного розведення зворотних вод, що надходять з СБО, для зменшення концентрацій біогенних і забруднювальних речовин у воді в прибережній рекреаційній зоні моря. Однак, слід враховувати, що біогенні елементи, які надходять до морського середовища зі зворотними водами СБО «Північна», включаються до біогеохімічних циклів. Неорганічні сполуки біогенних елементів (фосфати, амоній, нітрити, нітрати) використовуються в процесі продукування органічної речовини автотрофами при фотосинтезі. У разі високих швидкостей первинного продукування органічної речовини, вона не встигає споживатись організмами більш високих трофічних рівнів, відмирає і депонується в донних відкладах, піддається біохімічному окисленню та мінералізації, у результаті чого знову утворюються мінеральні форми біогенних елементів, які сприяють продукуванню органічної речовини. Таким чином, без зменшення кількості біогенних речовин, що надходять до Одеської затоки зі зворотними водами СБО «Північна», неможливо зменшити рівень трофності та сапробності морських вод.

Крім того, у разі відновлення скидання в море зворотних вод з СБО «Північна» в літній період року, коли швидкість продукційно-деструкційних процесів максимальна, біомаса фітопланктону та концентрація лабільної косної органічної речовини може збільшуватись на 40 – 90 % [2], тоді як видалення випуску зворотних вод СБО «Північна» на 4 км від берега сприятиме зменшенню значень цих характеристик у прибережних водах на 10-15 % [5].



Рис. 2 – Трубопровід морської частини Глибоководного випуску в період будівництва, перед його затопленням на дно Одеської затоки

Fig. 2 – The pipeline of the sea portion of the Deep-Water Discharge during the construction period, before submerging it to the bottom of the Odesa Bay

Тобто, збільшення біомаси фітопланктону, концентрації органічної речовини у водах поверхневого шару Одеської затоки, у разі скидання зворотних вод з СБО «Північна» влітку, значно перевищує ефект їх зниження за рахунок введення в експлуатацію віддаленого морського випуску. Тому слід очікувати, що при збереженні сучасної кількості скидів біогенних та органічних речовин у море з СБО «Північна» влітку у водах Одеської затоки спостерігатимуться вказані вище негативні наслідки евтрофікації морських вод. Вирішити цю проблему можна лише шляхом впровадження нових сучасних технологій очищення стічних вод від біогенних та забруднювальних речовин.

3. ХАДЖИБЕЙСЬКИЙ ЛИМАН ТА ЙОГО ДАМБА

Для зменшення антропогенного тиску на прибережну рекреаційну зону м. Одеси та запобігання погіршенню якості її вод, скид зворотних вод з СБО «Північна» може здійснюватися в Хаджибейський лиман (рис. 1). Однак цей лиман не має природного зв'язку з морем і є непроточною водоймою. Надходження до нього зворотних вод з СБО запобігає обмілненню лиману, оскільки забезпечує компенсацію близько 50 % дефіциту його природного річного водного балансу, який в сучасний період оцінюється в 36-41 млн. м³ [6].

За оцінками, виконаними в [6], для запобігання виникненню багаторічної тенденції підвищення рівня води в Хаджибейському лимані у сучасних кліматичних умовах в середній за водністю рік СБО «Північна» повинна здійснювати скиди води в лиман у обсягах не більше 21 млн. м³/рік. В той же час, річний обсяг надходження зворотних вод з СБО «Північна» в сучасний період складає 50-60 млн. м³/рік. Тому безперервний багаторічний скид зворотних вод з СБО «Північна» в лиман може призводити до підвищення рівня води в ньому до критичних позначок, за яких виникає загроза прориву дамби, що відділяє лиман від прилеглої території міста (рис. 1). Така ситуація виникла у квітні 2015 р., коли безперервний протягом 2011-2014 рр. скид вод з СБО «Північна» в Хаджибейський лиман призвів до підвищення рівня води в ньому до небезпечної позначки +2,04 м БС, що сприяло розмиву верхньої частини Хаджибейської дамби під час шторму і утворенню в ній глибоких вимоїн (рис.3а). Склалася загроза виникнення техногенної катастрофи, пов'язаної з проривом дамби та затопленням значної частини території м. Одеси площею 23 км², на якій проживають близько 30 тис. жителів міста та розташовані десятки підприємств.

Раніше критичне підвищення рівня води в Хаджибейському лимані спостерігалось у 1969 (до позначки +2,21 м БС) та 2003 (до +2,38 м БС) роках. Тоді скиди води з СБО «Північна» у лиман припинялись на 3-4 роки, виконувались інженерні заходи з укріплення дамби та інтенсивна відкачка води з лиману у море. Це дозволило знизити рівень води в лимані у 1972 р. до позначки мінус 0,4 м БС та до меншої ніж +1,0 м БС у 2007-2009 рр. В період 2010-2015 рр., незважаючи на відносну маловодність років, рівень води в Хаджибейському лимані постійно зростає у середньому на 0,2-0,3 м/рік, що стало наслідком постійного протягом року надходження до нього зворотних вод СБО «Північна».

У 2016 р. проводились роботи з укріплення дамби Хаджибейського лиману загальною вартістю 42,25 млн.грн. 900 метрів дамби було укріплено настилом з геотекстильних матів, які заповнювались спеціальною цеглино-пісчаною сумішшю. Ділянка дамби довжиною в кілометр залишилась неукріпленою. Передбачалося, що наступним кроком буде зниження рівня води в лимані (приблизно на 1,5 м) шляхом скидання її в прилеглу акваторію моря. Для цього необхідно було прокласти трубопровід по шляху старого

Румунського каналу, який раніше використовувався для аварійного скиду води з лиману в море, а зараз зруйнований і не має виходу до моря. У подальшому трубопровід мав використовуватись для регулювання рівня води в Хаджибейському лимані шляхом аварійного самопливного скиду води з нього до Одеської затоки в зимовий період (до початку весняного водопілля) та/або під час катастрофічних паводків. Але цей проект так і не був реалізований. В результаті того, що рівень води в лимані не був знижений, а також через недоліки в реалізації робіт з укріплення дамби (подушка, на яку було покладено покриття з бетонних матів, містила підсіпку з піску, який з часом вимився водою), бетоноване покриття в наступні роки на окремих ділянках просіло, перестало бути суцільним і виконувати свою захисну функцію.

В квітні-травні 2018 р. відмітка рівня води в лимані знову перевищила критичне значення 2,1 м БС, що прискорило руйнування бетонного покриття з матів і загострило загрозу руйнування дамби. Шторми і зливи, які відбувались у 2019-2021 роках, також серйозно пошкодили дамбу. На теперішній час вона знаходиться в аварійному стані (рис. 3б).



Рис. 3 – Розмив дамби Хаджибейського лиману
Fig. 3 – Washout of the Khadzhybeyskiy Estuary's bund

Один із запропонованих варіантів вирішення проблеми полягає в будівництві в лимані паралельно існуючій дамбі, на відстані до 250 м від неї, нової захисної кам'яно-накидної дамби з протифільтраційним екраном, відміткою верху +4,2 – +4,5 м БС і засипкою ділянки між новою і старою дамбами мінеральним ґрунтом (гравієм, потім піском і по верху, вище за рівень води, глинистим ґрунтом). Реалізація цього проекту гарантувала би захист дамби від руйнування на досить тривалий період використання (більше 50 років), створила би умови для капітальної реконструкції існуючої дамби з розширенням одеської Об'їзної дороги, яка проходить по дамбі, надала би можливість подальшого використання новозбудованої дамби в якості прогулянової набережної та/або причальної стінки, а також можливість створення понад 60 га інвестиційних майданчиків під різні проекти вздовж Об'їзної дороги. Недоліком проекту є його висока вартість – близько 800 млн.грн.

Іншим варіантом вирішення проблеми підвищення рівня води в лимані до критичних позначок є забезпечення можливості аварійного скиду води з Хаджибейського лиману в море самопливом через трубопровід, прокладений по трасі Румунського каналу з випуском вод через побудований Глибоководний випуск з СБО «Північна».

Оскільки Хаджибейський лиман є замкнутою непроточною водоймою, то багаторічне надходження до нього недостатньо очищених стічних вод м. Одеси призвело до значного погіршення якості води в ньому, яка не відповідає вимогам національних санітарних норм і правил охорони прибережних вод морів від забруднення в місцях водокористування населення, директив ЄС щодо якості поверхневих вод культурно-побутового та рекреаційного призначення, нормативам ЄС для вод рибогосподарського використання. В той же час лиман використовується у рибогосподарських цілях, на його південному узбережжі знаходиться велика кількість садово-городніх кооперативів, в яких проживає та відпочиває велика кількість мешканців м. Одеси.

Вода і донні відклади Хаджибейського лиману забруднені органічними і мінеральними біогенними речовинами, важкими металами, бактеріями [7-11]. Через забруднення запаси лікувальних грязей лиману більше не придатні для використання. Влітку в лимані щорічно спостерігається цвітіння синьо-зелених водоростей та виникнення «задух» через нестачу

у воді розчиненого кисню і, як наслідок, масові замори риби та загибель інших гідробіонтів. За свідченням органів санітарно-епідеміологічного контролю, лиман не рекомендується для використання у рекреаційних цілях. Риба в лимані має неприємний запах. За гідрохімічними показниками води південної частини лиману характеризуються як забруднені, евтрофні [8].

Надходження зворотних вод з СБО «Північна» в закритий Хаджибейський лиман, навіть за умови їх нормативної очистки, не може позитивно позначатися на екосистемі водойми. Надлишок біогенних речовин, що потрапляє в замкнуту екосистему, не виводиться з неї, а накопичується в донних відкладах (чорні мули з запахом сірководню), які постійно поповнюються відмерлою зваженою органічною речовиною. Донні відклади є джерелом додаткового надходження біогенних речовин в екосистему, тобто джерелом вторинного евтрофування вод лиману. В південній частині лиману донні відклади здатні чинити гостру токсичну дію [9].

З урахуванням змін клімату, які відбуваються в останні роки, слід очікувати загострення проблеми масового цвітіння синьо-зелених водоростей та загибелі гідробіонтів в Хаджибейському лимані. Зокрема, у 2020 р. випадки масової загибелі креветок та риб на різних ділянках узбережжя лиману реєструвались протягом червня – на початку липня. За результатами контролю якості вод в південній частині лиману у середині червня 2020 р. Державною екологічною інспекцією було встановлено перевищення нормативів ГДК за вмістом заліза загального - 0,12 мг/дм³ (при нормі у 0,05); амонію сольового - 3,20 мг/дм³ (норма – 0,65); нітритів – 0,140 мг/дм³ (норма – 0,080); фосфатів – 2,92 мг/дм³ (норма – 2,145). Аналогічна ситуація спостерігалась наприкінці першої декади вересня. У середині червня та наприкінці листопаду відзначалось цвітіння прісноводного виду ціанобактерій (Cyanoprokaryota), який є індикатором гіпертрофного стану водойми і здатний надавати токсичну дію. Загострення екологічної ситуації в Хаджибейському лимані влітку-восени 2020 р. певною мірою пов'язане з падінням рівня води в ньому на 0.6 м протягом 2019-2020 рр. і, відповідно, збільшенням концентрації у воді забруднювальних речовин.

За результатами досліджень, виконаних Інститутом морської біології НАН України в 2016 р. встановлено, що вміст у воді південної частини Хаджибейського лиману мінеральних і

органічних речовин, порівняно з водами прилеглої мілководної частини Одеської затоки, перевищує за азотом мінеральним – в 60 разів, фосфором мінеральним – в 20 разів, органічним азотом і фосфором – в 6 разів. Через високий рівень забруднення аварійний скид води з Хаджибейського лиману в Одеську затоку можливий лише в холодний період року. Окрім того, для зменшення негативного ефекту від цього скиду на екосистемні процеси в Одеській затоці, бажано здійснювати скид не в прибережну зону моря, а задіяти побудований Глибоководний морський випуск тощо.

4. КУЯЛЬНИЦЬКИЙ ЛИМАН

Активна, ненормована та нерегульована антропогенна діяльність (у тому числі водогосподарська) на водозборі Куяльницького лиману, посилення посушливості клімату, відсутність ефективної системи інтегрованого управління природокористуванням за басейновим принципом призвели до виникнення загрози повного зникнення (висихання) лиману та втрати запасів унікальних лікувальних грязей і ропи, а також своєрідної флори і фауни водойми.

Для запобігання повному висиханню лиману у грудні 2014 р. була введена в експлуатацію водопропускна система, через яку Куяльницький лиман поповнюється морською водою з Одеської затоки за допомогою спеціально прокладеного самопливного трубопроводу (рис. 1). Поповнення здійснюється в період грудень-квітень кожного року, коли температура морської води менша за 8°C. Забір води здійснюється на віддалені 500 м від берега в районі Лузанівки. Відстань між виходом до моря трубопроводу (старого) для скиду зворотних вод СБО «Північна» і точкою водозабору з моря становить близько 2 км, що при певних вітрах створює загрозу погіршення якості морських вод [10], які будуть надходити до Куяльницького лиману.

З іншого боку, в той час як постійне протягом року надходження зворотних вод з СБО «Північна» призводить до переповнення Хаджибейського лиману, для Куяльницького лиману існує значний дефіцит річного прісного водного балансу [12]. З огляду на це, логічним є рішення щодо перекиду надлишку вод з низькою мінералізацією з Хаджибейського лиману в Куяльницький. За оцінками фахівців, такий перекид може бути здійснений самопливом (за

рахунок гідравлічного перепаду рівня) між південними частинами обох лиманів при заборі води із самопливного каналу (трубопроводу) для аварійного скидання надлишку вод з Хаджибейського лиману в море.

Перешкодою для реалізації цього рішення є високий ступінь забруднення води і донних відкладів в південній частині Хаджибейського лиману, куди надходять зворотні води з СБО «Північна» та дренажний стік з Полів зрошення, що очікувано призведе до прискореного погіршення екологічного стану Куяльницького лиману та якості його унікальних природних ресурсів (ропи і пелоїдів). Слід зважати на те, що об'єм вод Куяльницького лиману в 26 разів, а середня глибина в 10 разів менша відповідних характеристик Хаджибейського лиману, через що асиміляційна здатність Куяльницького лиману в багато разів менша ніж Хаджибейського.

Тому реалізація варіанту поповнення Куяльницького лиману водою з Хаджибейського лиману вимагає обов'язкового застосування технологій її попереднього суттєвого доочищення. Така технологія описана, наприклад, в [13]. Відзначимо, що цей варіант не є комплексним, оскільки він дозволяє за певних умов вирішити проблему стабілізації водного режиму обох лиманів, але жодним чином не забезпечує вирішення надзвичайно гострої проблеми поліпшення екологічного стану Хаджибейського лиману.

5. ЗЛИВОВІ СТОКИ

Потужним джерелом періодичного забруднення прилеглої до північної частини міста Одеси прибережної зони моря є надходження неочищених зливових стоків з міської території [2], зокрема, житлового масиву Котовського. Злилова система каналізування цього району свого часу не була добудована через нестачу фінансування. На тепер збір зливових стоків з території житлового масиву здійснюється в магістральний зливовий колектор, прокладений вулицею Дніпропетровська дорога, з наступним їх скидом за рельєфом місцевості через Крижанівську балку в море (рис. 1, 4).



Рис. 4 – Виток стічних вод з Крижанівської балки до моря
Fig. 4 – Sewage flowing from Kryzhanivska Gully to the sea

При проходженні балкою до зливових стоків додаються каналізаційні стоки с. Крижанівка, включно з неочищеними стоками з приватних баз відпочинку, готелів, ресторанів-барів та ін.

За свідченням місцевих мешканців, в період сильних злив в балці формується водний потік глибиною 0,5 м та шириною до 10-20 м. Ця вода має неприємний запах каналізації та після потрапляння до моря викликає бурне цвітіння водоростей і нестерпний сморід через їх гниття. Тому актуальним є відведення зливових стоків житлового масиву Котовського та каналізаційних стоків с. Крижанівка на очисні споруди СБО «Північна». Вартість реалізації проекту будівництва системи водовідведення стічних вод з Крижанівської балки, включно з модернізацією очисних споруд СБО «Північна», в 2018 році оцінювалась в 1,3 млрд.грн.

Окрім Крижанівської балки, в період інтенсивних атмосферних опадів зливі стоки з міської території, змішані з каналізаційними водами, без очищення надходять до прибережної зони Одеської затоки через зливі випуски в районі Одеського морського торговельного порту (Деволанівський, Платонівський, Андросівський, та району Пересипу (1-й та 2-й Заливні провулки)), що призводить до значного погіршення якості морських вод не тільки в районах розташування зливових випусків, а й негативно впливає на екологічну ситуацію у всій Одеській затоці [3]. Для вирішення цієї проблеми у 2016 р. Одеська міська рада оприлюднила концепцію реконструкції зливової каналізації міста шляхом будівництва зливових колекторів глибокого закладення для спрямування змішаних стоків, які надходять до колекторів на вулицях Приморська і Балківська, до СБО «Північна» для очищення. Проект, орієнтовна вартість якого оцінювалась в

3 млрд. грн., передбачав будівництво самих колекторів глибокого закладення довжиною 8,5 кілометрів і діаметром до 3 метрів, лоткових каналів шириною до 4 метрів та довжиною 3,5 кілометра, демпферного ставка ємністю 72 000 м³ для перехоплення зливових залпів, каналізаційної насосної станції з пропускною здатністю 24 000 м³ на добу.

Однак, за минулі роки вищевказані проекти відведення зливових стоків м. Одеси на СБО «Північна» для їх очищення так і не були реалізовані через високу вартість робіт.

6. ОБГОВОРЕННЯ ШЛЯХІВ КОМПЛЕКСНОГО ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ

Виникнення та комплексне вирішення вказаних вище проблем пов'язане з функціонуванням СБО «Північна». Модернізація очисних споруд СБО «Північна» та впровадження сучасних технологій глибокого очищення стічних вод, які надходять до неї з міської території, дозволило би значно зменшити ризики забруднення вод і накопичення забруднювальних речовин в донних відкладах Одеської затоки у разі відводу зворотних вод з СБО «Північна» до моря через Глибоководний морський випуск, а також зменшити антропогенне навантаження на екосистему та поліпшити екологічний стан Хаджибейського лиману. В перспективі, за умови виконання певних вимог до ступеня очищення стічних вод м. Одеси та досягнення необхідних показників якості вод на виході з очисних споруд СБО «Північна», ця прісна вода зможе бути використана в технічних цілях (для зрошення сільськогосподарських угідь, поливу вулиць та зелених насаджень міста і т.п.).

Переспрямування в холодну пору року зворотних вод, що надходять з СБО «Північна», до моря замість лиману, вилучення їх для використання в технічних цілях дозволить зменшити обсяги надходження вод до Хаджибейського лиману і, таким чином, запобігти наповненню лиману до критичних позначок рівня, коли виникає загроза руйнуванню дамби.

Стаття 104 Водного кодексу України забороняє скидання будь-яких зворотних вод у водні об'єкти, що віднесені до категорії лікувальних. Отже пряме спрямування навіть добре очищених зворотних вод з СБО «Північна» в Куяльницький лиман неможливе. Однак, істотне зменшення надходження до Хаджибейського лиману біогенних і забруднювальних речовин буде сприяти поліпшенню якості води в ньому і створенню

більш сприятливих умов для подачі води із Хаджибейського лиману в Куяльницький, зменшенню витрат на її доочищення.

В той же час, модернізація очисних споруд СБО «Північна» і поліпшення ефективності очищення міських стічних вод не виключають потребу в реалізації супроводжуючих заходів: спорудження трубопроводу (каналу) для аварійного скидання вод з Хаджибейського лиману в Одеську затоку, у разі виникнення катастрофічних повеней та паводків, та офіційне введення в експлуатацію і використання віддаленого на 4 км від берега Глибоководного морського випуску для скиду зворотних вод, що надходять з СБО «Північна», та/або вод Хаджибейського лиману. Ці заходи можуть розглядатися окремо від модернізації очисних споруд СБО «Північна», але в цьому разі їх реалізація буде сприяти лише мінімізації негативних наслідків від надходження недостатньо очищених скидних вод з СБО «Північна» до Хаджибейського лиману та/або Одеської затоки, але не усуне причину виникнення проблеми.

Оскільки у сучасному стані Хаджибейська дамба за своєю конструкцією не є гідротехнічною спорудою, то безумовно вона потребує реконструкції або будівництва нової дамби. Але у разі зниження і можливості регулювання рівня води в Хаджибейському лимані, витрати на реконструкцію дамби або будівництво нової дамби можуть бути значно зменшені. Оновлення дамби, без вирішення задачі регулювання рівня води в лимані, здатне лише відтермінувати загальну проблему переповнення лиману на більш тривалий термін.

Необхідність реалізації вказаних вище природоохоронних заходів визначається також планами переспрямування зливого стоку з міської території на СБО «Північна» для їх очищення замість прямого скиду неочищених стоків в прибережну зону моря. Зрозуміло, що у цьому разі значно збільшиться обсяг зворотних вод, які будуть надходити з СБО до Одеської затоки (через Глибоководний випуск) або до Хаджибейського лиману.

7. ВИСНОВКИ

Першочерговим і ключовим елементом стратегії досягнення “доброго” екологічного стану морського середовища на прилеглий до північної частини м. Одеси ділянці морського узбережжя є модернізація очисних споруд і впровадження сучасних технологій глибокого очищення стічних вод на СБО «Північна», що дозволить здійснювати екологічно безпечні

скиди зворотних вод не тільки до Хаджибейського лиману, а й до моря, використовувати їх як технічну воду в сільському та комунальному господарствах прилеглих територій.

Другим за важливістю елементом стратегії для досягнення поставленої мети є будівництво зливових колекторів для запобігання прямому надходженню неочищених зливових стоків з центрального та північного районів міста до моря і спрямування їх на очищення до СБО «Північна».

Важливими, але не вирішальними і такими, що лише доповнюють вказаний першочерговий, ключовий елемент стратегії, є такі природоохоронні заходи:

➤ введення в планову легальну експлуатацію віддаленого на 4 км від берега Глибоководного морського випуску зворотних вод з СБО «Північна» та вод Хаджибейського лиману, у разі їх аварійного скиду в море при підвищенні рівня води в лимані до критичних позначок;

➤ корінна реконструкція та/або будівництво нової дамби Хаджибейського лиману.

Визначені і обґрунтовані в статті природоохоронні заходи, які в сукупності і визначеній послідовності складають стратегію поліпшення екологічного стану морського середовища на прилеглий до північної частини м. Одеси ділянці морського узбережжя, рекомендується включити до Плану дій для досягнення та підтримання «доброго» екологічного стану Азовського і Чорного морів на період 2022-2027 років, розробка якого відповідно до пункту 2 розпорядження Кабінету Міністрів України від 11 жовтня 2021 р. № 1240 «Про схвалення Морської природоохоронної стратегії України» доручена Міністерству захисту довкілля та природних ресурсів України, разом із зацікавленими центральними та місцевими органами виконавчої влади. На тепер, через російську збройну агресію проти України сформований лише проміжний варіант цього Плану. Важливість включення визначених в статті природоохоронних заходів до Плану дій визначається тим, що його складовою є фінансово-економічне обґрунтування виконання завдань та зведені витрати на виконання завдань по роках для приморських областей України [14], з визначенням джерел фінансування.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Морська природоохоронна стратегія України (схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 11 жовтня 2021р. №1240-р). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1240-2021->

- %D1%80#Text (дата звернення: 24.03.2023).
- Тучковенко Ю. С., Иванов В. А., Сапко О. Ю. Оценка влияния береговых антропогенных источников на качество вод Одесского района северо-западной части Черного моря: моногр. / Морской гидрофиз. ин-т НАНУ; Од. гос. эколог. ун-т. Севастополь: НПЦ ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. 169 с.
 - Тучковенко Ю. С., Сапко О. Ю. Характеристика сбросов антропогенных источников загрязнения морских вод у побережья Одессы в современный период. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2017. Вип. 22. С. 5-13.
 - Тучковенко Ю. С., Сапко О. Ю., Тучковенко О. А. (2020) Характеристика станцій біологічного очищення стічних вод міста Одеса як джерел біогенного забруднення морського середовища в сучасний період. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2020. 25. С. 127-135. <https://doi.org/10.31481/uhmj.25.2020.12>
 - Тучковенко Ю. С., Височанская Ю. В. Недостатки ОВОС проекта глубоководного морского выпуска сточных вод СБО «Северная». *Екологія міст та рекреаційних зон: збірник доповідей та статей Всеукр. науково-практ. конф., 31 травня - 1 червня*. Одеса: ІНВАЦ, 2012 р. С. 120-123.
 - Тучковенко Ю. С., Козлов М. О. Водний баланс Хаджибейського лиману у сучасний період. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2017. № 21. С. 66-77.
 - Гуменюк Г. Б. Порівняльна характеристика вмісту концентрацій важких металів у складових гідроекосистеми Хаджибейського лиману. *Природно-ресурсний потенціал Куяльницького та Хаджибейського лиманів, території міжлимання: сучасний стан, перспективи розвитку: матеріали Всеукр. наук.-практ. конф (м. Одеса, 18-20 листоп. 2015 р.)*. Одеса: ТЕС, 2015. С. 44-47
 - Богатова Ю. И., Секундяк Л. Ю., Кирсанова Е. В. Качество водной среды Хаджибейского лимана летом 2016 года. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2017. Вип. 21. С. 78 - 85.
 - Дятлов С. С., Кошелев О. В., Запорожець С. О. Донні відкладення південної частини Хаджибейського лиману в умовах хронічного забруднення. *Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біол.* 2017. № 2 (69). С.60-64.
 - Гончаров О. Ю. Антропогенний вплив станції біологічної очистки «Північна» на Одеську затоку і Хаджибейський лиман в сучасний період. *Євроінтеграція екологічної політики України: матеріали всеукр. наук. конф., 29-31 травня*, Одеса: ОДЕКУ, 2019. С. 98-102.
 - Тропівська Г. Г., Нідзвєцька Л. М. (2018). Санітарно-мікробіологічна оцінка якості донних відкладень Хаджибейського лиману та Одеської затоки в умовах скидання стічних вод. *Вісник Одеського національного університету. Біологія*. Т. 23. Вип. 1(42). С. 55-66.
 - Тучковенко Ю. С., Хохлов В. М., Лобода Н. С. Вплив змін клімату на водний баланс квазізакрытих лиманів північно-західного Причорномор'я. *Український гідрометеорологічний журнал*. (29). С. 32-47. <https://doi.org/10.31481/uhmj.29.2022.03>
 - Гончаров О. Ю., Янчук Д. Л. Технологія підготовки забрудненої комунальними стоками води Хаджибейського лиману для компенсації водного дефіциту Куяльницького лиману. *Євроінтеграція екологічної політики України: матеріали Другої всеукр. наук. конф., 22 жовт.*, Одеса: ОДЕКУ, 2020. С. 26-32.
 - Опрацювання плану дій для досягнення та підтримання «доброго» екологічного стану Азовського та Чорного морів на період 2023-2027 років. Звіт про науково-дослідну роботу проміжний (наук. кер. В. М. Коморін) / Український науковий центр екології моря. Бібл. УкрНЦЕМ. ДР № 0122U201795, 2022. 59 с. URL: http://www.sea.gov.ua/img/reports/2022/report2022_t_heme7.pdf (дата звернення: 19.03.2023)

REFERENCES

- Morska pryrodokhoronna stratehiia Ukrainy (rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 11 zhovtnia 2021 r. №1240-r)* [Marine environmental protection strategy of Ukraine (the order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated October 11, 2021, no. 1240-p)]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1240-2021-%D1%80#Text> (Accessed: 24.03.2023) (in Ukr.)
- Tuchkovenko, Yu.S., Ivanov, V.A. & Sapko, O.Yu. (2011) *Otsenka vliyaniya beregovykh antropogennykh istochnikov na kachestvo vod Odesskogo ragona severo-zapadnoy chasti Chernogo morya* [Assessment of the coastal anthropogenic sources impact on water quality in north-western part of Black Sea near Odessa]. Marine Hydrophysical Institute of NASU, Odessa State Environmental University. Sevastopol : SPC EKOSI-Gidrofizika Publ. (in Russ.)
- Tuchkovenko, Yu.S. & Sapko, O.Yu. (2017) Assessment of the coastal anthropogenic pollution sources impact on water quality in North-Western part of Black Sea near Odessa. *Visnik Odes'kogo derzhavnogo ekologichnogo universitetu* [Bulletin of Odessa state environmental university], 22, pp. 5-13 (in Russ.)
- Tuchkovenko, Yu.S., Sapko, O.Yu. & Tuchkovenko, O.A. (2020) [Description of biological wastewater treatment plants of city of Odesa as sources of marine environment nutrient pollution in current period]. *Ukrainian hydrometeorological journal*, 25, pp. 127-135. (in Russ.) <https://doi.org/10.31481/uhmj.25.2020.12>
- Tuchkovenko, Yu.S. & Visochanskaya Y.V. [Weaknesses of the environmental impact assessment of the project for the deep sea discharge of sewage from the biological treatment plant "Severnaya"]. *Zbirnyk dopovidei ta statei Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii "Ekolohiia mist ta rekreatsiinykh zon"* [The collection of reports and articles of the All-Ukrainian Scientific and Practical Conference "Ecology of cities and recreational areas"], May 31 - June 1. Odessa, pp. 120-123. (in Russ.)
- Tuchkovenko, Yu.S. & Kozlov, M.O. (2017). [Current water balance of Khadzhibeyskyi liman]. *Bulletin of Odessa State Environmental University*, (21), pp. 66-77. (in Russ.)
- Humeniuk, G.B. (2015). [Natural resource potential of Kuyalnik and Khadzhibeis estuaries, the territory between the estuaries: modern state, outlook of development]. *Materialy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii "Pryrodno-resursnyi potentsial Kuialnytskoho ta Khadzhybeiskoho lymaniv, terytorii mizhlymannia: suchasnyi stan, perspektivy rozvytku"* [Proceedings of All-Ukrainian theoretical and practical conference "Natural resource potential of the Kuyalnytskyi and Khadzhibeis estuaries, inter-estuary territories: current state, development prospects", 18-20 November. Odessa: TES, pp. 44-47. (in Ukr.)
- Bogatova, Yu.I., Sekundak, L.Yu. & Kirsanova, E.V. (2017). [Quality of aquatic environment of Khadzhibeyskyi Liman in summer, 2016]. *Visnik Odes'kogo derzhavnogo ekologichnogo universitetu* [Bulletin of Odessa state environmental university], 21, pp. 78-85.
- Dyatlov, S.Ye., Koshelev, A.V. & Zaporozhets, S.A. (2017). [Bottom sediments of southern part of Khadzhibeis estuary in terms of chronic anthropogenic pollution]. *Scientific Issue*

- Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University*. Series: Biology, 2 (69), pp.60-64. (in Ukr.)
10. Honcharov, O.Yu. (2019). [Anthropogenic impact of the biological treatment plant "Northern" on the Odessa Bay and Hadzhibeysky estuary in the modern period]. *Materialy dopovidei Vseukrainskoi naukovoï konferentsii "Yevrointehratsiia ekolohichnoi polityky Ukrainy" [Proceedings of the All-Ukrainian Scientific Conference "European integration of Ukraine's environmental policy"]*, 29-31 May. Odesa: OSENU, pp. 98-102. (in Ukr.)
 11. Tropivska, A.G. & Nidzvetska, L.M. (2018). [Sanitary and microbiological assessment of quality of the bottom sediments of Khadzhibey Liman and Odesa bay under conditions of wastewater discharge]. *Odesa National University Herald. Biology*, 23, 1(42), pp. 55-66. (in Ukr.)
 12. Tuchkovenko, Yu.S., Khokhlov, V.M., & Loboda, N.S. (2022). Climate change impact on water balance of quasi-closed lagoons in the North-Western Black Sea coast. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, 29, pp. 32-47. <https://doi.org/10.31481/uhmj.29.2022.03>
 13. Honcharov, O.Yu. & Yanchuk, D.L. (2020). [Technology for the preparation of water the Khadzhibey estuary polluted by municipal waste water to compensate for the water deficit of the Kuyalnytsky estuary]. *Materialy dopovidei Druhoi Vseukrainskoi naukovoï konferentsii "Yevrointehratsiia ekolohichnoi polityky Ukrainy" [Proceedings of the Second All-Ukrainian Scientific Conference "European integration of Ukraine's environmental policy"]*, 22 October. Odesa: OSENU, pp. 26-32. (in Ukr.)
 14. Development of an action plan for achieving and maintaining a "good" ecological state of the Azov and Black Seas for the period 2023-2027. Intermediate report on research activity (scientific supervisor V. M. Komorin) / Ukrainian Scientific Center of Ecology of Sea. Library of UkrSCES. SR No. 0122U201795, 2022. 125 p. (in Ukr.) Available at: http://www.sea.gov.ua/img/reports/2022/report2022_theme7.pdf (Accessed: 19.03.2023).

A COMPREHENSIVE SOLUTION TO THE PROBLEM OF ENSURING A GOOD ENVIRONMENTAL STATUS OF THE MARINE ENVIRONMENT ACROSS THE COASTAL AREA THAT IS ADJACENT TO THE NORTHERN PART OF THE CITY OF ODESA

Y. S. Tuchkovenko

*Odessa State Environmental University,
15, Lvivska St., 65016 Odesa, Ukraine, tuch2001@ukr.net
<https://orcid.org/0000-0003-3275-9065>*

The research identifies and describes the most urgent problems associated with the anthropogenic impact on the sea's coastal zone affecting the northern part of the city of Odesa and the marine-origin water bodies that are adjacent to it, i.e. Odesa Bay of the north-western part of the Black Sea, the Khadzhybeyskyi and Kuyalnytskyi Estuaries. These problems include: impossibility to discharge the return water coming from the municipal sewage biological treatment station (BTS) "Pivnichna" into the sea's coastal zone or to use it economically wise as technical water because of insufficient degree of treatment; a high degree of water pollution and unsatisfactory environmental condition of the Khadzhybeyskyi Estuary that is adjacent to Odesa, increase of its water level to critical marks because of the constant flow to the estuary of return water from BTS "Pivnichna"; shallowing and potential complete drying up of the hypersaline Kuyalnytskyi Estuary that may lead to loss of natural resources of the resort of state importance and salinization of its adjacent territories; periodic deterioration of the sea water quality within the coastal recreation area of Odesa, prohibition of swimming at certain beaches after heavy downpours because of influx into the sea of untreated stormwater runoff coming from the city. The research demonstrates that all these problems are interconnected to a certain extent and can be solved comprehensively in the course of implementation of a single strategy of environmental protection measures that are defined and substantiated in this article. The key and high-priority element of such strategy consists in modernization of sewage treatment facilities and introduction of modern technologies of advanced wastewater purification at BTS "Pivnichna". It is recommended to include the constituent elements of the strategy into the Action plan to achieve and maintain the "good" environmental status of the Azov and Black Seas for the period 2022-2027 being jointly developed by the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine alongside with interested executive central and local bodies as part of implementation of the Marine Environmental Protection Strategy of Ukraine.

Keywords: the Black Sea; Odesa District; marine environment; environmental condition of water; improvement strategy

*Подання до редакції : 21. 04. 2023
Надходження остаточної версії : 01. 05. 2023
Публікація статті : 29. 06. 2023*

УДК 504

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ УПРАВЛІННЯ ЕКОСИСТЕМНИМИ РИЗИКАМИ МОРЯ

В. М. Коморін

НДУ «Український науковий центр екології моря»,
Французький бульвар, 89, 65009, Одеса, Україна, vkomorin@gmail.com

У контексті загострення антропогенного впливу, змін клімату та стихійних лих, набувають важливості завдання, пов'язані з управлінням екосистемними ризиками морських акваторій. Ця робота ставить за мету сформулювати сучасні теоретико-методологічні основи цього наукового напрямку на основі аналізу та оцінки актуальних концепцій та стратегій.

Стаття включає в себе аналіз основних термінів та принципів, а також представляє концептуальну модель теорії управління екосистемними ризиками моря, що відіграє ключову роль, оскільки відображає основні компоненти теорії та їх взаємозв'язки. Модель сприяє кращому розумінню структури та особливостей цієї теорії, підкреслюючи складність взаємодій між соціально-економічними системами та морськими екосистемами, а також ризики, які виникають в результаті цих взаємодій. Основні елементи моделі включають такі фактори, як природні та антропогенні чинники, враховуючи їх вплив на стан морських екосистем та пов'язані з ними ризики. Модель також акцентує увагу на здоров'ї, стабільності екосистем та біорізноманітті як визначальних параметрах стану та функціонування морських екосистем.

Здійснено порівняльний аналіз різних методологій та стратегій управління екосистемними ризиками, що визначило найефективніші з них на окремих етапах створення оптимальної стратегії управління екосистемними ризиками. Стратегії управління ризиками можуть бути впроваджені за допомогою різноманітних інструментів, таких як морське просторове планування, створення морських заповідних зон, базове екосистемне управління, управління ресурсами, а також системи управління якістю морського довкілля, розробленої відповідно до вимог Директиви ЄС з морської стратегії. Ці стратегії інтегрують різні підходи до управління екосистемними ризиками, сприяючи збереженню екосистем і забезпеченню стабільності морського середовища.

Проведена робота також відкриває перспективи для подальших наукових досліджень, зокрема, розробки гіпотез з метою підвищення теоретичних знань та розробки практичних рекомендацій у сфері управління екосистемними ризиками морських акваторій.

Висновки дослідження спрямовані на створення теоретико-методологічної бази, що сприятиме аналізу та розробці ефективних стратегій управління екосистемними ризиками в морських акваторіях.

Ключові слова: екосистемні ризики; управління ризиками; морські акваторії; екологічні соціально-економічні системи; стійкість морських екосистем; концептуальна модель; стратегії управління.

1. ВСТУП

Актуальність роботи пов'язана з тим, що значна частина світового населення (близько 40%), що проживає в прибережних зонах, залежить від морських ресурсів [1]. При цьому 60% морських екосистем вже зазнали відчутних пошкоджень від людської діяльності. Протистояти цьому виклику допоможе розробка та застосування ефективних методів оцінки та управління екосистемними ризиками. Проте, на сьогодні не існує єдиної теорії управління екосистемними ризиками. Є потреба у подальшому вивченні теоретичних основ,

методологічного інструментарію для практичного застосування управління екосистемними ризиками моря, що дозволить досягнути цілей сталого розвитку океану та морів, а також впоратися зі зміною клімату.

Метою роботи є формування сучасних теоретико-методологічних основ науково-практичного напрямку, пов'язаного із створенням та функціонуванням системи управління екосистемними ризиками моря на базі аналізу та оцінки актуальних концепцій та стратегій управління якістю морського середовища.

Для досягнення мети вирішені наступні завдання:

- проведено аналіз основних термінів та принципів;
- створено концептуальну модель теорії управління екосистемними ризиками моря, визначені основні компоненти моделі та їх взаємозв'язки;
- здійснено порівняльний аналіз існуючих методологій та стратегій управління екосистемними ризиками;
- розроблено наукові гіпотези, пов'язані із теорією та методологією управління екосистемними ризиками з метою підвищення теоретичних знань та розробки практичних рекомендацій у сфері управління екосистемними ризиками морських акваторій.

Об'єктом дослідження є система управління екосистемними ризиками моря з використанням методів математичного моделювання та теорії динамічних систем.

Предметом дослідження є процедури та механізми методу створення оптимальної стратегії управління екосистемними ризиками на основі математичного моделювання з урахуванням положень теорії динамічних систем.

Для початку розглянемо взаємозв'язок поняття "екосистемний ризик" та "екологічний ризик". Розвиток терміну "екосистемний ризик" відбувався поступово, паралельно з поглибленням нашого розуміння екосистем та їхньої вразливості до антропогенного впливу [2]. Першою стадією була концепція "екологічний ризик", яка зосереджувалася на впливі окремих забруднювачів або інших факторів на окремі складові екосистеми [3]. Ця концепція включала наступні ключові компоненти [4, 5, 6]:

- **"стресор"** – потенційно шкідливий фактор, що може впливати на екосистему; може бути хімічною речовиною, фізичним фактором, біологічним агентом або комбінацією цих факторів;
- **"рецептор"** – організми, групи організмів або цілі екосистеми, які можуть бути під впливом стресора;
- **"наслідки"** – потенційні зміни в рецепторах внаслідок впливу стресора; можуть бути прямі або непрямі і включати шкоду людському здоров'ю, екосистемам або втрату біорізноманіття;
- **"ймовірність"** – шанс, що стресор спричинить певні наслідки;
- **"невизначеність"** – визнання обмежень у нашому знанні про екологічні ризики;

може виникати через недостатність даних, варіативність природних систем або неоднозначність у наукових моделях і прогнозах.

Концепція підкреслює важливість системного підходу до ідентифікації і управління ризиками. Але з появою визнання взаємозв'язку та складності екосистем з'явилась потреба розширити визначення ризику, щоб включити більш широкий екологічний контекст [7].

Екосистемний ризик початково визначався як потенційні шкідливі наслідки для екосистем, потім і для екосистемних послуг, які вони надають. Він зосереджувався на негативному впливі на біорізноманіття, видовий склад, структуру та функціонування екосистем.

Але це визначення еволюціонувало. Воно тепер включає не лише екологічні аспекти, а й соціально-економічні [8]. Враховується вплив на благополуччя людини і сталий розвиток, оскільки екосистеми мають важливу цінність не тільки самі по собі, а й є корисними для людей.

Сучасні визначення екосистемного ризику тепер охоплюють потенційну шкоду для екосистем, а також можливі наслідки для суспільств, які залежать від екосистемних послуг.

Екосистемний ризик в даний час визначається як комплексне розуміння складних взаємодій та взаємозалежностей у межах екосистем, а також різних стресорів і факторів, які можуть порушити їх функціонування [9]. Враховується вразливість екосистем перед різними загрозами, такими як забруднення, втрата середовища існування, перелов рибних ресурсів, поширення інвазивних видів, зміна клімату і т. ін. Екосистемний ризик підкреслює необхідність профілактичного управління та збереження стратегій для підтримки здоров'я, стійкості та сталого розвитку екосистем.

Таким чином, екологічний ризик і екосистемний ризик є двома пов'язаними, але різними поняттями. Екологічний ризик відноситься до потенційної шкоди для окремих компонентів екосистеми в результаті діяльності людини, тоді як екосистемний ризик відноситься до ризиків для здоров'я і стабільності екосистем в цілому. Обидві концепції вимагають всебічного розуміння складних взаємодій між діяльністю людини та екосистемами, а також ефективних стратегій управління ризиками, що впроваджують системний підхід до аналізу та вирішення екологічних викликів.

Концепція екологічних економо-соціальних систем включає в себе декілька ключових

елементів, що тісно пов'язані між собою: екосистемні функції, екосистемні послуги та вигоди для людей.

Екосистемні функції представляють потенціал екосистеми надавати корисні послуги. Це може включати різноманітні процеси та властивості екосистеми, такі як цикли речовин та енергії, здатність до самовідновлення після нанесених пошкоджень та здатність підтримувати біорізноманіття на певному рівні.

Екосистемні послуги – це конкретні блага або послуги, які люди отримують від екосистем. Вони можуть включати морські ресурси (наприклад, морепродукти), а також регулюючі послуги, такі як очищення води, запобігання зсувам ґрунту, або культурні послуги, такі як рекреація та натхнення для мистецтва та розвитку культури.

Вигоди для людей – це користь, яку люди отримують від екосистемних послуг. Це може бути фізичне здоров'я від чистого повітря та води, безпека від небезпеки зсуву ґранту, економічна користь від продуктів екосистем або психологічні та культурні вигоди від природи, яка додає значення нашому життю.

Концепція також включає увагу до впливів людини на ці складові. Безпосереднє використання екосистемних послуг, таке як вилов риби або будівництво гідроспоруд, може мати вплив на їх подальшу доступність. Опосередкований вплив через діяльність людини, таку як, наприклад, забруднення, також може мати значущий вплив на екосистемні функції та послуги.

2. ОПИС МАТЕРІАЛІВ І МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

В роботі використано методи аналізу термінів та принципів, які складають основу теорії системи управління екосистемними ризиками.

Для класифікації та опису екосистемних ризиків моря використовується системний аналіз. Цей метод дозволяє систематизувати наявні дані та інформацію, використовуючи об'єктивні та науково обґрунтовані критерії [10].

Методологічний підхід дослідження також включає використання математичних методів та сучасних інформаційних технологій. Зокрема, запропоновано алгоритм використання існуючих програм для математичного моделювання задач управління екосистемними ризиками в морських акваторіях [11].

Щодо вивчення стабільності морських екосистем, в даному дослідженні застосовується

підхід, заснований на аналізі стійкості за показниками Ляпунова [12]. Даний метод використовує математичні моделі екосистем для оцінки якості моделі біологічного угруповання або екосистеми та її здатності відповідати на запитання про стійкість реального угруповання.

В основі підходу, представленого в цій роботі, лежить модифікація методу DPSIR (Drivers-Pressures-State-Impacts-Responses), який використовується для дослідження взаємозв'язків між людською діяльністю, станом екосистем та їх наслідками [13].

Методи аналізу вразливості, кількісної оцінки, оцінки ймовірності ризику та сценарний аналіз дозволяють отримати детальну інформацію про ризики та їх значущість для морської екосистеми.

3. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ, ПОВ'ЯЗАНІ З СИСТЕМОЮ УПРАВЛІННЯ ЕКОСИСТЕМНИМИ РИЗИКАМИ МОРЯ

3.1 Основні терміни

Здоров'я екосистеми визначається її структурою, функціонуванням та біологічним складом морської екосистеми. Стабільність екосистеми виявляється у здатності екосистеми до підтримки своїх функцій та збереження рівноваги при зовнішніх та внутрішніх змінах [14]. Біорізноманіття моря визначається наявністю різноманітних видів та їх взаємодією, включаючи продукційні ланцюги та взаємодію між видами.

Екологічний моніторинг передбачає систематичний збір, аналіз та оцінку даних про стан морського середовища [15-17]. Оцінка екологічного стану морського середовища включає визначення гідрофізичних, гідрохімічних та біологічних показників стану довкілля, які дозволяють визначити комплексні індикатори якості води, включаючи рівень забруднення, біорізноманіття, засміченість та інші. Це допомагає виявляти зміни, встановлювати тенденції та оцінювати ефективність заходів управління ризиками.

Оцінка морських екосистемних послуг визначає економічну та соціальну цінність послуг, які надає екосистема [18-21]. Оцінка ґрунтується на аналізі функцій екосистеми та процесів в ній, а також на визначенні ступеня залежності суспільства від цих послуг.

Фактори впливу включають природні та антропогенні чинники, що впливають на стан екосистеми та ризики, пов'язані з нею [22]. Природні фактори охоплюють природні процеси,

такі як кліматичні зміни, екстремальні погодні умови та природні лиха. Антропогенні фактори включають вплив людської діяльності, такий як забруднення, перелов рибних ресурсів, привнесення інвазійних видів флори та фауни та інші антропогенні дії. Ці фактори можуть взаємодіяти між собою, підсилюючи або послаблюючи їхні наслідки для екосистеми та ризику, пов'язані з нею.

3.2 Принципи

Теорія управління екосистемними ризиками моря базується на стратегічному балансі принципів адаптивного управління, використання екосистемного підходу, а також використання сучасних технологій, таких як математичні моделі, геоінформаційні системи, системи управління базами даних, тощо.

Адаптивне управління передбачає гнучкий підхід до управління, який дозволяє вносити зміни на основі відгуків системи та нових даних [23, 24]. Цей підхід визнає нестійкість та невизначеність екосистеми, а також необхідність навчання на основі досвіду.

Екосистемний підхід зосереджується на взаємодії між різними компонентами екосистеми та на тому, як ці взаємодії формують загальну структуру та функції екосистеми [22]. Він допомагає враховувати взаємопов'язаність та мінімізувати небажані наслідки втручання в екосистему.

Сучасні технології, зокрема інформаційні технології та географічне планування, відіграють

важливу роль у ефективному управлінні екосистемними ризиками. Вони допомагають збирати, обробляти та аналізувати великі обсяги даних, що дозволяє краще розуміти стан екосистеми та ризику, а також розробляти та впроваджувати ефективні стратегії управління [25-70]. Нижче будуть обговорені існуючі моделі та комп'ютерні програми для моделювання морських екосистем та їх окремих компонент.

Запропонована теорія базується на принципах відповідальності, запобіжності та інтеграції особливостей екологічного менеджменту в систему управління ризиками. Основною метою є забезпечення сталого розвитку морських екосистем та міцності (резиліентності) перед емерджентними ризиками.

Міждисциплінарність, наукова обґрунтованість, міжнародна співпраця, превентивні дії, прозорість, об'єктивність, пропорційність та регулятивне управління - це ключові принципи, які допомагають реалізувати цю теорію в практиці.

Табл. 1 ілюструє взаємозв'язки принципів і структурних елементів системи управління екосистемними ризиками. Вона вказує, що принцип адаптивного управління потребує адаптації стратегій у відповідь на зміни в екосистемі, принцип біорізноманіття акцентується на важливості збереження біорізноманіття для резиліентності, а принцип використання відповідних показників вимагає адекватних метрик для оцінки ефективності управління ризиками.

Таблиця 1 – Взаємозв'язок принципів із структурними елементами системи управління екосистемними ризиками
Table 1 - Relationship between the principles and structural components of the ecosystem risk management system

Принцип	Взаємозв'язок з структурними елементами системи управління екосистемними ризиками
Принцип адаптивного управління	Суб'єкт управління: адаптація стратегій управління залежно від змін стану морської екосистеми.
Принцип біорізноманіття	Морська екосистема: збереження та відновлення біорізноманіття як ключового ресурсу для резиліентності екосистем.
Принцип визначення і використання відповідних показників	Морський екологічний моніторинг: використання відповідних показників для виміру ефективності управління.
Принцип використання інформаційних технологій	Морський екологічний моніторинг: використання технологій для підтримки управління ризиками, включаючи моніторинг та передбачення.
Принцип відповідальності	Користувачі екосистемних послуг: визначення та прийняття відповідальності за вплив на морську екосистему.
Принцип географічного планування	Суб'єкт управління: використання просторового планування для координації управління ресурсами і ризиками.
Принцип екосистемного підходу	Суб'єкт управління: розгляд екосистеми як цілого при визначенні стратегії управління.
Принцип "Забруднювач платить"	Користувачі екосистемних послуг: встановлення прецедентів для зменшення забруднення або відновлення забруднених областей.
Принцип запобіжності	Суб'єкт управління: превентивні заходи для уникнення потенційних ризиків.

Таблиця 1 – Продовження
Table 1 – Continued

Принцип	Взаємозв'язок з структурними елементами системи управління екосистемними ризиками
Принцип інтеграції особливостей екологічного менеджменту в систему управління ризиками	Суб'єкт управління: інтеграція екологічних пріоритетів в загальну стратегію управління ризиками.
Принцип інтегрованого управління	Суб'єкт управління: координація різних видів управління для досягнення цілісного підходу.
Принцип міждисциплінарності	Суб'єкт управління: використання широкого спектру наукових дисциплін для розуміння і управління екосистемами.
Принцип міжнародної співпраці	Суб'єкт управління: співпраця між різними країнами або регіонами для управління транскордонними ризиками.
Принцип міцності (резиліентності)	Морська екосистема: підтримка та зміцнення резиліентності екосистем для управління ризиками.
Принцип моніторингу та оцінки	Морський екологічний моніторинг: систематичний збір і аналіз даних для оцінки ефективності управління.
Принцип наукової обґрунтованості	Суб'єкт управління: використання наукових даних і досліджень для прийняття обґрунтованих рішень.
Принцип превентивної дії	Суб'єкт управління: превентивні дії для уникнення потенційних ризиків.
Принцип прозорості та об'єктивності	Суб'єкт управління: відкритість і об'єктивність в процесі прийняття рішень.
Принцип пропорційності	Суб'єкт управління: пропорційність дій до рівня ризику.
Принцип регулятивного управління	Суб'єкт управління: встановлення правил і норм для зменшення ризиків.
Принцип сталого розвитку	Всі елементи: використання ресурсів екосистеми таким чином, щоб вони задовольняли поточні потреби, не погрожуючи при цьому потребам майбутніх поколінь.

4. КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ ТЕОРІЇ УПРАВЛІННЯ ЕКОСИСТЕМНИМИ РИЗИКАМИ МОРЯ

Концептуальна модель управління екосистемними ризиками моря є важливим інструментом, що відображає ключові компоненти теорії та їх взаємозв'язки. Вона допомагає розуміти структуру та характеристики цієї теорії і сприяє її подальшому впровадженню на практиці. Ця модель враховує складність взаємодій між соціо-економічними системами та морськими екосистемами, а також ризики, що виникають внаслідок цих взаємодій.

Основні компоненти концептуальної моделі включають фактори впливу, такі як природні та антропогенні чинники, які впливають на стан морських екосистем та ризики, пов'язані з ними. Вона також враховує поняття здоров'я екосистеми, стабільності екосистеми та біорізноманіття як ключові компоненти, які визначають стан та функціонування морських екосистем.

Ця модель покликана забезпечити сталість соціо-економічних систем та морських екосистем, забезпечуючи ефективне управління ризиками. Вона надає базовий фреймворк для аналізу, розуміння та управління ризиками, пов'язаними зі змінами у морських екосистемах.

Подальше впровадження цієї моделі на практиці допоможе розробляти та впроваджувати стратегії та заходи, спрямовані на збереження та стале використання морських ресурсів для забезпечення нашого майбутнього благополуччя.

4.1 Структурні та функціональні характеристики концептуальної моделі

Концептуальна модель управління екосистемними ризиками моря складається з наступних елементів, які взаємодіють між собою.

1. **Морська екосистема:** визначає базові компоненти системи управління ризиками. Морська екосистема має важливе значення для надання екосистемних послуг та забезпечення біологічної різноманітності. Розуміння її стану та вразливості є ключовим для формування стратегії управління ризиками.

2. **Екосистемні послуги:** охоплюють широкий спектр корисних ресурсів та функцій, які надає морська екосистема. Вони включають харчування, регулювання клімату, очищення води, рекреаційні можливості та багато іншого. Врахування структури та якості цих послуг допомагає визначити, які ризики можуть вплинути на екосистему та користувачів послуг.

3. **Суб'єкт управління екосистемними ризиками:** відповідає за реалізацію стратегії управління ризиками. Він забезпечує збір інформації про морську екосистему та екосистемні послуги, формування стратегії управління та прийняття відповідних рішень. Суб'єкт управління також залучає користувачів екосистемних послуг до процесу, враховуючи їхні потреби та цінності. Суб'єкт управління може функціонувати на місцевому, національному та міжнародному рівнях.

4. **Користувачі екосистемних послуг:** цей елемент включає тих, хто користується послугами, наданими морською екосистемою. Користувачі мають вплив на стан екосистеми через свою діяльність, таку як рибальство, туризм, промислова діяльність тощо. Управління ризиками повинно враховувати вплив користувачів та сприяти їх відповідальній поведінці.

5. **Морський екологічний моніторинг** є важливою складовою системи управління екосистемними ризиками. Це систематичний збір, аналіз та інтерпретація даних про стан морської екосистеми. Моніторинг допомагає виявляти зміни, оцінювати ефективність дій та прогнозувати майбутні ризики. Це надає необхідну інформацію для прийняття обґрунтованих рішень та розробки стратегій управління ризиками на основі наукових доказів.

Кожен з цих елементів взаємодіє один з одним, створюючи систему управління екосистемними ризиками. Розуміння стану морської екосистеми, врахування якості та структури екосистемних послуг, дії суб'єкта управління та взаємодія з користувачами покликані забезпечити баланс між використанням екосистемних послуг та збереженням здоров'я та стійкості морської екосистеми.

Крім того, фактори впливу, такі як природні та антропогенні чинники, впливають на всі аспекти системи управління ризиками. Вони можуть включати кліматичні зміни, забруднення, зміни використання землі та інші антропогенні дії. Ці фактори впливають на стан морської екосистеми та викликають потенційні ризики. Управління ризиками має враховувати ці фактори, оцінювати їх та розробляти стратегії для управління ними.

Концептуальна модель управління екосистемними ризиками моря передбачає використання системи наукових даних, що отримуються з моніторингу стану екосистеми та аналізу факторів впливу. Ці дані становлять

основу для розпізнавання ризиків та оцінки їх імовірності та потенційних наслідків.

На основі цієї інформації розробляються стратегії управління ризиками, спрямовані на попередження ризиків, мінімізацію шкоди в разі виникнення негативних подій та відновлення екосистеми до здорового стану. Ці стратегії включають конкретні дії та заходи, що враховують особливості морської екосистеми та впливу антропогенних чинників.

Реалізація стратегій управління ризиками вимагає активної участі суб'єкта управління, який виконує заплановані дії та впроваджує необхідні заходи. Важливою частиною процесу є постійний моніторинг та оцінка стану екосистеми, що дозволяє визначити ефективність застосованих стратегій та, у разі необхідності, внести корективи.

Оновлення та адаптація системи управління ризиками є необхідною умовою для забезпечення її ефективності в довгостроковій перспективі. Це означає збір нових наукових даних, оцінку ефективності стратегій та врахування змін в стані морської екосистеми та впливу факторів ризику.

Узагальнюючи, система управління екосистемними ризиками моря заснована на наукових даних та включає етапи розпізнавання ризиків, оцінки ризиків, розробки стратегій, реалізацію стратегій та постійне оновлення та адаптацію (див. рис. 1). Цей підхід дозволяє забезпечити ефективне управління ризиками та збереження стійкості морських екосистем для майбутніх поколінь.

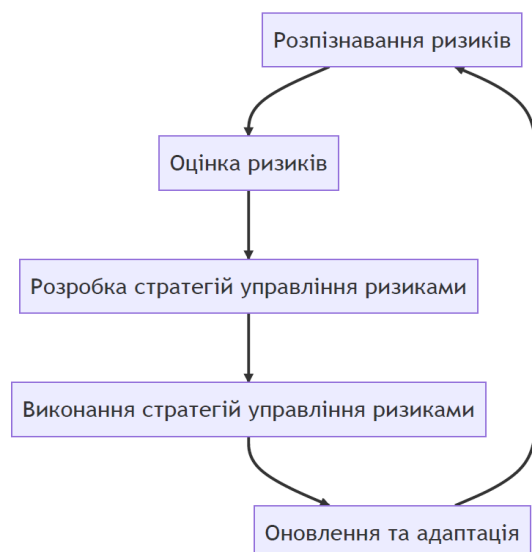


Рис. 1 - Загальна модель управління ризиками
Fig. 1 - General risk management model

Функціональні характеристики концептуальної моделі управління екосистемними ризиками моря, вказані нижче, відображають ключові аспекти її функціонування.

Цілі моделі. Цільова спрямованість моделі полягає в прогнозуванні майбутніх екосистемних ризиків, визначенні ефективних стратегій управління ризиками та наданні підтримки прийняття рішень стосовно вибору оптимальних стратегій управління. Модель допомагає зрозуміти можливі наслідки дій та прийняти обґрунтовані рішення щодо мінімізації ризиків та забезпечення стійкого розвитку морських екосистем.

Використання моделі. Концептуальна модель використовується для аналізу екосистемних ризиків, оцінки ефективності стратегій управління ризиками, моделювання сценаріїв змін у ризиках та розробки нових стратегій управління. Це дозволяє систематично досліджувати взаємозв'язки та наслідки різних варіантів управління ризиками та сприяє розробці науково обґрунтованих рекомендацій та політик управління екосистемними ризиками моря.

Поведінка моделі. Функціональні характеристики моделі відображають певні аспекти її поведінки. Системність позначає те, що модель розглядає морську екосистему як цілісну структуру, урахуваючи взаємозв'язки між її компонентами. Динамічність означає здатність моделі відтворювати часову динаміку екосистемних ризиків з урахуванням змін в середовищі. Проактивність передбачає визначення стратегій для прогнозування та мінімізації потенційних ризиків. Адаптивність моделі проявляється у її здатності адаптуватися до змін умов та нових даних, що забезпечує актуальність та відповідність дійсності.

Ці функціональні характеристики є ключовими для розуміння та використання концептуальної моделі управління екосистемними ризиками моря. Вони сприяють здійсненню ефективного аналізу ризиків, розробці стратегій та прийняттю обґрунтованих рішень для забезпечення стійкого розвитку морських екосистем.

4.2 Класифікація та характеристика екосистемних ризиків моря

Екосистемні ризики моря можуть бути класифіковані за різними критеріями з відповідними характеристиками, а саме:

1. за джерелами загроз:

- антропогенні ризики, пов'язані з людською діяльністю;
- природні ризики, пов'язані з природними процесами та явищами;

2. за просторовим масштабом впливу:

- локальні ризики, що впливають на конкретну морську область або екосистему;
- регіональні та/або глобальні ризики, що впливають на моря або на океани;

3. за часовим масштабом впливу:

- короткострокові ризики, що виявляються швидко, але можуть мати обмежений вплив;
- довгострокові ризики, які можуть бути менш очевидними на початку, але мають значний та тривалий вплив;

4. за рівнем впливу на біорізноманіття:

- генетичний рівень, що включає зменшення генофонду та мутації;
- рівень живого організму, що включає зміни в фізіологічних процесах морських організмів;
- популяційний рівень, що включає зміни в популяції виду;
- видовий рівень, що включає загрозу вимирання виду;
- біоценозний рівень, що включає зміни в структурі та функціонуванні спільноти організмів;
- екосистемний рівень, що включає широкомасштабні зміни в морських екосистемах.

Ця класифікація дозволяє більш детально вивчати та розуміти різноманітність та характер ризиків, що впливають на морські екосистеми.

4.3 Стратегії управління екосистемними ризиками

Існує низка стратегій управління екосистемними ризиками моря, які враховують різноманітні аспекти і вимоги сталого використання морського довкілля.

1. *Морське просторове планування (Marine Spatial Planning, MSP).* Підхід передбачає розробку плану використання морського простору з урахуванням різних видів діяльності та інтересів стейкхолдерів. MSP дозволяє враховувати конфлікти між різними користувачами морського простору (наприклад, рибалки, туризму, виробництва енергії) та забезпечує балансоване управління ресурсами та охорону екосистем [71].

2. *Створення захищених морських областей (Marine Protected Areas, MPA).* MPA - це особливі морські зони, де регулюється або

обмежується людська діяльність з метою збереження морського біорізноманіття та екосистемних процесів [72]. Встановлення МРА допомагає зберегти важливі морські середовища, сприяє відновленню вимерлих або зникаючих видів та підтримує стійке функціонування морських екосистем.

3. *Управління на основі екосистемного підходу (Ecosystem-Based Management, EBM)*. EBM є холістичним підходом до управління морськими екосистемами, де розглядається система в цілому, а не окремі складові частини [73]. Підхід враховує взаємозв'язки між різними видами, процесами та екологічними функціями, сприяє збереженню біорізноманіття, відновленню екосистем та забезпеченню стійкого використання природних ресурсів.

4. *Управління ресурсами*. Підхід включає регулювання використання окремих ресурсів, наприклад, при рибальстві та аквакультурі, контроль незаконного, недекларованого та нерегульованого рибальства, моніторинг стану рибних запасів та впровадження науково обґрунтованих квот та обмежень [74]. Додатково, враховується вплив інших діяльностей, які можуть негативно впливати на морські екосистеми, такі як нафтогазова промисловість та транспорт.

5. *Інтегроване управління прибережними зонами (Integrated Coastal Zone Management, ICZM)*. Цей підхід є холістичним, зосередженим на управлінні територією вздовж прибережних зон, включаючи морські та прибережні екосистеми. ICZM враховує екологічні, соціальні та економічні аспекти, сприяє сталому розвитку, збереженню біорізноманіття та екосистемної резиліентності [75].

6. *Директива ЄС з морської стратегії (Marine Strategy Framework Directive, MSFD)*. Директива є ключовим інструментом для забезпечення сталого розвитку морського середовища в Європейському Союзі [76]. MSFD вимагає від держав-членів розробки і впровадження координованих стратегій для досягнення та збереження доброго екологічного стану своїх морських вод. Цей підхід включає базову оцінку морського середовища, визначення "доброго екологічного стану" та розробку морських стратегій.

7. *"Блакитне зростання" (Blue Growth)*. Підхід, запроваджений Європейським Союзом, що поєднує стале використання морських ресурсів та розвиток морських секторів, таких як енергетика, рибальство, туризм та біотехнології [77]. Основна мета "блакитного зростання"

полягає в стимулюванні економічного розвитку, збереженні морського середовища та забезпеченні стійкості морських екосистем.

Ці стратегії забезпечують комплексний підхід до управління екосистемними ризиками моря, забезпечуючи збалансоване використання морського довкілля, збереження біорізноманіття та стійкий розвиток морських екосистем. Врахування цих підходів допомагає забезпечити належне функціонування морського середовища та збереження його ресурсів для майбутніх поколінь.

Ці стратегії взаємодіють з різними структурними елементами системи управління екосистемними ризиками, включаючи:

1. *ідентифікацію ризиків* - визначення потенційних загроз та визначення їх впливу на морські екосистеми;
2. *моніторинг ризиків* - систематичне спостереження за станом морських екосистем та ідентифікація змін, що можуть впливати на ризики;
3. *оцінку ризиків* - визначення ймовірності та потенційного впливу ризиків на морські екосистеми;
4. *реагування на ризики* - впровадження заходів для зменшення ризиків та мінімізації їх негативного впливу на морські екосистеми;
5. *стратегію відновлення екосистеми* - розробка та реалізація планів відновлення морських екосистем після виникнення ризикових подій;
6. *вплив на біорізноманіття* - збереження та забезпечення біологічного різноманіття в морських екосистемах;
7. *залучення сторін* - врахування думок, потреб та цінностей всіх зацікавлених сторін у процесі управління екосистемними ризиками.

Порівняльний аналіз методів, які використовуються у стратегіях управління екосистемними ризиками, наведено в табл. 2.

Стратегії управління ризиками можуть бути адаптовані до контексту управління екосистемними ризиками шляхом [78-80]:

1. *унікнення ризику* - відмова від діяльності, яка може пошкодити екосистему;
2. *прийняття ризику* - якщо потенційна вигода переважає потенційні екосистемні втрати;
3. *мінімізація ризику* - застосування практик, що зменшують негативний вплив на екосистему.
4. *передача ризику* - страхування або угоди

про поділ ризику з користувачами.

Кожну стратегію управління ризиками слід розглядати з огляду на унікальні обставини, контекст і цінності зацікавлених сторін.

Стратегії управління ризиками можуть бути реалізовані через різні інструменти: MSP, MPA, EBM, управління ресурсами, систему відповідно до вимог Директива ЄС з морської стратегії.

Ці стратегії інтегрують різні підходи до управління екосистемними ризиками, забезпечуючи збереження екосистем та сталість морського середовища.

На діаграмі, представленій на рис. 2, відображені зв'язки між різними підходами до

управління морським довкіллям та стратегіями управління ризиками, які вони використовують. Наприклад, стратегія морського просторового планування може включати ідентифікацію ризиків, моніторинг ризиків та реагування на ризики. Зауважимо, що деякі стратегії можуть використовувати кілька методів управління ризиками одночасно, підкреслюючи комплексний підхід до управління екосистемними ризиками.

Цей комплексний підхід сприяє досягненню сталого управління екосистемними ризиками та збереженню морських екосистем для майбутніх поколінь.

Таблиця 2 – Порівняльний аналіз методів, що використовуються кожним підходом для окремих етапів управління екосистемними ризиками

Table 2 – Comparative analysis of methods used by each approach for individual stages of ecosystem risk management

Підхід	Ідентифікація ризиків	Моніторинг ризиків	Оцінка ризиків	Реагування на ризики	Відновлення екосистеми	Вплив на біорізноманіття	Залучення сторін
Морське просторове планування	SWOT-аналіз, експертні оцінки	Моніторинг стану морського середовища, збір та аналіз даних	Оцінка впливу різних видів діяльності на екосистему	Розробка протоколів та процедур для попередження ризиків	Відновлення природних ресурсів, відновлення біорізноманіття	Збереження біорізноманіття, запобігання втраті видів	Залучення зацікавлених сторін до процесу планування
Створення захищених морських областей	Аналіз біорізноманіття, ідентифікація загроз	Моніторинг стану захищених областей, оцінка ефективності заходів	Оцінка впливу людської діяльності на захищену зону	Розробка та впровадження стратегій збереження та відновлення	Відновлення біорізноманіття, реставрація пошкоджених екосистем	Захист різноманітних видів, збереження природних процесів	Залучення громадськості та зацікавлених організацій до планування
Управління на основі екосистемного підходу	Аналіз екосистемних зв'язків та взаємодій	Моніторинг екосистемних процесів та показників	Оцінка стану екосистеми та визначення ризиків	Розробка та впровадження заходів для збереження та відновлення екосистеми	Відновлення рівноваги та стабільності екосистеми	Збереження біорізноманіття, забезпечення сталого розвитку	Залучення всіх зацікавлених сторін до процесу управління
Управління ресурсами	Моніторинг стану ресурсів, аналіз даних	Моніторинг використання ресурсів, контроль вилову риби	Оцінка стану ресурсів та їх природної продуктивності	Регулювання добового вилову, обмеження діяльності, яка негативно впливає на ресурси	Відновлення природної продуктивності, відновлення рівноваги в рибальських ресурсах	Збереження біорізноманіття, стале використання ресурсів	Залучення стейкхолдерів до процесу управління ресурсами

Таблиця 2 – Продовження

Table 2 – Continued

Підхід	Ідентифікація ризиків	Моніторинг ризиків	Оцінка ризиків	Реагування на ризики	Відновлення екосистеми	Вплив на біорізноманіття	Залучення сторін
Директива ЄС з морської стратегії	Аналіз стану морських вод, ідентифікація проблем	Моніторинг екологічного стану, збір та аналіз даних	Оцінка стану морського середовища, впливу діяльності на екосистему	Розробка та впровадження стратегій збереження та покращення стану морського середовища	Відновлення морського середовища, відновлення біорізноманіття	Збереження різноманітних морських видів, залучення громадськості	Залучення зацікавлених сторін до процесу впровадження директиви
Стратегія "Блакитного зростання"	Аналіз потенціалу морського сектора, ідентифікація можливостей	Моніторинг розвитку морського сектора, аналіз показників	Оцінка економічного впливу морського сектора, стійкості розвитку	Підтримка та стимулювання сталого розвитку морського сектора	Відновлення економічної стійкості та зростання, створення робочих місць	Вплив на зайнятість та економічний розвиток, залучення бізнесу та інновацій	Залучення бізнесу та громадськості до розвитку морського сектора

5. МЕТОДОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО УПРАВЛІННЯ ЕКОСИСТЕМНИМИ РИЗИКАМИ

Загальна модель управління ризиками в морських екосистемах, що наведена вище, надає систематичний та цілеспрямований підхід до забезпечення сталого розвитку та мінімізації впливу природних та антропогенних факторів на ці екосистеми.

Етапи розробки методології управління екосистемними ризиками наведені на рис.3.

Методика управління екосистемними ризиками передбачає:

1. *встановлення цілей*: використовуючи вимоги зацікавлених сторін та наукові індикатори, формулюємо цілі SMART, які охоплюють екосистемні ризики;
2. *ідентифікацію ризиків*: використовуємо наявні дані для виявлення потенційних ризиків;
3. *оцінку ризиків*: застосовуємо математичне моделювання для визначення імовірності та потенційного впливу ризиків;
4. *створення стратегій управління ризиками*: після оцінки ризиків розробляємо стратегії управління, що враховують кожен ризик і можуть включати складові: зниження, передачу, уникнення або прийняття ризику, враховуючи їх вартість, вплив та ефективність;

5. *визначення оптимальної стратегії управління*: застосовуємо оптимізаційні техніки для вибору найкращої стратегії управління кожним ризиком, що може включати аналіз чутливості, моделювання сценаріїв та стохастичне оптимізаційне моделювання.

Ці кроки слугують основою використання концептуальної моделі управління морськими екосистемними ризиками.

Центральна мета управління екосистемними ризиками - забезпечення стійкості морської екосистеми і її відновлення при пошкодженні. Стійкість включає підтримання екосистемних функцій, біологічного різноманіття, послуг екосистеми та стабільності у змінних умовах.

Така стійкість має три аспекти.

1. *Стабільність регіону*. Географічний регіон повинен залишатися стабільним незважаючи на вплив глобальних біогеохімічних циклів.

2. *Збереження біологічного угруповання*. Угруповання, що складається з різних популяцій, повинно зберігати свою чисельність видів.

3. *Стабільність популяцій*. Популяції в угрупованні мають бути стабільними без різких коливань.

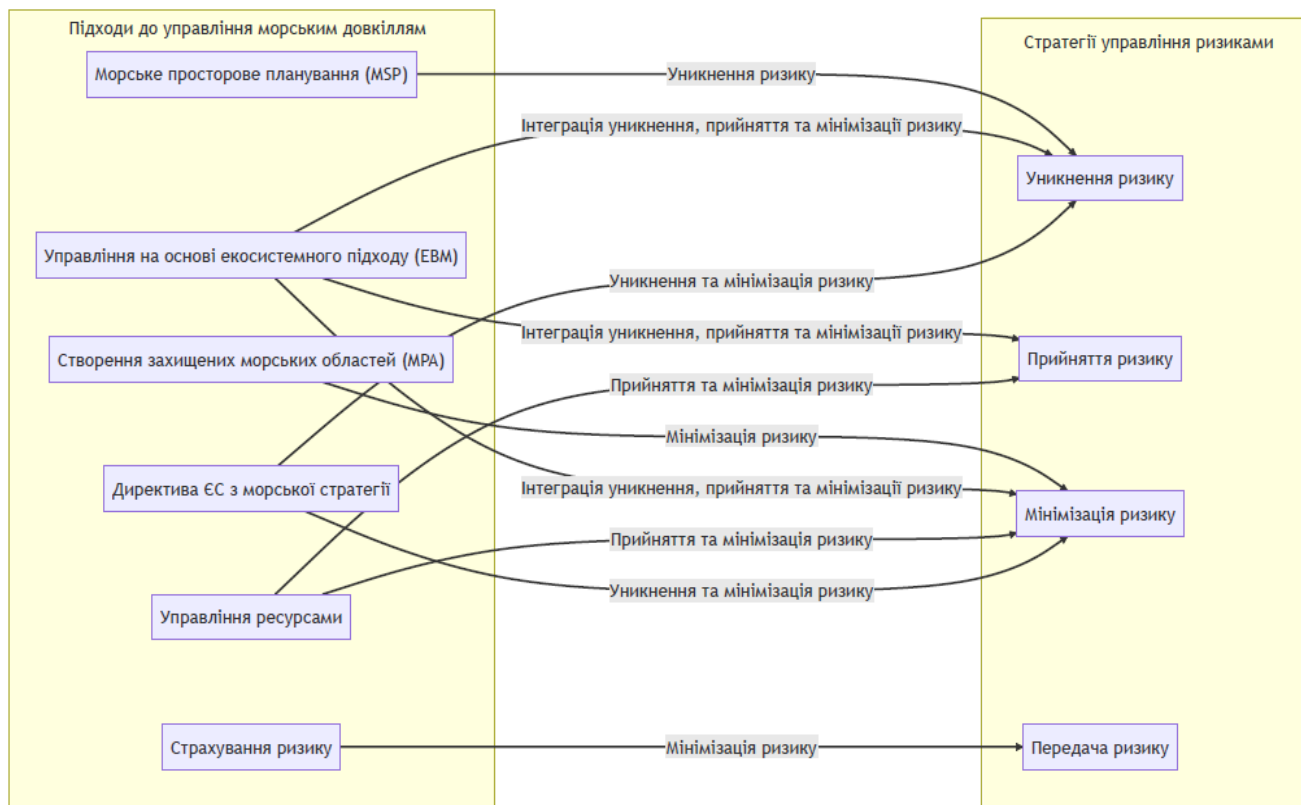


Рис. 2 – Зв'язки між підходами до управління морським довкіллям та стратегіями управління ризиками
 Fig. 2 - Relationships between marine management practices and risk management strategies

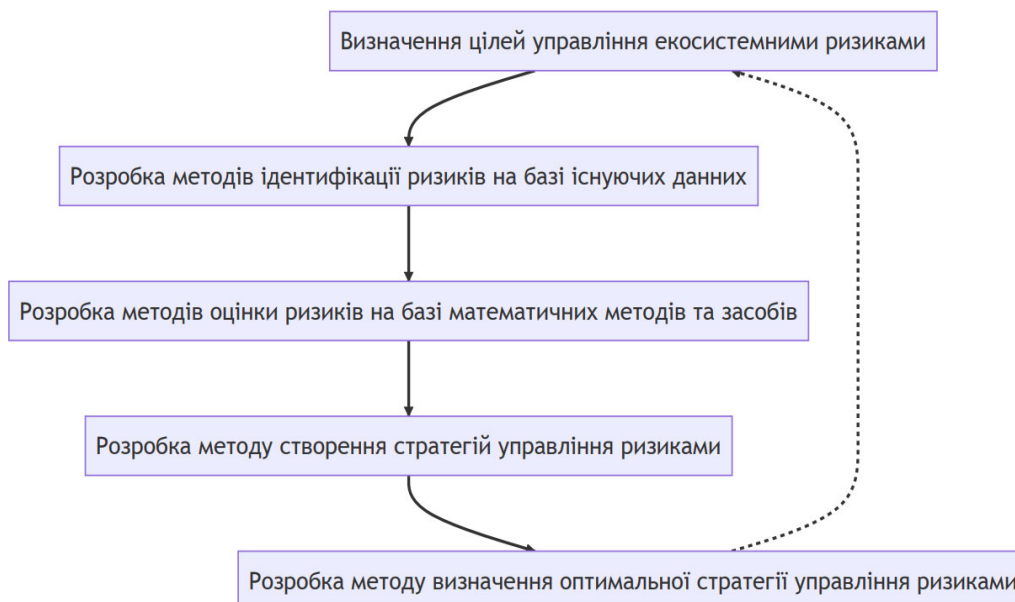


Рис. 3 – Основні етапи розробки методології управління екосистемними ризиками
 Fig. 3 - Key steps in building the ecosystem risk management methodology

При визначенні цілей управління ризиками потрібно враховувати потреби різних суб'єктів, щоб забезпечити баланс між захистом екосистеми та задоволенням потреб суспільства.

Управління екосистемними ризиками має такі цілі.

1. *Збереження біорізноманіття.* Стосується видового складу, генетичної різноманітності та екосистемної структури.

2. *Мінімізація негативного впливу.* Охоплює обмеження забруднення, раціональне використання ресурсів і контроль за хімічними речовинами.

3. *Збереження екосистемних послуг - підтримка послуг, наданих морськими екосистемами, таких як очищення води, регуляція клімату і рекреаційні послуги.*

4. *Стале використання ресурсів - ресурси екосистеми використовуються в межах, які зберігають їх для майбутніх поколінь.*

5. *Захист здоров'я і благополуччя - зменшення ризиків, пов'язаних з морськими екосистемами, що впливають на людей, включаючи контроль якості води і управління ризиками здоров'я морських організмів.*

На етапі ідентифікації ризиків, різні підходи та методи можуть бути використані для виявлення ризику. Ці програми, хоча і мають обмеження, є потужними інструментами для управління екосистемними ризиками. Їх точність та ефективність залежать від якості даних та припущень, які використовуються при моделюванні. Результати повинні бути інтерпретовані обережно і підтверджуватися реальними даними.

Оцінка екосистемних ризиків передбачає створення відповідної математичної моделі, яка враховує цілі оцінки, вразливість екосистеми, фактори впливу, користувачів послуг та інші елементи. Модель включає фізичні, біологічні, хімічні та соціо-економічні процеси екосистеми, параметри вразливості до загроз, а також потреби і можливості управління. Результатом є прогнозування ризиків, оцінка впливу факторів та управління, обґрунтоване прийняття рішень та підтримка стану екосистеми.

Математичне моделювання в екології, починаючи з роботи Р. Мея, використовувало прості інструменти, але з розвитком науки та технологій, стало більш деталізованим [11]. Для

аналізу морських екосистем застосовуються такі математичні та інформаційні методи:

- статистичний аналіз для виявлення тенденцій в характеристиках екосистеми;
- імітаційні моделі для прогнозування реакцій на зміни;
- мережевий аналіз для вивчення екологічних мереж;
- дистанційне зондування для збору даних про екосистеми;
- ГІС для просторового аналізу даних;
- динамічні системи для аналізу складних, змінних систем;
- штучний інтелект та машинне навчання для аналізу великих наборів даних і прогнозування змін;
- бази даних для управління даними про екосистеми.

Процес математичного моделювання, який наведений на рис. 4, дозволяє аналізувати складні взаємодії в морських екосистемах та прогнозувати їхню поведінку в різних умовах. Використання математичних моделей дозволяє покращити розуміння ризиків та екологічних процесів у морських екосистемах і сприяє розробці ефективних стратегій управління для збереження та сталого використання морських ресурсів.

Доступні існуючі програми для використання математичного моделювання при виконанні завдань управління екосистемними ризиками в морі наведені в табл. 3. Ці програми використовують різні підходи та моделі для моделювання динаміки морських екосистем та оцінки впливу людської діяльності та зміни навколишнього середовища [25-70].

Ефективне управління екосистемами, зокрема морськими, потребує впровадження збалансованого підходу, який об'єднує різноманітні методи: від математичного моделювання до збору польових даних і включення відгуків від зацікавлених сторін. У цьому контексті модель AQUATOX є одним з успішних інструментів для аналізу впливу людської діяльності на водні екосистеми, такі як Чорне море [11].

Щодо вивчення стійкості таких екосистем, розгляд стійкості за показниками Ляпунова є найбільш привабливим підходом. Вона базується на математичних моделях екосистем і дозволяє оцінювати, наскільки "хорошою" є модель

біологічного угруповання або екосистеми, і наскільки вона здатна відповідати на питання про стійкість реального угруповання.

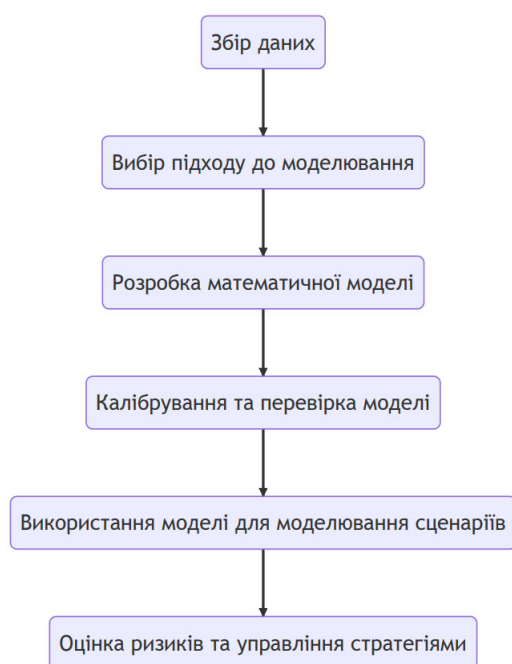


Рис. 4 – Процедура використання математичного моделювання в методології управління екосистемними ризиками моря.

Fig. 4 - Procedure to use mathematical modelling in marine ecosystem risk management methodology

Поняття стійкості за Ляпуновим передбачає, що невелике початкове відхилення в системі з часом не збільшується, а навіть може зменшуватися, що свідчить про асимптотичну стійкість системи. Завдяки аналізу показників Ляпунова, можна отримати важливу інформацію про динаміку системи, включаючи режими, розмірності атратора, і ентропію системи.

Інші форми стійкості, такі як орбітальна стійкість, стійкість по Пуассону, та стійкість по Лагранжу, також важливі, але стійкість за показниками Ляпунова надає найбільш всебічний і точний аналіз для оцінки стійкості морських екосистем.

На рис. 5 представлена блок-схема методу створення стратегій управління ризиками, який містить наступні етапи:

1. Аналіз вразливості: оцінює чутливість морської екосистеми до ризиків, вивчаючи її екологічні процеси та біорізноманіття.

2. Визначення ймовірності ризику: оцінює ймовірність і потенційний вплив ризикових

подій на екосистему за допомогою аналізу даних.

3. Кількісна оцінка: проводить кількісну оцінку ризиків за допомогою статистичних аналізів та математичного моделювання.

4. Мультикритеріальний аналіз: використовує методи прийняття рішень для врахування різних критеріїв ризику.

5. Ймовірно-статистичний аналіз: застосовує статистичні методи і ймовірнісні розрахунки для оцінки ризиків.

6. Моделювання та симуляція: використовує математичні моделі для аналізу ризиків та прогнозування ризикових сценаріїв.

7. Аналіз сценаріїв: розробляє сценарії ризикових подій і їх впливу на екосистему для розробки стратегій реагування.

8. Реагування на ризики: розробка та впровадження стратегій і заходів для мінімізації ризиків.

Таблиця 3 – Існуючі моделі та комп'ютерні програми для моделювання морських екосистем та їх окремих компонент. Моделі та їх опис можливо знайти за наступними посиланнями: [25-70]

Table 3 - Existing models and computer programs for modeling marine ecosystems and their individual components. The models and their descriptions are available from the following references: [25-70]

Основний об'єкт моделювання	Назва моделі/комп'ютерної програми
Гідрофізичні процеси	ADCIRC, CMSWave, Delft3D, EFDC, ELCIRC, FVCOM, MIKE21, MIKE21/3, POM, SELFE, SWAN, TELEMAC, WAM, WAVEWATCH III
Біохімічні процеси	COMF, ERSEM, M3, MSVPA, ROMS
Гідрометеорологічні процеси	Copernicus Marine Service, ECOMSED, GOTM, GROMS, HEM-GOM, ODV
Екосистемні процеси	AQUATOX, APECOSM, Atlantis, Bio-ORACLE, COPEPOD, DEB-IBM, DEB, ECOSMO, Ecopath with Ecosim (EwE) модель, GEMSS, MARES, MAREMIP, MIKE ECO Lab, MIMES, OSMOSE, SEA, SEAMAP, SEAPODYM, SeaBASS, STELLA, MICE

Розглянуті етапи управління ризиками створюють комплексний метод для ідентифікації, оцінки та управління ризиками морських екосистем, мета якого - забезпечити їх стійкість.

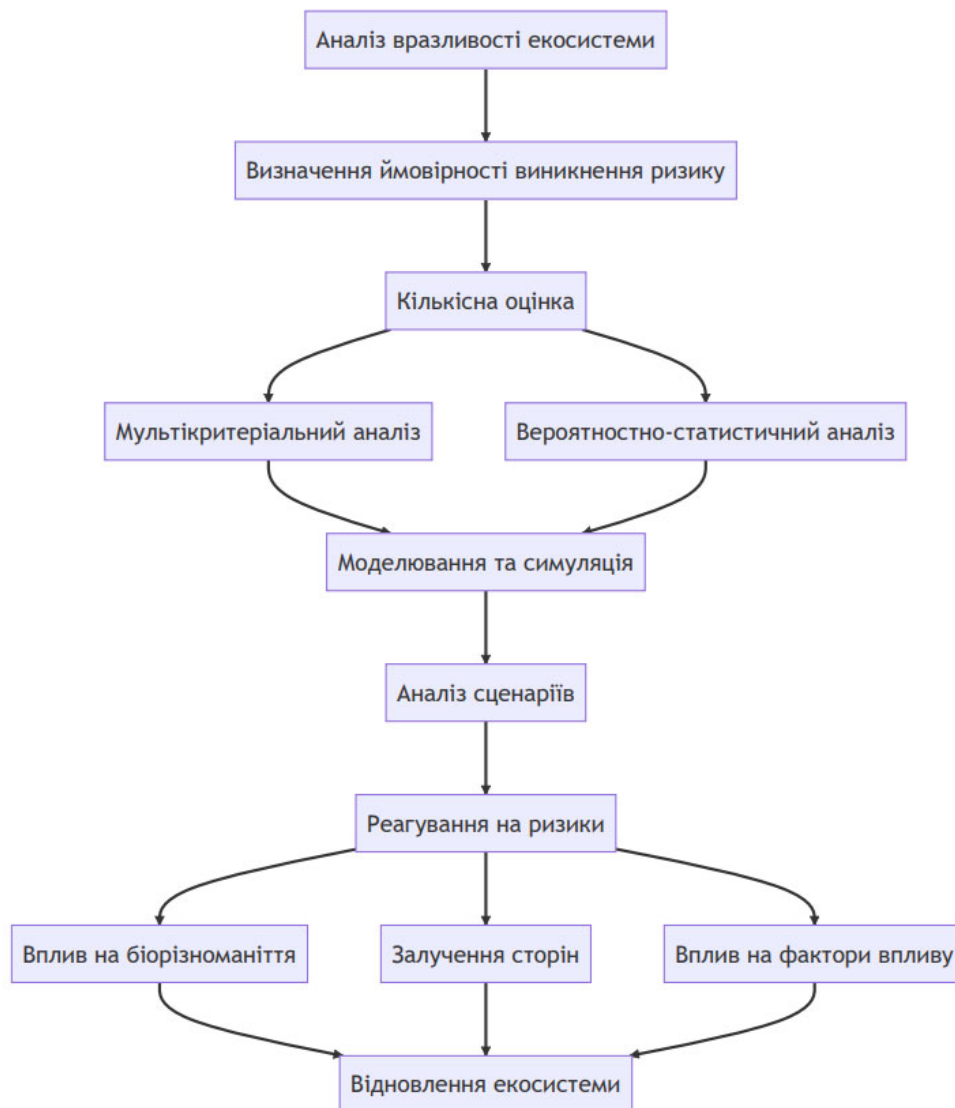


Рис. 5 – Блок-схема поетапного методу створення стратегій управління ризиками
Fig. 5 - Flow chart of a step-by-step approach to the creation of risk management strategies

6. ГІПОТЕЗИ ТА НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ТЕОРІЇ

Екосистема є складною системою, що включає в себе живі організми та їхню взаємодію з неживою природою. Ця взаємодія формує енергетичні потоки, трофічну структуру та кругообіг речовин у системі. Однак, дослідження екосистем стикається зі складнощами через їхню ієрархічність, багатоманітність елементів та складну взаємодію між різними організмами.

Водні екосистеми, зокрема, мають особливості, які ускладнюють системний аналіз.

Вони характеризуються хаотичною динамікою та непередбачуваністю стану. Це означає, що точний стан водних екосистем важко передбачити, особливо з урахуванням слабкої детермінованості та постійної еволюції. Класичні імовірнісні підходи до моделювання не завжди ефективні у водних середовищах, оскільки навіть незначні зміни можуть мати значний вплив на систему.

Для дослідження водних екосистем використовують гіпотезу про взаємодію двох форм просторово-часової організації біоти. Перша форма - це нерівноважний потік, який прагне до рівноваги, а друга форма - це стан

нестійкої рівноваги окремих елементів потоку. Екосистеми можуть еволюціонувати через накопичення нових властивостей біоспільноти, які можна описати диференціальними рівняннями.

Важливим аспектом вивчення екосистем є розуміння впливу антропогенних факторів на систему. Навіть невеликі зовнішні впливи можуть спричинити радикальні зміни в екосистемі. Це може відбуватися через активацію клітинних або генно-молекулярних механізмів, які призводять до змін у структурі та функціонуванні системи. Навіть слабкі зовнішні впливи можуть спричинити біфуркацію - якісну зміну структури системи та вибір нових шляхів розвитку через флуктуації та випадкові обставини.

Для ефективного управління екосистемними ризиками моря пропонується використовувати екосистемний підхід (ЕП). ЕП враховує комплексність екосистем та їхню взаємодію з людьми. Цей підхід спрямований на збереження та стале використання земельних, водних та живих ресурсів у справедливий спосіб. Він визнає, що благополуччя людей залежить від здоров'я і стійкості екосистем.

ЕП також враховує, що екосистеми є динамічними і реагують на різні драйвери та тиск у різних масштабах. Він намагається підтримувати або відновлювати структуру та функції екосистем, враховуючи потреби та цінності всіх зацікавлених сторін. ЕП сприяє міжсекторальній координації та співпраці, а також навчанню та інноваціям. Він підтримує адаптивне управління, участь зацікавлених сторін та отримання знань.

Проте, впровадження ЕП також залежить від доступності та якості даних, розробки адекватних методів оцінки, розробки ефективних механізмів координації та управління, а також вирішення конфліктів та компромісів. Дослідження у цьому напрямку допоможуть розуміти, як ЕП може бути ефективно застосовано в різних контекстах та масштабах, і як воно може сприяти досягненню цілей сталого розвитку.

Теорія управління екосистемними ризиками моря може бути використана для перевірки різних гіпотез шляхом проведення експериментів та досліджень. Ці дослідження включають збір даних, створення моделей,

спостереження за змінами в екосистемах та аналіз впливу різних факторів. Перелічені нижче гіпотези можуть бути перевірені за допомогою таких методів.

1. *Гіпотеза робастності* стверджує, що екосистеми з вищою біологічною різноманітністю мають більшу стійкість до екологічних змін та стресів. Для перевірки цієї гіпотези можна проводити експерименти, досліджувати зміни в екосистемах з різною різноманітністю та аналізувати їх реакцію на зовнішні впливи.

2. *Гіпотеза про забруднення* стверджує, що зменшення рівня забруднення в морях призводить до поліпшення стану морської біоти та зменшення ризику для екосистеми. Щоб перевірити цю гіпотезу, можна здійснювати моніторинг забруднення в морських водах, проводити дослідження залежності між рівнем забруднення та станом екосистеми.

3. *Гіпотеза про вплив кліматичних змін* стверджує, що існує зв'язок між кліматичними змінами, такими як глобальне потепління та підняття рівня моря, та збільшенням екосистемних ризиків в морях. Для перевірки цієї гіпотези можна аналізувати довготривалі зміни в екосистемах та спостерігати їх реакцію на кліматичні фактори.

4. *Гіпотеза про захищені морські зони (ЗМЗ)* стверджує, що збільшення кількості та ефективності ЗМЗ призводить до зменшення екосистемних ризиків моря. Для перевірки цієї гіпотези можна проводити дослідження в захищених морських зонах та порівнювати їх стан з незахищеними ділянками.

5. *Гіпотеза про надмірне риболовство* стверджує, що існує зв'язок між надмірним риболовством та збільшенням екосистемних ризиків моря. Для перевірки цієї гіпотези необхідно досліджувати стан рибних запасів, вивчати зміни в екосистемах після зменшення риболовного тиску та аналізувати взаємозв'язок між риболовством та станом екосистеми.

Перевірка цих гіпотез допоможе встановити наукові основи для управління екосистемними ризиками моря та розробити ефективні стратегії збереження та сталого використання морських ресурсів.

7. ВИСНОВКИ

В роботі сформульовані сучасні теоретично-методологічні основи такого науково-практичного напрямку як створення та функціонування системи управління екосистемними ризиками моря. Для цього було проведено аналіз та оцінка актуальних концепцій та стратегій управління якістю морського середовища.

Після критичного аналізу наукової літератури стало очевидним, що поняття "екосистемний ризик" еволюціонувало від уявлення про екологічні ризики для окремих природних ресурсів та об'єктів до більш широкого розуміння його впливу на загальну структуру та функціонування екосистем. Сучасне визначення "екосистемного ризику" зосереджується на ймовірності та обсязі шкідливого впливу на цілісність та стабільність екосистем, відрізняючись від "екологічного ризику", що акцентується на впливах на окремі елементи екосистем.

Управління екосистемними ризиками моря вимагає комплексного підходу, спрямованого на збереження і стійкість екосистем та забезпечення відповідних екосистемних послуг. З цією метою була розроблена концептуальна модель, яка включає ідентифікацію, оцінку та стратегії управління ризиками, які можуть бути впроваджені на практичному рівні при вирішенні прикладних задач.

Виявлено різні типи екосистемних ризиків, які мають відмінні характеристики за джерелами загроз, масштабами впливу, часовими рамками та рівнями впливу на біорізноманіття. Ці характеристики можуть бути використані для класифікації ризиків та створення бази для їх аналізу та управління в морських екосистемах.

Стратегії управління екосистемними ризиками включають різні підходи до управління морським довкіллям, такі як морське просторове планування, створення захищених морських областей, управління на основі екосистемного підходу, управління ресурсами, Директива ЄС з морської стратегії та "Блакитне зростання". Ці стратегії спрямовані на забезпечення балансу між екологічними викликами та економічними потребами.

Теорія управління екосистемами моря містить різні гіпотези та напрямки розвитку, спрямовані

на врахування хаотичної динаміки та непередбачуваності стану екосистем. Ці гіпотези становлять основу для подальшого дослідження та розвитку теорії управління екосистемними ризиками моря. Вони потребують проведення експериментів, досліджень, моделювання та аналізу даних для перевірки їх обґрунтованості та відповідності реальним умовам.

Виокремлюються декілька ключових перспективних подальших завдань по даному напрямку досліджень:

- розробка і удосконалення інструментарію для ідентифікації та оцінки екосистемних ризиків;
- дослідження складних взаємозв'язків і взаємодій між різними екосистемними ризиками, що може допомогти розробити більш комплексні стратегії управління;
- створення ефективних стратегій управління екосистемними ризиками;
- розробка рекомендацій для удосконалення держаної системи управління якістю морського довкілля;
- підвищення обізнаності та підготовки фахівців, що працюють в природоохоронній галузі;
- інтеграція різних галузей знань, таких як екологія, економіка, соціологія та інші, для більш глибокого розуміння та ефективного управління екосистемними ризиками.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World's Population Increasingly Urban with More Than Half Living in Urban Areas. 2014. <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/world-urbanization-prospects.html> (дата звернення: 15.06.2023)
2. Aven T. Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation. *European Journal of Operational Research*. 2016. 253(1). Pp. 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.12.023>
3. Developing a standardized definition of ecosystem collapse for risk assessment / Bland L. M. et al. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2018. 16(1). Pp. 29-36. <https://doi.org/10.1002/fee.1747>
4. Acceptable Risk / Fischhoff B. et al. Cambridge University Press. 1981. 185 p.
5. Renn O. Risk Governance: Coping with Uncertainty in a Complex World. *Earthscan*. 2008. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6799-0>
6. The Precautionary Principle in the 20th Century: Late

- Lessons from Early Warnings / Harremoës P. et al. *Earthscan*. 288 p.
7. Using ecosystem risk assessment science in ecosystem restoration: a guide to applying the Red List of Ecosystems to ecosystem restoration / Valderrábano M. et al. IUCN Global Ecosystem Management Programme. 2021. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2021.19.en>
 8. Assessing and managing multiple risks in a changing world — The Roskilde recommendations / Suter II G. W. et al. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 2018. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20820.19842>
 9. Changes in the global value of ecosystem services / Costanza R. et al. *Global Environmental Change*. 2014. 26. Pp. 152-158. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002>
 10. Elliott M., Borja Á., & Cormier R. Managing marine resources sustainably: A proposed integrated systems analysis approach. *Ocean & Coastal Management*. 2020. 197. 105315. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105315>
 11. Komorin V. Assessment of the Black sea shelf ecosystem sustainability with mathematical simulation method. *Geographia Technica*. 2021. Vol. 16(2). Pp. 19–28. https://doi.org/10.21163/GT_2021.162.02
 12. Justus J. Ecological and Lyapunov Stability. *Philosophy of Science*. 2008. 75(4). Pp. 421-436. <https://doi.org/10.1086/595836>
 13. Maxim L., Spangenberg J. H. & O'Connor M. An analysis of risks for biodiversity under the DPSIR framework. *Ecological Economics*. 2009. 69(1). Pp. 12-23. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.03.017>
 14. Rapport D. J., Costanza R. & McMichael A. J. Assessing ecosystem health. *Trends in Ecology & Evolution*. 1998. 13(10). Pp. 397-402. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(98\)01449-9](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(98)01449-9)
 15. National Pilot Monitoring Studies and Joint Open Sea Surveys in Georgia, Russian Federation and Ukraine, 2016: Final Scientific Report / J. Slobodnik, B. Alexandrov, V. Komorin et al. Dnipro: Seredniak T.K., 2020. URL: https://emblasproject.org/wp-content/uploads/2022/03/EMBLAS-II_NPMS_JOSS_2016_ScReport_ISBN-978-617-7953-60-8-2.pdf
 16. 12-Months National Pilot Monitoring Studies in Georgia, Russian Federation and Ukraine, 2016-2017: Final Scientific Report / J. Slobodnik, V. Medinets, B. Alexandrov, V. Komorin, et al. Dnipro: Seredniak T.K., 2020. URL: https://emblasproject.org/wp-content/uploads/2022/03/EMBLAS-II_NPMS_12_months-2016_2017_ISBN-978-617-7953-58-5.pdf
 17. National Pilot Monitoring Studies and Joint Open Sea Surveys in Georgia, Russian Federation and Ukraine, 2017: Final Scientific Report / J. Slobodnik, B. Alexandrov, V. Komorin, A. Mikaelyan, et al. Dnipro: Seredniak T.K., 2020. URL: https://emblasproject.org/wp-content/uploads/2022/03/EMBLAS-II_NPMS_JOSS_2017_ScReport_ISBN-978-617-7953-62-2.pdf
 18. De Groot R.S. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity*. 2010. Vol. 7. Pp. 260-272
 19. Edward B. Barbier. Marine ecosystem services. *Current Biology*. 2017. Vol. 27, issue 11, 5 June 2017. Pp. R507-R510
 20. Current Status and Future Prospects for the Assessment of Marine and Coastal Ecosystem Services: A Systematic Review / Liqueste C. et al. *Review of Marine and Coastal Ecosystem Services*. 2013. Vol. 8, is. 7. P. 15.
 21. An indicator framework for assessing ecosystem services in support of the EU Biodiversity Strategy to 2020 / Maes J. et al. *Ecosystem Services*. 2016. 17. Pp. 14-23. URL: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0. – 10.09.2018>
 22. Odum Eugene P. Fundamentals of ecology. Philadelphia: W. B. Saunders Company, 1953. 383 p.
 23. Marine environmental vulnerability and cumulative risk profiles to support ecosystem-based adaptive maritime spatial planning / Aps R. et al. *ICES Journal of Marine Science*. 2018. 75(7). Pp. 2488-2500. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsy101>
 24. Adaptive marine conservation planning in the face of climate change: What can we learn from physiological, ecological and genetic studies? / *Global Ecology and Conservation*. 2019. 17. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00566>
 25. ADCIRC. URL: <https://adcirc.org/> (дата звернення: 15.06.2023)
 26. APECOSM. URL: <https://apecosm.org/> (дата звернення: 15.06.2023)
 27. AQUATOX. United States Environmental Protection Agency. URL: <https://www.epa.gov/ceam/aquatox> (дата звернення: 15.06.2023)
 28. Atlantis. CSIRO. URL: <https://research.csiro.au/atlantis/> (дата звернення: 15.06.2023)
 29. Bio-ORACLE. URL: <https://bio-oracle.org/> (дата звернення: 15.06.2023)
 30. CMS-Wave. Aquaveo. URL: <https://www.aquaveo.com/software/sms-cms-wave> (дата звернення: 15.06.2023)
 31. COPEPOD. NOAA Fisheries. URL: <https://www.st.nmfs.noaa.gov/copepod/> (дата звернення: 15.06.2023)
 32. Copernicus Marine Environment Monitoring Service. URL: <https://marine.copernicus.eu> (дата звернення: 15.06.2023)
 33. COMF. British Oceanographic Data Centre. URL: https://www.bodc.ac.uk/projects/data_management/comf/ (дата звернення: 15.06.2023)
 34. COMSOL Multiphysics® Software. COMSOL Inc... URL: <https://www.comsol.com/> (дата звернення: 15.06.2023)
 35. DEB-IBM. DEB Theory Wiki. URL: <http://www.debtheory.org/wiki/index.php?title=DEB-IBM> (дата звернення: 15.06.2023)
 36. Delft3D Flexible Mesh Suite (Delft3D FM). Deltares. URL: <https://www.deltares.nl/en/software/delft3d-flexible-mesh-suite/> (дата звернення: 15.06.2023)
 37. DEB Theory Wiki Main Page. DEB Theory Wiki. URL: http://www.debtheory.org/wiki/index.php?title=Main_Page (дата звернення: 15.06.2023)
 38. ECOMSED Model System for Estuaries and Coastal Watersheds. URL: <http://ecomsed.org/> (дата звернення: 15.06.2023)
 39. Ecorpath with Ecosim - EwE. URL: <http://ecopath.org/> (дата звернення: 15.06.2023)
 40. ECOSMO Model System for Estuaries and Coastal Watersheds. Southern California Coastal Water Research

- Project Authority. URL: <http://www.sccwrp.org/ecosmo-model/> (дата звернення: 15.06.2023)
41. Environmental Fluid Dynamics Code (EFDC). United States Environmental Protection Agency. URL: <https://www.epa.gov/exposure-assessment-models/environmental-fluid-dynamics-code-efdc> (дата звернення: 15.06.2023)
 42. Using 2D Models for Tidal Current Forecasting . Hydro International. URL: <https://hydro-international.com/content/article/using-2d-models-for-tidal-current-forecasting> (дата звернення: 15.06.2023)
 43. ERSEM: European Regional Seas Ecosystem Model. URL: <http://ecomarres.com/downloads/ERSEM.pdf> (дата звернення: 15.06.2023)
 44. FVCOM: Finite Volume Community Ocean Model. URL: <http://fvcom.smast.umassd.edu/> (дата звернення: 15.06.2023)
 45. GEMSS: Global Earth-system Management and Sustainability System. URL: <http://earthsystemgovernance.org/gemss/> (дата звернення: 15.06.2023)
 46. GOTM: General Ocean Turbulence Model. URL: <http://gotm.net/> (дата звернення: 15.06.2023)
 47. GROMS: Global Register of Migratory Species. URL: <http://groms.eu/> (дата звернення: 15.06.2023)
 48. M3: Modular Ocean Model 3. URL: <http://m3.soest.hawaii.edu/> (дата звернення: 15.06.2023)
 49. MARES: Marine Ecosystem Health and Conservation. URL: <http://mares-eu.org/> (дата звернення: 15.06.2023)
 50. MareMIP: Marine Ecosystem Model Intercomparison Project. URL: <http://www.maremip.eu/> (дата звернення: 15.06.2023)
 51. MATLAB® Software . MathWorks® Software . URL: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html> (дата звернення: 15.06.2023)
 52. MICE: Models of Intermediate Complexity for Ecosystem assessments. Available at: <https://research.csiro.au/mice/> (Accessed 15.06.2023)
 53. MIKE 21. DHI. URL: <https://www.dhigroup.com/marine-water/software/mike-21> (дата звернення: 15.06.2023)
 54. MIKE 3. DHI. URL: <https://www.dhigroup.com/marine-water/software/mike-21-3> (дата звернення: 15.06.2023)
 55. MIKE ECO Lab. DHI. URL: <https://www.dhigroup.com/marine-water/software/mike-eco-lab> (дата звернення: 15.06.2023)
 56. MIMES: Multiscale Integrated Models of Ecosystem Services. URL: <http://mimesproject.org/> (дата звернення: 15.06.2023)
 57. MIKE ECO. URL: <https://www.dhigroup.com/marine-water/software/mike-eco-lab> (дата звернення: 15.06.2023)
 58. Ocean Data View (ODV). Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research. URL: <https://odv.awi.de/> (дата звернення: 15.06.2023)
 59. OSMOSE: Object-oriented Simulator of Marine ecosystems Exploitation . European Commission Joint Research Centre. URL: <https://ec.europa.eu/jrc/en/osmose> (дата звернення: 15.06.2023)
 60. ROMS: Regional Ocean Modeling System. URL: <https://www.myroms.org/> (дата звернення: 15.06.2023)
 61. SBEACH: Storm-induced BEACH CHange Model. U.S Army Engineer Research and Development Center. URL: <https://chl.erdc.dren.mil/sbeach/> (дата звернення: 15.06.2023)
 62. SEAPODYM: Spatial Ecosystem And Population Dynamics Model. NOAA Fisheries Southwest Fisheries Science Center. URL: <https://swfsc.noaa.gov/textblock.aspx?Division=FED&ParentMenuId=215&id=2065> (дата звернення: 15.06.2023)
 63. SEAPODYM: Spatial Ecosystem And Population Dynamics Model. URL: <https://seapodym.github.io/> (дата звернення: 15.06.2023)
 64. SeaBASS: SeaWiFS Bio-optical Archive and Storage System . NASA Goddard Space Flight Center. URL: <https://seabass.gsfc.nasa.gov/> (дата звернення: 15.06.2023)
 65. SELFE: Semi-implicit Eulerian-Lagrangian Finite Element model for cross-scale ocean circulation. URL: <https://sourceforge.net/projects/selfe/> (дата звернення: 15.06.2023)
 66. STELLA® Professional Software isee systems inc... URL: <https://www.iseesystems.com/store/products/stella-professional.aspx> (дата звернення: 15.06.2023)
 67. SWAN: Simulating WAVes Nearshore Model. URL: <http://swanmodel.sourceforge.net/> (дата звернення: 15.06.2023)
 68. TELEMAC-MASCARET System. URL: <http://www.opentelemac.org/> (дата звернення: 15.06.2023)
 69. WAVEWATCH Model System . NOAA National Centers for Environmental Prediction Environmental Modeling Center Marine Modeling and Analysis Branch. URL: <http://polar.ncep.noaa.gov/waves/wavewatch/> (дата звернення: 15.06.2023)
 70. WAVEWATCH III® Model System. NOAA National Centers for Environmental Prediction Environmental Modeling Center Marine Modeling and Analysis Branch. URL: <http://polar.ncep.noaa.gov/waves/wavewatch/> (дата звернення: 15.06.2023)
 71. Marine Spatial Planning. MSPGLOBAL2030. URL: <https://www.mspglobal2030.org/wp-content/uploads/2020/04/Marine-Spatial-Planning-1.pdf> (дата звернення: 15.06.2023)
 72. Humphreys J., Clark R. W. E. A critical history of marine protected areas. In Science, Policy and Management. *Elsevier*. 2020. Pp. 1-12. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102698-4.00001-0>
 73. Ecosystem-based approach. The European Maritime Spatial Planning Platform. URL: <https://maritime-spatial-planning.ec.europa.eu/faq/ecosystem-based-approach>
 74. Levine A., Lopez-Carr D. Marine resource management: Culture, livelihoods, and governance. *Applied Geography*. 2015. Pp. 56-59. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.01.016>
 75. Botero C. M., Milanés C. B., Robledo S. 50 years of the Coastal Zone Management Act: The bibliometric influence of the first coastal management law on the world. *Marine Policy*. 2023. 150. 105548. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2023.105548>
 76. Directive 2008/56/EC of the European Parliament and of the Council of 17 June 2008 establishing a framework for community action in the field of marine environmental policy (Marine Strategy Framework Directive) (Text with EEA relevance). *Official Journal of the European Union*. L 164. Pp. 19-40. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32008L0056> (дата

звернення: 15.06.2023)

77. From blue growth to sustainable blue economy: a new approach for the EU. *Interreg Europe*. 2021. URL: <https://interregeurope.eu/policy-learning-platform/news/from-blue-growth-to-sustainable-blue-economy-a-new-approach-for-the-eu/>
78. Consistent Risk Management in a Changing World: Risk Equivalence in Fisheries and Other Human Activities Affecting Marine Resources and Ecosystems / Roux M. J., Duplisea D. E., Hunter K. L., Rice J. *Frontiers in Climate*. 2022. # 3. <https://doi.org/10.3389/fclim.2021.781559>
79. Mynott F., Lonsdale J., Stamford T. Developing an Ecological Risk Assessment to Effectively Manage Marine Resources in Data-Limited Locations: A Case Study for St Helena Sand Extraction. *Frontiers in Marine Science*. 2021. #8. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.645225>
80. Evaluation of ecosystem-based marine management strategies based on risk assessment / Borja A., Elliott M., Andersen J. H., Berg T. et al. *Biological Conservation*. 2016. #200. Pp. 448-459. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.06.012>

REFERENCES

1. *United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2014). World's Population Increasingly Urban with More Than Half Living in Urban Areas.* Available at: <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/world-urbanization-prospects.html> (Accessed 15.06.2023)
2. Aven, T. (2016). Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation. *European Journal of Operational Research*, 253(1), pp. 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.12.023>
3. Bland, L.M. et al. (2018b). Developing a standardized definition of ecosystem collapse for risk assessment. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 16(1), pp. 29-36. <https://doi.org/10.1002/fee.1747>
4. Fischhoff, B. et al. (1981). *Acceptable Risk*. Cambridge University Press.
5. Renn, O. (2008). *Risk Governance: Coping with Uncertainty in a Complex World*. Earthscan. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6799-0>
6. Harremoës, P. et al. (2002). *The Precautionary Principle in the 20th Century: Late Lessons from Early Warnings*. Earthscan.
7. Valderrábano, M. et al. (2021). *Using ecosystem risk assessment science in ecosystem restoration: a guide to applying the Red List of Ecosystems to ecosystem restoration*. IUCN Global Ecosystem Management Programme. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2021.19.en>
8. Suter II, G.W. et al. (2018). Assessing and managing multiple risks in a changing world — The Roskilde recommendations. *Environmental Toxicology and Chemistry*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20820.19842>
9. Costanza, R. de Groot et al. (2014). Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 26, pp. 152-158. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002>
10. Elliott, M., Borja, Á., & Cormier, R. (2020). Managing marine resources sustainably: A proposed integrated systems analysis approach. *Ocean & Coastal Management*, 197, 105315. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105315>
11. Komorin, V. (2021). Assessment of the Black sea shelf ecosystem sustainability with mathematical simulation method. *Geographia Technica*, 16(2), pp. 19–28. https://doi.org/10.21163/GT_2021.162.02
12. Justus, J. (2008). Ecological and Lyapunov Stability. *Philosophy of Science*, 75(4), pp. 421-436. <https://doi.org/10.1086/595836>
13. Maxim, L., Spangenberg, J.H., & O'Connor, M. (2009). An analysis of risks for biodiversity under the DPSIR framework. *Ecological Economics*, 69(1), pp. 12-23. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.03.017>
14. Rapport, D.J., Costanza, R., & McMichael, A.J. (1998). Assessing ecosystem health. *Trends in Ecology & Evolution*, 13(10), pp. 397-402. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(98\)01449-9](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(98)01449-9)
15. Slobodnik, J. et al. (2020). National Pilot Monitoring Studies and Joint Open Sea Surveys in Georgia, Russian Federation and Ukraine, 2016: Final Scientific Report. Dnipro: Seredniak T.K. Available at: https://emblasproject.org/wp-content/uploads/2022/03/EMBLAS-II_NPMS_JOSS_2016_ScReport_ISBN-978-617-7953-60-8-2.pdf
16. Slobodnik, J. et al. (2020). 12-Months National Pilot Monitoring Studies in Georgia, Russian Federation and Ukraine, 2016-2017: Final Scientific Report. Dnipro: Seredniak T.K. Available at: https://emblasproject.org/wp-content/uploads/2022/03/EMBLAS-II_NPMS_12_months-2016_2017_ISBN-978-617-7953-58-5.pdf
17. Slobodnik J. et al. (2020). National Pilot Monitoring Studies and Joint Open Sea Surveys in Georgia, Russian Federation and Ukraine, 2017: Final Scientific Report. Dnipro: Seredniak T.K. Available at: https://emblasproject.org/wp-content/uploads/2022/03/EMBLAS-II_NPMS_JOSS_2017_ScReport_ISBN-978-617-7953-62-2.pdf
18. De Groot, R.S. (2010). Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity*, 7, pp. 260-272. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2009.10.006>
19. Edward, B. Barbier. (2017). Marine ecosystem services. *Current Biology*, 27(11), 5 June 2017, pp. R507-R510
20. Liqueste, C. et al. (2013). Current Status and Future Prospects for the Assessment of Marine and Coastal Ecosystem Services: A Systematic Review. *Review of Marine and Coastal Ecosystem Services*, July 2013, 8(7).
21. Maes, J. et al. (2016). An indicator framework for assessing ecosystem services in support of the EU Biodiversity Strategy to 2020. *Ecosystem Services*, 17, pp. 14-23. Available at: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> – 10.09.2018
22. Odum, Eugene P. (1953). *Fundamentals of ecology*. Philadelphia: W. B. Saunders Company.
23. Aps, R. et al. (2018). Marine environmental vulnerability and cumulative risk profiles to support ecosystem-based adaptive maritime spatial planning. *ICES Journal of*

- Marine Science*, 75(7), pp. 2488-2500. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsy101>
24. Rilov, G. et al. (2019). Adaptive marine conservation planning in the face of climate change: What can we learn from physiological, ecological and genetic studies?. *Global Ecology and Conservation*, 17, e00566. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00566>
 25. ADCIRC. Available at: <https://adcirc.org/> (Accessed 15.06.2023)
 26. APECOSM. Available at: <https://apecosm.org/> (Accessed 15.06.2023)
 27. AQUATOX. United States Environmental Protection Agency. Available at: <https://www.epa.gov/ceam/aquatox> (Accessed 15.06.2023)
 28. Atlantis. CSIRO. Available at: <https://research.csiro.au/atlantis/> (Accessed 15.06.2023)
 29. Bio-ORACLE. Available at: <https://bio-oracle.org/> (Accessed 15.06.2023)
 30. CMS-Wave. Aquaveo. Available at: <https://www.aquaveo.com/software/sms-cms-wave> (Accessed 15.06.2023)
 31. COPEPOD. NOAA Fisheries. Available at: <https://www.st.nmfs.noaa.gov/copepod/> (Accessed 15.06.2023)
 32. Copernicus Marine Environment Monitoring Service. Available at: <https://marine.copernicus.eu> (Accessed 15.06.2023)
 33. COMF. British Oceanographic Data Centre. Available at: https://www.bodc.ac.uk/projects/data_management/comf/ (Accessed 15.06.2023)
 34. COMSOL Multiphysics® Software. COMSOL Inc... Available at: <https://www.comsol.com/> (Accessed 15.06.2023)
 35. DEB-IBM. DEB Theory Wiki. Available at: <http://www.debtheory.org/wiki/index.php?title=DEB-IBM> (Accessed 15.06.2023)
 36. Delft3D Flexible Mesh Suite (Delft3D FM). Deltares. Available at: <https://www.deltares.nl/en/software/delft3d-flexible-mesh-suite/> (Accessed 15.06.2023)
 37. DEB Theory Wiki Main Page. DEB Theory Wiki. Available at: http://www.debtheory.org/wiki/index.php?title=Main_Page (Accessed 15.06.2023)
 38. ECOMSED Model System for Estuaries and Coastal Watersheds. Available at: <http://ecomsed.org/> (Accessed 15.06.2023)
 39. Ecopath with Ecosim - EwE. Available at: <http://ecopath.org/> (Accessed 15.06.2023)
 40. ECOSMO Model System for Estuaries and Coastal Watersheds. Southern California Coastal Water Research Project Authority. Available at: <http://www.sccwrp.org/ecosmo-model/> (Accessed 15.06.2023)
 41. Environmental Fluid Dynamics Code (EFDC). United States Environmental Protection Agency. Available at: <https://www.epa.gov/exposure-assessment-models/environmental-fluid-dynamics-code-efdc> (Accessed 15.06.2023)
 42. Using 2D Models for Tidal Current Forecasting. Hydro International. Available at: <https://hydro-international.com/content/article/using-2d-models-for-tidal-current-forecasting> (Accessed 15.06.2023)
 43. ERSEM: European Regional Seas Ecosystem Model. Available at: <http://ecomarres.com/downloads/ERSEM.pdf> (Accessed 15.06.2023)
 44. FVCOM: Finite Volume Community Ocean Model. Available at: <http://fvcom.smast.umassd.edu/> (Accessed 15.06.2023)
 45. GEMSS: Global Earth-system Management and Sustainability System. Available at: <http://earthsystemgovernance.org/gemss/> (Accessed 15.06.2023)
 46. GOTM: General Ocean Turbulence Model. Available at: <http://gotm.net/> (Accessed 15.06.2023)
 47. GROMS: Global Register of Migratory Species. Available at: <http://groms.eu/> (Accessed 15.06.2023)
 48. M3: Modular Ocean Model 3. Available at: <http://m3.soest.hawaii.edu/> (Accessed 15.06.2023)
 49. MARES: Marine Ecosystem Health and Conservation. Available at: <http://mares-eu.org/> (Accessed 15.06.2023)
 50. MareMIP: Marine Ecosystem Model Intercomparison Project. Available at: <http://www.maremip.eu/> (Accessed 15.06.2023)
 51. MATLAB® Software. MathWorks® Software. Available at: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html> (Accessed 15.06.2023)
 52. MICE: Models of Intermediate Complexity for Ecosystem assessments. Available at: <https://research.csiro.au/mice/> (Accessed 15.06.2023)
 53. MIKE 21. DHI. Available at: <https://www.dhigroup.com/marine-water/software/mike-21> (Accessed 15.06.2023)
 54. MIKE 3. DHI. Available at: <https://www.dhigroup.com/marine-water/software/mike-21-3> (Accessed 15.06.2023)
 55. MIKE ECO Lab. DHI. Available at: <https://www.dhigroup.com/marine-water/software/mike-eco-lab> (Accessed 15.06.2023)
 56. MIMES: Multiscale Integrated Models of Ecosystem Services. Available at: <http://mimesproject.org/> (Accessed 15.06.2023)
 57. MIKE ECO. Available at: <https://www.dhigroup.com/marine-water/software/mike-eco-lab> (дата звернення: 15.06.2023) (Accessed 15.06.2023)
 58. Ocean Data View (ODV). Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research. Available at: <https://odv.awi.de/> (Accessed 15.06.2023)
 59. OSMOSE: Object-oriented Simulator of Marine ecOSystems Exploitation. European Commission Joint Research Centre. Available at: <https://ec.europa.eu/jrc/en/osmose> (Accessed 15.06.2023)
 60. ROMS: Regional Ocean Modeling System. Available at: <https://www.myroms.org/> (Accessed 15.06.2023)
 61. SBEACH: Storm-induced BEAch CHange Model. U.S Army Engineer Research and Development Center. Available at: <https://chl.erdrc.dren.mil/sbeach/> (Accessed 15.06.2023)
 62. SEAPODYM: Spatial Ecosystem And Population Dynamics Model. NOAA Fisheries Southwest Fisheries Science Center. Available at: <https://swfsc.noaa.gov/textblock.aspx?Division=FED&ParentMenuId=215&id=2065> (Accessed 15.06.2023)
 63. SEAPODYM: Spatial Ecosystem And Population Dynamics Model. Available at:

- <https://seapodym.github.io/> (Accessed 15.06.2023)
64. *SeaBASS: SeaWiFS Bio-optical Archive and Storage System*. NASA Goddard Space Flight Center. Available at: <https://seabass.gsfc.nasa.gov/> (Accessed 15.06.2023)
 65. *SELF: Semi-implicit Eulerian-Lagrangian Finite Element model for cross-scale ocean circulation*. Available at: <https://sourceforge.net/projects/self/> (Accessed 15.06.2023)
 66. *STELLA® Professional Software isee systems inc...* Available at: <https://www.iseesystems.com/store/products/stella-professional.aspx> (Accessed 15.06.2023)
 67. *SWAN: Simulating Waves Nearshore Model*. Available at: <http://swanmodel.sourceforge.net/> (Accessed 15.06.2023)
 68. *TELEMAC-MASCARET System*. Available at: <http://www.opentelemac.org/> (Accessed 15.06.2023)
 69. *WAVEWATCH Model System*. NOAA National Centers for Environmental Prediction Environmental Modeling Center Marine Modeling and Analysis Branch. Available at: <http://polar.ncep.noaa.gov/waves/wavewatch/> (Accessed 15.06.2023)
 70. *WAVEWATCH III® Model System*. NOAA National Centers for Environmental Prediction Environmental Modeling Center Marine Modeling and Analysis Branch. Available at: <http://polar.ncep.noaa.gov/waves/wavewatch/> (Accessed 15.06.2023)
 71. *Marine Spatial Planning. MSPGLOBAL2030*. Available at: <https://www.mspglobal2030.org/wp-content/uploads/2020/04/Marine-Spatial-Planning-1.pdf> (Accessed 15.06.2023)
 72. Humphreys, J. & Clark, R.W.E. (2020). A critical history of marine protected areas. In *Science, Policy and Management*. Elsevier, pp. 1-12. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102698-4.00001-0>
 73. *Ecosystem-based approach. The European Maritime Spatial Planning Platform*. URL: <https://maritime-spatial-planning.ec.europa.eu/faq/ecosystem-based-approach>
 74. Levine, A., & Lopez-Carr, D. (2015). Marine resource management: Culture, livelihoods, and governance. *Applied Geography*, 59, pp. 56-59. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.01.016>
 75. Botero, C.M., Milanes, C.B., & Robledo, S. (2023). 50 years of the Coastal Zone Management Act: The bibliometric influence of the first coastal management law on the world. *Marine Policy*, 150, 105548. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2023.105548>
 76. Directive 2008/56/EC of the European Parliament and of the Council of 17 June 2008 establishing a framework for community action in the field of marine environmental policy (Marine Strategy Framework Directive) (Text with EEA relevance). *Official Journal of the European Union*, L 164, pp. 19-40. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32008L0056> (Accessed 15.06.2023)
 77. *From blue growth to sustainable blue economy: a new approach for the EU. (2021, June 15)*. Interreg Europe. Available at: <https://interregeurope.eu/policy-learning-platform/news/from-blue-growth-to-sustainable-blue-economy-a-new-approach-for-the-eu/>
 78. Roux, M.J., Duplisea, D.E., Hunter, K.L., & Rice, J. (2022). Consistent Risk Management in a Changing World: Risk Equivalence in Fisheries and Other Human Activities Affecting Marine Resources and Ecosystems. *Frontiers in Climate*, 3, <https://doi.org/10.3389/fclim.2021.781559>
 79. Mynott, F., Lonsdale, J., & Stamford, T. (2021). Developing an Ecological Risk Assessment to Effectively Manage Marine Resources in Data-Limited Locations: A Case Study for St Helena Sand Extraction. *Frontiers in Marine Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.645225>
 80. Borja, A., et al. (2016). Evaluation of ecosystem-based marine management strategies based on risk assessment. *Biological Conservation*, 200, pp. 448-459. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.06.012>

THEORETICAL AND METHODOLOGICAL ASPECTS OF SEA ECOSYSTEM RISKS MANAGEMENT

V. M. Komorin

*SRO "Ukrainian Scientific Center of Ecology of the sea"
French Boulevard, 89, 65009, Odesa, Ukraine, vkomorin@gmail.com*

In the context of worsening anthropogenic impact, climate change and natural disasters, the problem of managing the sea areas' ecosystem risks is becoming quite important. This research aims at exploring the modern theoretical and methodological aspects of the aforesaid scientific orientation and focuses on the analysis and evaluation of existing concepts and strategies.

The article analyses main terms and principles and also presents a conceptual model for managing the sea ecosystem risks that plays a key role in reflecting the main theoretical components and their interrelationships. The model contributes to a better understanding of the structure and characteristics of this theory, emphasizing the complexity of interactions between

socio-economic systems and marine ecosystems, as well as the risks arising from such interactions. The main elements of the model include natural and anthropogenic factors and consider their impact on the state of marine ecosystems and the risks associated therewith. The model also focuses on well-being, ecosystem stability and biodiversity, i.e. the parameters determining the status and functionality of marine ecosystems.

The research presents a comparative analysis of various methodologies and strategies of ecosystem risks management. The analysis allowed identification of the most effective of them at certain stages of creating an optimum strategy for managing the ecosystem risks. Risk management strategies can be implemented using a variety of tools, such as marine spatial planning, creation of marine protected areas, basic ecosystem management, resource management, and a marine environmental quality management system developed in accordance with the requirements of the EU Marine Strategy Directive. These strategies integrate different approaches to managing the ecosystem risks and contribute to conservation of ecosystems ensuring the marine environment stability.

The work made it possible to open up the prospects for further scientific research, namely development of hypotheses in order to increase theoretical knowledge and develop practical recommendations in the field of management of water areas' ecosystem risks.

The conclusions of the research are aimed at creating a theoretical and methodological base that will contribute to analyzing and developing effective strategies for managing the water areas' ecosystem risks.

Keywords: ecosystem risks; risk management; water areas; environmental socio-economic systems; sustainability of marine ecosystems; conceptual model; management strategies.

Подання до редакції : 18. 06. 2023

Надходження остаточної версії : 21. 06. 2023

Публікація статті : 29. 06. 2023

УДК 504

КОРИСНІ ВЛАСТИВОСТІ ПРИРОДНИХ СИСТЕМ ОКРЕМИХ ЧАСТИН ПРИБЕРЕЖНОЇ ЗОНИ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО ПРИЧОРНОМОР'Я

Т. А. Сафранов

Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, safranov@ukr.net
<http://orcid.org/0000-0003-0928-5121>

У даній роботі охарактеризовані екосистемні послуги, тобто це всі корисні ресурси та вигоди, які сучасне людство може отримати від природи (як матеріальні, так і нематеріальні вигоди від абіогенних і біогенних складових різноманітних природних екосистем). Метою роботи є оцінка корисних властивостей природних систем окремих частин прибережної зони Північно-Західного Причорномор'я. Існує дуже широкий підхід як до самого поняття «екосистемні послуги». При цьому, не завжди враховується зв'язок екосистемних послуг виключно з природними екосистемами та їх безкоштовністю. Термін «екосистемні послуги» є невдалим, оскільки природні екосистеми не можуть надавати послуги, тому як послуга – це акт, якась усвідомлена дія. Природа існує, а не надає послуги, а природні ресурси і умови існують незалежно від людини. Термін «послуги» не може бути використаний відносно природних екосистем, оскільки під «послугами» розуміють цілеспрямовану діяльність саме людини, результат якої має корисний ефект, задовольняючий будь-які потреби людини. У природокористуванні основним об'єктом досліджень є природна система. При оптимізації природокористування правильніше говорити не про використання природних ресурсів, а про використання їх певної частини, тобто про природно-ресурсний потенціал. Низкою вчених вважається, що цінність природи нескінченна, а, отже, не може мати грошового еквіваленту. Однак на даний час економічна оцінка екосистемних послуг вкрай важлива для ефективного природокористування і вона може бути базисом для прийняття обґрунтованих управлінських рішень. Проте, такий підхід є домінуючим, тому що їх монетизація допомагає зрозуміти людям, наскільки важливим у їхньому житті є збереження біогенної та абіогенної складових природних систем. Пропонується замість терміну «екосистемні послуги» використовувати поняття «корисні властивості природних систем», тобто їх забезпечувальні, регулюючі, культурні послуги та підтримуючі властивості. Обмежують корисні властивості природних систем стихійні природні процеси, а також фізичні, хімічні та біологічні забруднення антропогенного походження. В роботі надається оцінка корисних властивостей природних систем окремих частин прибережної зони Північно-Західного Причорномор'я (у межах Одеської області). Від цих природних екосистем можна отримати матеріальні вигоди, але на можливості використання їх корисних властивостей негативно відображається зростаючий техногенний вплив на складові довкілля через процеси урбанізації, розвиток промисловості, енергетики, транспорту, аграрного сектора економіки тощо, а з лютого 2022 р. – внаслідок військової діяльності та бойових дій.

Ключові слова: природні системи; прибережна зона; екосистемні послуги; корисні властивості.

1. ВСТУП

Термін «екосистемні послуги» (*ecosystem services*) став активно використовуватися з 1981 року, після опублікування роботи П. Ерліх і А. Ерліх [1], і підкреслити соціальну значущість функцій природних екосистем (ЕС). Наразі немає єдиного визначення терміну «екосистемні послуги», а також не існує і єдиної методики

оцінки таких послуг.

Екосистемні послуги (ЕСП) – це всі корисні ресурси та вигоди, які сучасне людство може отримати від природи (як матеріальні, так і нематеріальні вигоди від абіогенних і біогенних складових різноманітних природних екосистем (ЕС). Саме від ЕСП залежить задоволення потреб людства в середовищі існування й

продуктах харчування, а також рівень та якість його життя, тому у Документі ООН «*Millenium Ecosystem Assessment*» [2], ЕСП називають «прямим та непрямим внеском у благополуччя людей».

Одним із ключових понять у розмові про важливість ЕСП є добробут (*well-being*). Він складається з багатьох аспектів, що включають базові умови для гідного життя, свободу вибору та дій, здоров'я, стійкі соціальні зв'язки та безпеку. Добробут визначається як протилежність бідності, але про нього немає єдиного уявлення, оскільки складові благополуччя сприймаються людьми по-різному. Це залежить від географічного положення, культури та решти чинників, а також специфічних місцевості умов проживання та періоду історії.

Усі ЕСП безкоштовні, оскільки люди не оплачують їх використання або споживання, але частину таких послуг можна умовно оцінити у грошовому еквіваленті, щоб оцінити масштаби втрат внаслідок зникнення корисних властивостей складових природних ЕС. Оцінка ЕСП необхідна для розуміння того, наскільки важливим для нормального життя суспільства є збереження ландшафтно-біологічного різноманіття природних ЕС й підтримання їх у рівноважному стані. Окрім того, оцінка ЕСП є важливим кроком у напрямку визначення їх внеску в різні галузі економіки, а також дозволяє окреслити їх потенційні можливості задля надання цих послуг у конкретному контексті та для конкретних отримувачів матеріальних вимог; при цьому визначається, наскільки надання ЕСП є сталим, а також задля можливості ідентифікувати пороги і переломні моменти.

В основі методів оцінки ЕСП лежать два концептуальних підходи – біоцентричний (екоцентричний) та антропоцентричний (еґоцентричний). Біоцентричний підхід сповідує ідею про те, що цінності природи і полягає в здатності задовольняти потреби не тільки людини, а й інших організмів. Тобто елементи довкілля мають внутрішню властиву цінність (*intrinsic value*), яка існує незалежно від того, чи є вони, або не є засобом задоволення потреб людських індивідів. Цей підхід позбавляє людину права оцінювати, оскільки практично не застосовується, хоча деякі послуги можна розглядати з погляду цієї концепції. Її застосування особливо виправдане в суспільствах, де люди наділяють природу

вищою духовною чи культурною цінністю. Наприклад, існування священних гаїв у деяких культурах допомогло захистити природні території та біорізноманіття, що міститься в них». Біоцентричний підхід, будучи переважно філософським поглядом, не приділяє уваги практичним аспектам використання навколишнього середовища. Сенс антропоцентричного підходу у тому, що природа цінна лише тією мірою, якою вона приносить задоволення людині. У цьому підході використовується філософський постулат, який полягає у тому, що людина – міра всіх речей. Оцінюється головним чином користь, яку людина отримує при споживанні послуг, що надаються навколишнім природним середовищем. Об'єкт оцінюється з погляду його інструментальної чи утилітарної цінності, тобто його *властивостей* в якості інструменту задоволення потреб і переваг індивідів. Не варто, однак, обмежуватися приземленим тлумаченням словосполучення «задоволення потреб і переваг», адже, наприклад, естетична насолода видами природи також виконує це завдання. В економічній оцінці ЕСП застосовується саме цей підхід, хоча окремі аспекти внутрішньої властивої вартості враховуються у категорії культурних послуг [3].

Фундаментальну залежність людства від послуг ЕС та їх стан і динаміку системно проаналізовано у звіті «*Millennium Ecosystem Assessment*» [2], підготованому під егідою ООН міжнародним науковим колективом. У рамках цього дослідження запропоновано чотири групи ЕСП: 1) забезпечувальні послуги (*provisioning services*) – це ЕСП, які описують матеріальний чи енергетичний результат функціонування ЕС (продукти харчування, деревина й волокно, паливо, прісна вода, медикаменти тощо); 2) регулюючі послуги (*regulating services*) – це послуги з регулювання екосистемних процесів (регулювання якості повітря, очищення води, регулювання стоку води, запобігання ерозії, регулювання клімату, запилення, біологічний контроль); 3) культурні послуги (*cultural services*) – це нематеріальні вигоди, які люди отримують під час контакту з екосистемами (значення для культури, мистецтва, рекреація й туризм, естетичне значення, знання й значення для освіти, духовне та релігійне значення); 4) підтримуючі послуги (*supporting services*) – це послуги, необхідні для підтримки всіх інших екосистемних послуг (ґрунтоутворення,

кругообіг поживних речовин, фотосинтез, біологічне різноманіття).

У багатьох країнах використовується класифікація ЕСП, яка була запропонована в роботі [4].

Огляд україномовних публікацій показує, що вони присвячені: розвитку екосистемного корпоративного підприємства (сільського, лісового, рибного); оцінюванню екосистемних послуг лісів за даними дистанційного зондування Землі; екосистемним послугам зелених насаджень урбанізованих територій; аналізу міжнародного та вітчизняного досвіду концепції екосистемних послуг; удосконаленню інструментарію здійснення функцій екосистемних послуг; формалізації та параметризації оцінювання екосистемних послуг ґрунтів місцевого активу; екосистемним послугам полезахисних лісових смуг як основи компенсаційних механізмів їхнього створення та утворення; концепції екосистемних послуг з урахуванням застосування її водосховищ (на прикладі Дніпровського каскаду водосховищ); конфліктам природокористування в контексті втрати екосистемних послуг; екосистемної цінності окремих міських природоохоронних територій (на прикладі Голосіївського лісу); нормативно-законодавчим пропозиціям щодо впровадження екосистемного підходу в управлінську практику; оцінці екосистемних послуг північно-західної частини Чорного моря тощо.

Як бачимо, існує дуже широкий підхід як до самого поняття «екосистемні послуги», так і до його використання стосовно не тільки природних, але й напівприродних та штучних ЕС, а також в інших аспектах. При цьому, не завжди ураховується зв'язок ЕСП виключно з різноманітними природними ЕС та їх безкоштовністю.

Метою роботи є оцінка корисних властивостей природних систем окремих частин прибережної зони Північно-Західного Причорномор'я

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Методологічною основою дослідження є критичний аналіз існуючих підходів до оцінки ЕСП. При виконанні роботи були використані опубліковані дані, а також матеріали власних доробок, присвячених дослідженню оцінки корисних властивостей окремих природних екосистем.

Деякі дослідники вважають термін «екосистемні послуги» невдалим, оскільки природні ЕС не можуть надавати послуги, тому що послуги – це акт, або якась усвідомлена дія. Природа існує, а не надає послуги і природні ресурси й умови існують незалежно від людини. Термін «послуги» не може бути використаний відносно природної ЕС, оскільки в економічній теорії під «послугами» розуміють цілеспрямовану діяльність саме людини, результат якого має корисний ефект, задовольняючий будь-які потреби людини. Послугою вважається результат діяльності, матеріальний чи нематеріальний продукт, який виробник надає споживачу відповідно до встановлених вимог і до властивостей цього продукту або результату. Поняття «послуги» може трактуватися і як специфічна форма праці, і як результат праці (екологічні, освітні, інформаційні, консультаційні, юридичні, медичні тощо). Наприклад, екологічні послуги – вид послуг, прямим чи непрямим результатом яких є поліпшення стану довкілля та зменшення шкідливого впливу на людину. Виділяють кілька напрямів екологічних послуг: науковий (проведення досліджень), експлуатаційний (використання товарів екологічного спрямування), сервісно-торговельний (продаж товарів екологічного спрямування), освітній, управлінський (управління процесами природокористування), культурно-мистецький, інформаційний (екологічний консалтинг), оздоровчий (рекреація і охорона здоров'я) [8]. Іноді їх помилково називають «екосистемними послугами», а іноді замість цього терміну пропонується поняття «екосистемні блага» (наприклад, відновлювані та невідновлювальні природні ресурси). Нагадаємо, що матеріальні і нематеріальні блага – це об'єкти та засоби задоволення людських потреб, тому природні ресурси (природні об'єкти і явища, що використовуються в теперішньому часі, споживалися в минулому і будуть задіяні майбутньому для прямого або опосередкованого споживання, сприяють створенню матеріальних багатств, відтворенню трудових ресурсів, підтримці умов існування людства і підвищенню якості життя) та *природні умови* (сукупність живих організмів, тіл і явищ природи, існуючих поза діяльністю людей, які впливають на інші живі організми, тіла і явища, що розглядаються як центральні в системі існуючих досліджуваних відносин [9], можна розглядати як матеріальні і нематеріальні блага.

Відомо, що у природокористуванні основним об'єктом досліджень є природна система (ПС), яка часто розглядається як синонім терміну «екосистема». Нагадаємо, що ЕС – це сукупність специфічного фізико-хімічного оточення (біотопу) і сукупності живих організмів (біоценозу), об'єднаних у єдине функціональне ціле, що з'явилося на основі взаємозалежності й причинно-наслідкових зв'язків, що існували між окремими компонентами. ПС складається із природних структур і утворень (підсистем), що групуються в функціональні компоненти на вищих рівнях ієрархічної організації. Володіючи великою кількістю схожих елементів і зв'язків, ЕС і ПС розрізняються спрямованістю внутрішньосистемних зв'язків. Для моделі ЕС характерна спрямованість зв'язків з боку факторів «середовища» (об'єкт), насамперед, на головний об'єкт – «господаря» (суб'єкт), а для моделі ПС типове визнання рівності всіх зв'язків [10]. З позицій природокористування інтерес можуть представляти як біогенні, так і абіогенні компоненти ПС, але оптимізація природокористування передбачає збереження сприятливих умов для існування і розвитку живих організмів і, передусім, людської популяції. Наприклад, якщо море розглядати як природну ЕС, то головним об'єктом є сукупність угруповань організмів (біоценоз), якщо ж море розглядати як ПС, то біогенні і абіогенні компоненти є рівнозначними. В ПС інтерес можуть представляти як біологічні ресурси, так і мінеральні ресурси, пріоритетність яких визначається нагальними потребами економіки. Оптимізація природокористування передбачає таку експлуатацію біологічних та/або мінеральних ресурсів, яка б не порушувала рівновагу природної ЕС (ПС), зберігала сприятливі умови, для біоти і людини. У багатьох випадках цього не дотримується (наприклад, при гострому дефіциті вуглеводневої сировини здійснюються пошуки, розвідання і експлуатація нафтогазових покладів в шельфовій зоні морів, а проблеми збереження біологічного різноманіття відсуваються на другий план; в окремих випадках виникає необхідність перезонування територій природно-заповідного фонду і т. д.

При оптимізації природокористування правильніше говорити не про використання природних ресурсів, а про використання їх певної частини, тобто про природно-ресурсний потенціал (ПРП), тобто здатність природних

систем без шкоди для себе (а, отже, і для людей) віддавати необхідну для людства продукцію або виконувати корисну роботу в рамках господарства даного історичного типу [9] (як бачимо, це визначення є досить близьким до поняття «екосистемні послуги»). В.П. Руденко [11] під ПРП розуміє показник, який характеризує сукупність природних ресурсів та їх сукупну продуктивність.

Важливо, що низка вчених проти «присвоєння цінника» багатствам природи. Вони вважають, що цінність природи нескінченна і не може мати грошового висловлювання, а оцінювати її окремі елементи просто абсурдно. Інші, навпаки, вважають, що це необхідно. В даний час економічна оцінка ЕСП важлива для ефективного природокористування і може бути базисом для прийняття обґрунтованих управлінських рішень. Економічна оцінка ЕСП дозволяє раціонально використовувати наявні ресурси, оцінювати інвестиційну привабливість екологічно орієнтованих проектів, а також сприяє розвитку та впровадженню системи компенсаційних платежів. Вважається, що основною причиною деградації природних ЕС є недооцінка їхньої реальної економічної цінності, вартості їх ресурсів та послуг загалом. У тих випадках, коли фінансові ресурси, необхідні для вирішення серйозних економічних проблем, обмежені, плата за ЕСП може забезпечити додаткові ресурси для впровадження екологічно дружніх технологій, створити стимули для інвестицій та посилити залучення бізнесу в охорону навколишнього середовища [12]. Етичний аспект оцінки та плати за екосистемні послуги докладно розглянуто у статті [13]. Величина ПРП, що є елементом суспільного (національного або регіонального) багатства, кількісно може бути представлена лише через вартісні показники у так званих загальнодержавних кадастрових або світових цінах. Наприклад, можна визначити гідроенергетичний потенціал річки, кількість водних і гідробіологічних ресурсів та їх вартісні показники, але неможливо надати вартісну оцінку естетичності річкових ландшафтів, водоспадів та інших унікальних природних куточків. На думку М.Ф. Реймерса [14], оцінювати природу за вартістю її матеріальних багатств – це все одно, що оцінювати картини великих художників за їх метражем або витратами на полотно і фарбу. Проте, такий підхід є домінуючим тому, що їх монетизація, тобто їх оцінка у грошовому еквіваленті,

допомагає зрозуміти людям те, наскільки важливим у їхньому житті є збереження біогенної та абіогенної природних складових ЕС (ПС).

На підставі вищевикладеного, пропонується замість терміну «екосистемні послуги» використовувати поняття «корисні властивості природних систем» (КВПС). (*useful properties of natural systems*), тобто забезпечувальні, регулюючі, культурні та підтримуючі корисні властивості ПС. Обмежують КВПС стихійні природні процеси, а також різноманітні фізичні, хімічні та біологічні забруднення антропогенного походження.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

В роботі зроблено спробу оцінки корисних властивостей різноманітних природних систем окремих частин прибережної зони Північно-Західного Причорномор'я (у межах Одеської області), що є актуальною екологічною і соціально-економічною проблемою.

За визначенням Європейської комісії, під прибережною зоною (*Coastal Zone*) розуміється смуга суші і моря, ширина якої варіює в залежності від характеру навколишнього середовища та завдань управління. Вона іноді співпадає з адміністративними межами або одиницями планування. Приморські території, де людина здійснює свою діяльність, що тісно пов'язана з використанням ресурсів узбережжя, можуть сягати від міжприбережних вод на багато кілометрів вглиб суші. З урахуванням того, що Чорне море впливає на кліматичні умови південного узбережжя України (дія теплого Чорного моря взимку поширюється вглиб території України на 140 – 280 км), то більшу частину території Одеської області та прилеглу акваторію північно-західної частини Чорного моря (ПЗЧМ) можна розглядати як прибережну зону. Вона включає узбережжя і пляжі, водно-болотні угіддя, прибережні води, лимани, землі сільськогосподарського призначення, урбанізовані і індустріальні території. Ця зона характеризується різноманіттям природних ресурсів і умов, а також можливостями для розвитку багатьох видів антропогенної діяльності.

ПРП визначається сукупністю усіх видів природних ресурсів, які відомі або використання яких у недалекому майбутньому можливе за технічними критеріями. За оцінкою

В.П. Руденка [15] потенціал природних ресурсів (млн грн.) Одеської області складає: мінеральних – 109,5; водних – 667,8; земельних – 4312,2; лісових – 78,3; фауністичних – 28,8; рекреаційних – 811,2, тобто область займає провідні позиції за показниками наявних земельних і рекреаційних ресурсів, але частка області у ПРП України становить лише 3,7%. Одещина має значні земельні ресурси, виділяється своїм оздоровчо-рекреаційним потенціалом (сприятливі біокліматичні умови, можливості для таласотерапії, бальнеології, грязелікування тощо), біологічними ресурсами моря, лиманів, водосховищ та великих річок, цінними біосферними ресурсами, представленими унікальними і своєрідними природними комплексами (водно-болотні угіддя, пісочні коси, пересипи і т. д.).

Зв'язок між достатнім рівнем забезпечення КВПС із досягненням добробуту всього людства та окремих груп людей очевидний. Грунтуючись на роботі [16], можна виділити основні типи КВПС, а саме: забезпечувальні – продукти, які отримують від ПС; регулюючі – вигоди, які отримують від регулювання процесів в ПС; культурні – нематеріальні вигоди, які люди отримують від ПС через духовне збагачення, розвитку пізнавальної діяльності, рекреації, рефлексії; підтримуючі – послуги, які необхідні для отримання всіх інших корисних властивостей.

Відомо, що морські ПС охоплюють частини Світового океану с глибинами понад 50 м, де рибальство є головною рушійною силою змін. В окрему категорію виділено берегові ПС, які є сполучною ланкою між океаном і суходолом, сягають у море приблизно до середини континентального шельфу і заглиблюються в сушу, включаючи всі території, що знаходяться під сильним впливом близькості океану. Однак треба розуміти, що цей просторовий поділ штучний і, насправді, не можна здійснити чіткого розмежування. Так, зони континентальних шельфів або великі морські ПС, включають як морську складову берегових систем, так безпосередньо і самі морські системи та розгалужуються на велику кількість найважливіших ПС: на частку шельфів припадає як мінімум 25% первинної продукції, 90-95% світового обсягу вилову риби, 80% виробництва карбонатів, 90% осадової мінералізації [2].

Територія Одеської області здебільшого розміщена у Степовій, частково – у Лісостеповій природних зонах помірно-континентальним кліматом, (теплим літом і прохолодною, але

м'якою зимою). Особливістю клімату є постійні вітри, змінна кількість опадів та різкі коливання температури повітря. Кліматичний режим формується, в основному, під впливом моря, сонячної радіації і циркуляції атмосферних течій. Окрім цих регіональних чинників, на клімат впливають рельєф місцевості, рослинність, характер ґрунтів, наявність водоймищ та інженерних споруд. Агрокліматичні умови сприятливі для вирощування озимої пшениці, кукурудзи, ячменю, проса, соняшнику та інших культур.

Атмосферний вплив (регулювання) проявляється у тому, що з повітряними масами до морського басейну заносяться біогенні елементи (речовини) та забруднюючі речовини. Це сприяє розвитку процесів евтрофікації, а також негативно впливає на стан та якість морських вод і донних відкладів. Вплив теплого морського басейну поширюється углиб суші на 140-280 км, тобто. регулює кліматичні умови всього південного узбережжя України, охоплюючи всю прибережну зону Північно-Західного Причорномор'я. Певну роль у формуванні мезокліматичних умов і забруднення повітряного басейну в прибережній смузі відіграє бризові циркуляції повітряних мас.

Дослідження біокліматичних ресурсів показали, що за характером просторово-часового розподілу значень радіаційно-еквівалентно-ефективна температура (РЕЕТ) на узбережжі Чорного моря влітку перевищує комфортні значення. Найближчі до комфортних умови характерні для Білгород-Дністровська в липні. Найсприятливішим часом для геліотерапії є травень, червень і вересень у переважній більшості населених пунктів. За величиною фізіологічно-еквівалентної температури (ФЕТ) найхолодніші умови спостерігаються на півночі області: Любашівці та Затишші, а також в Ізмаїлі. В останньому, холодний стрес хоча і є частим, але значно менш тривалим, ніж в північних районах. Найбільше теплове навантаження спостерігається в містах, значно віддалених від моря, особливо Сараті та Сербці, а також у Вилковому. Найкомфортніші умови для відпочинку в теплий період (з середини квітня до кінця жовтня) спостерігаються в Одесі, Чорноморську та Білгород-Дністровську [17].

Річкова мережа області належить басейнам Чорного моря, Дністра, Південного Бугу. По території області пробігає близько 200 річок довжиною понад 10 км. У межах області

налічують також 1134 малих річок і струмків. У приморській смузі багато прісноводних (Кагул, Ялпуг, Катлабух) озер. Також на узбережжі знаходиться 15 прісних і солоних лиманів, найбільші з них – Дністровський, Тилігульський, Хаджибейський, Алібей, Бурнас, Будакський, Куяльницький, Кучурганський. Поверхневі водні об'єкти використовуються в господарсько-питних, рибогосподарських, іригаційних, лікувальних та інших цілях. Водопостачання Одеської області здійснюється як з поверхневих джерел, так і за рахунок підземних вод (ПВ). За прогнозними ресурсами ПВ Одеська область займає останнє місце в країні (0,113 тис. м³/чол.). Водозабезпеченість прогнозними ресурсами ПВ в області становить 0,31 м³/д, а експлуатаційними запасами ПВ – 0,14 м³/д, що також істотно нижче відповідних середньодержавних показників (відповідно – 1,35 і 0,34 м³/д). Балансові експлуатаційні запаси ПВ за категоріями А+В+С₁ по 25 родовищам оцінюються в 486,31 тис. м³/д, що в розрахунку на одного мешканця Одеської області становить близько 0,20 м³/д. Оскільки на частку ПВ з мінералізацією до 1,0 г/дм³ в загальному обсязі видобутку доводиться 59-64 %, то запаси ПВ лише умовно відображають ступінь забезпеченості населення водою господарсько-питного призначення. На окремих ділянках ПВ мають підвищену мінералізацію (від 3-5 до 90-105 мг/дм³), а у деяких ПВ містяться в підвищених кількостях бальнеологічно-значимі компоненти та сполуки, що дозволяє класифікувати ці води як мінеральні лікувальні води.

Низька забезпеченість місцевим річковим стоком і ресурсами (запасами) ПВ є негативним фактором для розвитку господарської діяльності, особливо в районах Одеської області з дефіцитом водних ресурсів. Експлуатаційні запаси мінеральних ПВ сприяють розвитку курортів бальнеологічного спрямування, однак, їх абсолютна більшість відноситься до вод без специфічних компонентів та властивостей, що трохи знижує спектр їх лікувальних можливостей.

Найбільш інтенсивний кругообіг біогенних (поживних) речовин відбувається в гирлах річок, що впадають у північно-західну частину Чорного моря (ПЗЧМ). Ці речовини надходять із неорганічних джерел або переробляються з мертвих організмів. Водночас багато ресурсів і на сьогоднішній день виснажені, і на це існує ціла низка причин: надмірний вилов риби,

руйнівні рибальські методи, негативний вплив аквакультури, забруднення та евтрофікація, зміна клімату тощо.

ПЗЧМ та прилеглі лимани забезпечують судноплавство, функціонування морегосподарських комплексів, технічне водопостачання, середовище існування гідробіонтів, рибальство, марикультуру, рекреацію тощо. Солоність морських ПЗЧМ знаходиться в інтервалі середніх значень 14-16 ‰. На більшій частині ПЗЧМ знижується ефект «внутрішньошкірної ін'єкції» та формування «сольового плащу», що в меншій мірі обмежує можливості бальнеотерапії. Максимально опріснені пригирлові зони Дунаю і Дністра слід розглядати як з позицій бальнеотерапії, так і гідротерапії. Екстремально високі значення солоності характерні для окремих лиманних вод, ізольованих від морського басейну, але бальнеотерапевтичне використання ропи можливе лише після розбавлення менш мінералізованими водами. Температура морської води достатньо комфортна для водних та інших процедур протягом купального сезону у ПЗЧМ, який триває близько 120 днів. Найсприятливішими місяцями для комплексної клімато- і таласотерапії є липень і серпень в Одесі, Чорноморську та Білгороді-Дністровському; найменшою мірою підходить для оздоровлення та рекреації порівняно з іншими розглянутими містами Вилкове, але тут краще проводити кліматотерапію в червні.

ПЗЧМ і прилеглі лимани є важливим районом рибальства. Масовими та цінними промисловими видами є хамса, шпрот, тюлька, оселедці, хоча раніше іхтіофауна була представлена осетровими, кефаллю, скумбрією та іншими цінними видами риб. За даними Державного агентства рибного господарства України у 2021 році вилов риби Україною в Чорному морі становив 7669 т, у причорноморських лиманах – 107 т, у пригирлових зонах Дунаю – 504 т. Отже, на акваторію ПЗЧМ, яка омиває Одеську область, припадає доволі незначна частка вилову. Крім того, істотним джерелом постачання тваринного білка є розвиток аквакультури. У 2020 році було отримано 18 570 т продукції аквакультури, але процеси евтрофікації зумовили розвиток гіпоксії, що, у свою чергу, спричинило загибель риб, мідій та інших гідробіонтів. Тільки в 1973-1990 роки у межах ПЗЧМ втрати біологічних ресурсів становили 60 млн т (у т.ч. 5 млн т риби). У 1990-х роках екологічна ситуація дещо

покращилася і замори риб та двостулкових відбуваються рідше і на менших площах [18].

Формування складу іхтіофауни і структура промислових уловів лиманів Одеської області визначаються їх гідрологічним і гідрохімічним режимами і, в першу чергу, солоністю. Наприклад, в Тилігульському лимані найбільше різноманіття іхтіофауни (до 49 видів), а також високі улови і рибопродуктивність спостерігалися в роки опріснення водою, коли солоність води коливалася в межах від 3-6 до 6-10 ‰, а канал лиман-море працював регулярно. Осолонення лиману до 23-28 ‰, призвело до збіднення іхтіофауни (до 27-29 видів) і, отже, зниженню якісного і кількісного показника промислових уловів і рибопродуктивності.

Для ПЗЧМ характерними є унікальні ресурси водоростей-макрофітів, домінуючими видами серед яких є червоні водорості виду *Phyllophora crispa*. Оскільки більше 50 років здійснювався інтенсивний промисловий видобуток філофори задля промислового отримання агар-агару, а також внаслідок антропогенного впливу на ПЗЧМ, відбулося зменшення генетичної різноманітності організмів філофорного поля. Крім того, зниження прозорості води уповільнило активність процесу фотосинтезу та призвело до загибелі значної частини бентосних водоростей на глибинах 20-60 м; площа філофорного поля з 11 тис. км² у 1950-х роках скоротилася до 0,5 тис. км² у 1980-х роках, а біомаса зменшилася з 10 млн т до 0,2 млн т відповідно. Слід зазначити, що такі природно-антропогенні зміни призвели до деградації специфічних видів безхребетних та риб з червоним забарвленням, тобто частини «філофорного біоценозу». Це є підтвердженням регулювання взаємодії різних трофічних рівнів, що допомагає підтримувати збалансовану екологічну піраміду. Останніми роками відзначається слабко виражена тенденція до відновлення філофорного поля – ботанічного заповідника загальнодержавного значення.

Днопоглиблювальні роботи та дампінг ґрунтів в акваторіях морських портів сприяють розвитку судноплавства, проте призводять до забруднення водної товщі і донних відкладів, а також негативного впливу на біологічні ресурси на окремих ділянках. На бентос та інші гідробіонти несприятливо впливають і роботи з розробки будівельних матеріалів, покладів вуглеводневої сировини та інших корисних копалин. Скидання стічних та інших зворотних вод з сільськогосподарських угідь, промислових агломерацій, морегосподарських

комплексів та інших джерел забруднення призводить до евтрофікації та забруднення морського середовища, що негативно позначається на стані абіогенних та біогенних компонентів морської екосистеми.

Дренажний стік є джерелом надходження біогенних речовин; при цьому слід зазначити, що всі місця скидання дренажних вод приурочені до пляжної зони та знаходяться у незадовільному технічному стані; крім того, через дренажну систему періодично здійснюється скидання стічних вод від невідновлених джерел [19].

Деякі види антропогенної діяльності вкрай негативно вплинули на відтворення цінних осетрових порід риб. Берегоукріплювальні споруди перешкоджають руйнуванню берегів, але вони сприяють створенню застійних гідродинамічних зон між ними та береговою лінією, а також сприяють їх забрудненню при скиданні зворотних вод, зокрема дренажних вод.

Неефективна система управління та поведінки з твердими побутовими відходами, неконтрольована рекреаційна діяльність у прибережній смузі призвела до утворення стихійних звалищ, які є джерелом формування морського сміття, що трансформується у морському середовищі та негативно впливає на біоту. Наприклад, відходи пластикових виробів (макропластик), потрапляючи у морське середовище, поступово руйнується, перетворюючись на величезну кількість мікрочастинок, які вкрай небезпечні для стану морського середовища і біоти. Крім того, частинки мікропластику здатні адсорбувати на своїй поверхні багато поллютантів, стаючи, тим самим, їх вторинним джерелом. Переміщуючись по трофічному ланцюгу, поллютанти можуть концентруватися як у консументах високого порядку, так і в організмі людини [20].

Відомо, що морське середовище поглинає, знезаражує та переробляє різноманітні відходи виробництва та споживання, а прибережні ЕС (ПС) виконують функцію захисту від природних потрясінь (повеней та штормів). Наприклад, прибережна рослинність може пом'якшити потенційно руйнівні ефекти приливних хвиль. В той же час, на біологічне різноманіття негативно впливають навмисна і випадкова біологічна інвазія. Оскільки на значній частині узбережжя розташовані численні техногенні об'єкти, які нерідко є береговими джерелами забруднення, вони також занижують рекреаційні можливості морського середовища.

В Україні 22 водно-болотних угіддя (ВБУ) мають статус міжнародного значення. В Одеській області розташовані 8 («Тилігульський лиман», «Кілійське гирло», «Озеро Сасик» «Північна частина Дністровського лиману», «Міжиріччя Дністра-Турунчука», «Озеро Кугурлуй», «Озеро Каргал», «Система озер Шагани-Алібей-Бурнас»), як включені до природно-заповідного фонду. ВБУ є джерелом водопостачання, рибних і мисливських ресурсів, забезпечення деревинними матеріалами і очеретом, дикорослою рослинною продукцією та іншими біологічними ресурсами; забезпечують місцями існування рідкісних видів тварин та рослин. Крім того, ВБУ є бар'єрами механічного (затримують великі частинки і завислі речовини) і фізико-хімічного (затримують іони важких металів і біогенні елементи). Стимування і регулюючі властивості ВБУ – упорядкування, збереження, відновлення та збільшення біологічного різноманіття, акумуляція і прісних вод, регулювання поверхневого і підземного стоків. Стимування та пом'якшення шкідливих наслідків стихійних явищ природи, регулювання та підтримка рівня ґрунтових вод, забезпечення живлення рік та інших водних об'єктів, захист від ерозії, очищення вод від забруднювальних речовин та відходів, регулювання процесів запилення, поглинання парникових газів (наприклад, CO_2), але є джерелами O_2 , який виділяється при фотосинтезі рослинами. та підтримують баланс між CO_2 та O_2 . Окрім того, ВБУ характеризуються потужними природними утвореннями CH_4 , а тому відіграють значну роль у регулюванні, стабілізації та формуванні кліматичних умов. Нагадаємо, що згідно гіпотези глобального біологічного контролю (гіпотези Геї), внаслідок взаємодії між біологічними і геохімічними процесами підтримується постійна кількість O_2 (а це приблизно 21%) в атмосфері. Відомо, також, що зростання O_2 на 1% підвищує імовірність пожеж на 60%, а при збільшенні на 4% вся планета буде охоплена напалмом і на ній буде знищена вся жива речовина. Незважаючи на зміну сонячної активності, чисельності і різноманіття живих організмів, вміст O_2 протягом майже 400 млн років зберігається всередині дуже вузького діапазону. що пов'язано з тим, що надлишок O_2 «гаситься» CH_4 в процесі реакції: $CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O$. Отже, утворення CH_4 відіграє важливу регулюючу роль як глобальному, так такі в регіональному і масштабах.

ВБУ, які широко поширені в прибережній зоні Північно-Західного Причорномор'я, виступають у ролі регулятора таких процесів, як акумулювання та зберігання прісної води, фільтрації води, поглинання з атмосфери та накопиченні вуглецю, поверненні до атмосфери кисню, регулюванні поверхневого стоку, стабілізації рівня ґрунтових вод, участі у формуванні кліматичних умов (опадів, вологості та температури повітря), запобігання та стримування ерозійних процесів, підтримання та збереженні біологічної різноманітності, формуванні місць зростання та проживання різних видів рослин та тварин (у тому числі рідкісних та червонокнижних), а також підтримання максимальної біологічної продуктивності аквальних ЕС (ПС).

Довжина морських і лиманних узбережь від гирла річки Дунай до Тилігульського лиману сягає 300 км. Вони регулюють конфігурацію берегової лінії, зв'язок морського басейну з прилеглими лиманами, і також є важливими рекреаційними ресурсами.

Слід зазначити, що морські та прибережні ЕС (ПС) є незамінними роль у наданні рекреаційних послуг. Комфортні біокліматичні умови, значна протяжність пляжної зони та інші природні можливості дозволяють говорити про перспективність прибережної зони Одеської області для різних форм рекреації, включаючи таласотерапію (лікування морським кліматом та купаннями у поєднанні із сонячними ваннами). Однак, відносно низька солоність, евтрофованість і підвищена забрудненість морської води, особливо в пригирлових зонах, обмежують можливості таласотерапії, але наявність ропи, лікувальних грязей і комфортні біокліматичні умови в зонах поширення окремих лиманів обумовлюють їх високий рекреаційний вплив.

У прибережній смузі ПЗЧМ є родовища лікувальних грязей: Тузловські лимани (запаси складають 35185 тис. м³), Будацький лиман (4190 тис. м³), Хаджибейський лиман (11048 тис. м³), Куяльницький лиман (15327 тис. м³); Тилігульський лиман (11276 тис. м³), Березанський лиман (10 910 тис. м³) та ін. Але лише Куяльницький та деякі інші лимани Одеської області, поки що використовуються для грязелікування та вироблення медичних препаратів.

Природно-заповідний фонд (ПЗФ) Одеської області налічує 125 об'єктів загальною площею понад 154 тис. га, а показник заповідності – 4,63% (на 2020 рік). Природну складову ПЗФ

області представляють: біосферний заповідник «Дунайські плавні»; національні природні парки – 3 (Тузловські лимани, Нижньодністровський, Куяльницький); регіональні ландшафтні парки – 2 («Ізмаїльські острови», «Тилігульський»); заказників загальнодержавного значення – 10 та місцевого з – 31; пам'ятки природи загальнодержавного значення – 2 та місцевого значення – 47 [21]. Території і об'єкти ПЗФ області сприяють збереженню природної різноманітності ландшафтів, генетичного фонду флори і фауни, підтриманню загального екологічного балансу, а також є унікальними ресурсами для наукової, еколого-просвітницької та рекреаційної діяльності. З одного боку, вони є природними територіями і об'єктами, а з іншого – господарськими суб'єктами, діяльність яких зумовлюється не тільки соціально-економічними, але й екологічними параметрам. Отже, з урахуванням корисних властивостей, а також естетичних і духовних функцій, території і об'єкти ПЗФ можуть бути підґрунтям для формування еколого-орієнтованих видів діяльності, спрямованої на сталий розвиток досліджуваних регіонів.

Слід зазначити, що мінеральні ресурси надр області обмежені. До основних мінерально-сировинних ресурсів, які активно експлуатуються, належать запаси будівельних матеріалів: сировина для виготовлення цементу і стінових матеріалів; керамзитова сировина; будівельні піски. Слід згадати Завалівське родовище графіту, на яке припадає майже 90% всіх запасів графіту України; приурочене до південно-західної частини Українського кристалічного масиву та захоплює частину Савранського району Одеської області. В межах області та прилеглої шельфової зони налічуються поклади вуглеводневої сировини [22]. Донні відклади є сировинним джерелом будівельних матеріалів, розсипних корисних копалин, а також середовищем мешкання бентосних організмів (у т. ч. марікультури). Фізико-хімічні особливості водної товщі та донних відкладів обумовлюють просторово-часовий розподіл середовищ мешкання гідробіонтів, а також їх видову та генетичну різноманітність. Підраховані запаси і прогнозні ресурси пелоїдів в багатьох лиманах області дозволяють говорити про значні перспективи для грязелікування. А досліджені мулові сульфідні пелоїди лиманів Одеської області за своїми фізико-хімічними властивостями відповідають вимогам, що висуваються до пелоїдів.

Головне природне багатство області – її земельні ресурси, що представлені переважно чорноземними ґрунтами з високою природною родючістю. У сполученні з теплим степовим кліматом вони формують високий агропромисловий (сільськогосподарський) потенціал регіону. Земельні ресурси Одеської області (3331,4 тис. га) характеризуються надзвичайно високим рівнем освоєння. Найбільшою є питома вага земель сільськогосподарського призначення – 2588,177 тис. га, з них рілля – 2077,042 тис. га. У даній структурі земель землі сільськогосподарського призначення займають 77,69 %, у тому числі рілля – 62,35 %. Землі громадського призначення займають 30,5 тис. га. Площа земель оздоровчого призначення становить 2,0 тис. га, а площа рекреаційного призначення – 4,5 тис. га. Землі лісогосподарського призначення, ліси та інші лісовкриті площі займають 223,0 тис. га або 6,7 % території області. Землі водного фонду складають 210,6 тис. га або 6,3 % території області. Землі промисловості, транспорту, зв'язку, енергетики займають 31,7 тис. га. До порушених земель віднесено 2,4 тис. га (з них не задіяні у виробництві 1,5 тис. га). Землі, що використовуються для транспорту та зв'язку, в цілому по Одеській області займають 25,1 тис. га. Площа земель під твердими побутовими відходами складає 0,5 тис. га, з яких більша частина не відповідає екологічним нормам [22].

На території обласні має зростає велика кількість рослин, в тому числі рідкісних, занесених до Червоної книги України. Із «червонокнижних» видів тут охороняються, зокрема, сальвінія плаваюча, водяний горіх плаваючий, плавун щитолистий, меч-трава болотна, альдрованда пухирчаста, зозулинець болотний, коручка болотна і чемерицеподібна, білоцвіт літній, гвоздика бессарабська, ковила дніпровська, золотобородник цикадовий та інші. Перелік видів тварин і рослин, які підлягають особливій охороні на території Одеської області, налічує 292 види рослинного світу, з них 155 занесені до Червоної книги України. У заказнику «Савранський ліс» особливу цінність становлять окремі ділянки дубу скельного [23].

Фауна Одеської області різноманітна і представлена 1500 видами безхребетних та більше ніж 400 видами хребетних тварин. Зареєстровано понад 320 видів птахів, серед яких є рідкісні види. Серед земноводних

найбільш чисельними є озерна та їстівна жаби, звичайна квакша та дунайський тритон, а серед плазунів – болотна черепаха, звичайний вуж, прудка ящірка. Із ссавців особливий інтерес викликає єдиний представник ластоногих Чорного моря – тюлень-монах. У Чорному морі розповсюджені популяції дельфінів (афаліна, білобочка, азовка). Із навколоводних звірів – мешканці прісних водойм: інтродуковані ондатра та єнотоподібний собака, а також рідкісні «червонокнижні» – горностай, річкова видра, європейська норка. В плавнях зрідка зустрічається кіт лісовий. Іхтіофауна також вкрай різноманітна. В річках і озерах водяться лящ, судак, сом, щука, сазан, окунь та інші види риб. В акваторії Дунаю зустрічаються види риб, занесені до Європейського Червоного списку: шип, атлантичний осетер, чорноморський та дунайський лосось, умбра, чоп великий та малий, стерлядь, вирезуб, пічкур дунайський довговусий, шемая дунайська, йорж смугастий, білуга (найбільша серед риб, що мешкають в прісних водах) та інші. З промислових видів найціннішими є осетрові та дунайський оселедець [22].

Одеська область являє собою приклад регіону зі специфічною, достатньо складною і своєрідною ландшафтною структурою – ландшафтним різноманіттям, з різнорідним сільськогосподарським використанням. У межах території Одеської області існує 26 груп і 50 видів ландшафтів. Це вказує на велику ландшафтну різноманітність ерозійних ландшафтів на території регіону. Проте всі зональні ландшафти антропогенно змінені і представляють собою агроландшафти. У межах території області існують тільки окремі ареали заповідних територій різної значимості, в межах яких існують природні комплекси. В Одеській області Г.П. Пилипенко (1993) виділяє: степові ландшафти (Північностепові, Середньостепові, Південностепові); приморські ландшафти (лиманно-морські солончакові рівнини - пересипи, коси, острови; терасові рівнини; заплавні ландшафти).

4. ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень можна зробити наступні висновки.

1. Існує дуже широкий підхід як до самого поняття «екосистемні послуги», так і до його використання стосовно не тільки природних,

але й напівприродних та штучних екосистемах, а також в інших аспектах. При цьому, не завжди урахується зв'язок екосистемних послуг виключно з різноманітними природними екосистемами та їх безкоштовністю.

2. Термін «екосистемні послуги» є невдалим, оскільки природні екосистеми не можуть надавати послуги, тому як послуга – це акт, якась усвідомлена дія. Природа існує, а не надає послуги, а природні ресурси і умови існують незалежно від людини. Термін «послуги» не може бути використаний відносно природних екосистем, оскільки під «послугами» розуміють цілеспрямовану діяльність саме людини, результат якої має корисний ефект, задовольняючий будь-які потреби людини.

3. У природокористуванні основним об'єктом досліджень є природна система яка часто розглядається як синонім терміну «екосистема». Володіючи великою кількістю схожих елементів і зв'язків, і екосистема, і природна система розрізняються спрямованістю внутрішньосистемних зв'язків. Для моделі екосистеми притаманна спрямованість зв'язків з боку факторів «середовища» (об'єкт), насамперед, на головний об'єкт – «господаря» (суб'єкт), а для моделі природної системи – типове визнання рівності всіх зв'язків. З позицій природокористування інтерес можуть представляти як біогенні, так і абіогенні компоненти природної системи, але оптимізація природокористування передбачає збереження сприятливих умов для існування і розвитку біоти і, передусім, людської популяції.

4. При оптимізації природокористування правильніше говорити не про використання природних ресурсів, а про використання їх певної частини, тобто про природно-ресурсний потенціал, тобто здатність природних систем без шкоди для себе (а, отже, і для людей) віддавати необхідну для людства продукцію або виконувати корисну роботу в рамках господарства даного історичного типу. (як бачимо, це визначення є досить близьким до поняття «екосистемні послуги»).

5. Низкою вчених вважається, що цінність природи нескінченна, а, отже, не може мати грошового еквіваленту і оцінювати її окремі елементи просто абсурдно. Однак на даний час економічна оцінка екосистемних послуг вкрай важлива для ефективного природокористування

і вона може бути базисом для прийняття обґрунтованих управлінських рішень. Це дозволяє раціонально використовувати наявні ресурси, оцінювати інвестиційну привабливість екологічно орієнтованих проектів, а також сприяє розвитку та впровадженню системи компенсаційних платежів. Проте, такий підхід є домінуючим, тому що їх монетизація, тобто їх оцінка у грошовому еквіваленті, допомагає зрозуміти людям, наскільки важливим у їхньому житті є збереження біогенної та абіогенної природних складових екосистем (природних систем).

6. Автором пропонується замість терміну «екосистемні послуги» використовувати поняття «корисні властивості природних систем», тобто забезпечувальні, регулюючі, культурні послуги та підтримуючі корисні властивості природних систем. Обмежують корисні властивості природних систем стихійні природні процеси, а також різноманітні фізичні, хімічні та біологічні забруднення антропогенного походження.

7. В роботі надається оцінка корисних властивостей різноманітних природних систем окремих частин прибережної зони Північно-Західного Причорномор'я (у межах Одеської області). Від цих природних екосистем можна отримати матеріальні вигоди, але на можливості використання їх корисних властивостей негативно відображається зростаючий техногенний вплив на складові довкілля через процеси урбанізації, розвиток промисловості, енергетики, транспорту, аграрного сектора економіки тощо, а з лютого 2022 р. – внаслідок військової діяльності та бойових дій.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Erlich P., Erlich A. Extinction: The Causes and Consequences of the Disappearance of Species. New York, 1981. 305 p.
2. Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends Assessment. Washington, DC: Island Press, 2005. 516 p.
3. Wallace K. Classification of ecosystem services: Problems and Solutions. *Biological Conservation*. 2007. No. 139. P. 246.
4. The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature. A synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB. Malta: Progress Press, 2010. 49 p.
5. Василюк О., Ільмінська Л. Екосистемні послуги: огляд. URL: https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2020/09/EcoPosluga_web_new.pdf (дата звернення: 27.12.2022)

6. Веклич О. О., Колкова В. М., Патока І. В. Комплекс нормативно-законодавчих пропозицій щодо впровадження екосистемного підходу в управлінську практику. *Економіка і держава*. 2022. №5. С. 56-61.
7. Гавриленко О. П. Конфлікти природокористування в контексті втрати екосистемних послуг *Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія Географічні науки*. 2019. Вип. 10. С. 101-106.
8. Екологічна енциклопедія / Редколегія: А.В. Толстоухов та ін. Київ: ТОВ «Центр екологічної освіти», 2008. Т. 3. 472 с.
9. Реймерс Н. Ф. Природопользование. Словарь-справочник. Москва: Мысль, 1990. 639 с.
10. Охрана ландшафтов: толковый словарь. Москва: Прогресс, 1982. 271с.
11. Руденко В. П. Оцінка природно-ресурсного потенціалу України як основа менеджменту природоохоронної діяльності: монографія. Чернівці: Рута, 2014. 248 с.
12. Закорчевна Н. Оценка экосистемных услуг в бассейне нижнего Днестра. 2019. 22 с. URL: <https://iwlearn.net/resolveuid/9a6d0000-7c18-4546-bcbc-5dcb9a51f8d2> (дата звернення: 27.12.2022).
13. Ecosystem services / Villagómez-Cortés, Ángel-Pérez, Villagómez-Cortés J. A., del-Ángel-Pérez A. L. *Res. J. Environ. and Earth Sci.* 2013. Vol. 5 (5). Pp. 278-286.
14. Реймерс Н. Ф. Экология: теории, законы, правила, принципы и гипотезы. Москва: Россия молодая, 1994. 367 с.
15. Руденко В. П. Географія природно-ресурсного потенціалу України. У 3-х част.: підручник. Чернівці: Чернівецький нац. ун-т, 2010. 552 с
16. Бобылев С. Н., Захаров В. М. Экосистемные услуги и экономика. Москва: ООО «Типография ЛЕВКО». 2009. 72 с.
17. Стан і якість природного середовища прибережної зони Північно-Західного Причорномор'я: монографія / за ред. Т.А. Сафранова, А.В. Чугай; Т.А. Сафранов, А.В. Чугай, М.А. Берлінський та ін. Харків: ФОП Панов А.М., 2017. 298 с.
18. Сафранов Т. А., Берлінський М. А., Юссеф ель Хадрі, Сліже М. Оцінка екосистемних послуг північно-західної частини Чорного моря: стан, проблеми та перспективи. *Вісник ХНУ імені В.Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2022. Вип. 56. С. 255-263.
19. Тучковенко Ю. С., Сапко О. Ю. Характеристика сбросов антропогенных источников загрязнения морских вод у побережья Одессы в современный период. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2017. Вип. 22. С. 5-13.
20. Сафранов Т. А., Берлінський М. А., Змієнко Д. М. Пластик твердих побутових відходів прибережної зони Північно-Західного Причорномор'я як складова морського сміття. *Вісник ХНУ імені В.Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. 2020. Вип. 23. С. 57-66.
21. Інформаційно-аналітичні матеріали Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України з питання «Аналіз площ природно-заповідного фонду України в розрізі адміністративно-територіальних одиниць за 2020 рік. URL: <https://wownature.in.ua/wp-content/uploads/2021/05/Dovidka-PZF-2020-V3.0-.pdf> (дата звернення 27.12.2023).
22. Стратічук Н. В. Оцінка природно-ресурсного потенціалу території Одеської області. *Таврійський науковий вісник*. 2020. Вип. 116. Ч. 2. С. 179-184
23. Екологічний паспорт Одеської області 2020 рік. URL: https://mepr.gov.ua/files/docs/eco_passport/2021/%D0%B4%D0%B5%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B0%20%D0%BE%D0%B1%D0%BB.pdf (дата звернення 27.12.2022).

REFERENCES

1. Erlich, P. & Erlich, A. (1981). *Extinction: The Causes and Consequences of the Disappearance of Species*. New York.
2. *Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends Assessment* (2005). Washington, DC: Island Press.
3. Wallace, K. (2007). Classification of ecosystem services: Problems and Solutions. *Biological Conservation*, 139, p. 246.
4. *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature. A synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB* (2010). Malta: Progress Press.
5. Vasyliuk, O. & Ilminska, L. *Ekosystemni posluhy: ohliad [Ecosystem services: an overview]*. Available at: https://uncg.org.ua/wpcontent/uploads/2020/09/EcoPoslug_y_web_new.pdf (Accessed.: 27.12.2022) (in Ukr.)
6. Veklych, O.O., Kolkova, V.M. & Patoka, I.V. (2019). Kompleks normatyvno-zakonodavchykh propozyitsii shchodo vprovadzhennia ekosystemnoho pidkhodu v upravlinsku praktyku [A complex of regulatory and legislative proposals for the introduction of the ecosystem approach in management practice]. *Ekonomika i derzhava [Economy and the state]*, 5, pp. 56-61 (in Ukr.).
7. Havrylenko, O.P. (2019). Konflikty pryrodokorystuvannia v konteksti vtraty ekosystemnykh posluh. [Conflicts of nature use in the context of loss of ecosystem services]. *Naukovyi visnyk Khersonskoho derzhavnoho universytetu. Serii Heohrafichni nauky. [Scientific bulletin of Kherson State University. Geographical sciences series]*, 10, pp. 101-106.
8. Tolstoukhov, A.V. etc. (eds). *Ekolohichna entsyklopediia [Ecological encyclopedia]* Kyiv: LLC «Tsentri ekolohichnoi osvity», 2008. Vol. 3.
9. Rejmers, N.F. (1990) *Prirodopol'zovanie. Slovar'-spravochnik [Nature management. Dictionary-reference]*. Moscow: Mysl' .(in Russ).
10. *Okhrana landshaftov: tolkovyy slovar' [Landscape protection: explanatory dictionary]* (1982). Moscow: Progress. (in Russ).
11. Rudenko, V.P. (2014). *Otsinka pryrodno-resursnoho potentsialu Ukrainy yak osnova menedzhmentu pryrodokhoronnoi diialnosti: monohrafiia [Assessment of the natural resource potential of Ukraine as a basis for the management of environmental protection activities: monograph]*. Chernivtsi: Ruta (in Ukr.).
12. Zakorchевна, N. (2019). *Otsenka ekosystemnykh uslug v bassejne nizhnego Dnestra [Assessment of Ecosystem Services in the Lower Dniester Basin]*. 22 p. Available at: <https://iwlearn.net/resolveuid/9a6d0000-7c18-4546-bcbc-5dcb9a51f8d2> (Accessed.: 27.12.2022) (in Russ.).

13. Villagómez-Cortés, et al. Ecosystem services. *Res. J. Environ. and Earth Sci.*, 2013, 5(5), pp. 278-286.
14. Reymers, N.F. (1994). *Ekologiya: teorii, zakony, pravila, printsipy i gipotezy* [Ecology: theories, laws, rules, principles and hypotheses]. Moscow: Rossiya molodaya. (in Russ).
15. Rudenko, V.P. (2010). *Heohrafiia pryrodno-resursnoho potentsialu Ukrainy. U 3-kh chast.* [Geography of Ukraine's natural resource potential. In 3 parts]. Chernivtsi : Chernivetskyi nats. un-t.(in Ukr.)
16. Bobylev, S.N. & Zakharov, V.M. (2009). *Ekosistemnye uslugi i ekonomika* [Ecosystem services and economics]. Moscow: LLC «Tipografiya LEVKO». (in Russ.).
17. Safranov, T.A. & Chuhai, A.V. (eds) (2017). *Stan i yakist pryrodnoho seredovyscha pryberezhnoi zony Pivnichno-Zakhidnoho Prychornomoria* [State and quality of the natural environment of the coastzone of the North-Western Black Sea]. Kharkiv: FOP Panov A.M. (in Ukr).
18. Safranov, T.A. et al. (2022). Otsinka ekosystemnykh posluh pivnichno-zakhidnoi chastyny Chornoho moria: stan, problemy ta perspektyvy [Assessment of ecosystem services of the North-Western Part of the Black Sea: state, problems and prospects]. *Visnyk KhNU imeni V.N. Karazina. Seriya «Heolohiia. Heohrafiia. Ekolohiia»* [Bulletin of the KhNU named after V.N. Karazin. "Geology", "Geography", "Ecology" series.], 56, pp. 255-263. (in Ukr).
19. Tuchkovenko, Yu.S. & Sapko, O.Yu. (2017). *Kharakteristika sbrosiv antropogennykh istochnikov zagryazneniya morskikh vod u poberezhya Odessa v sovremennyi period* [Characteristics of discharges of anthropogenic sources of sea water pollution near the coast of Odessa in the modern period]. *Visnyk Odeskoho derzhavnogo ekolohichnoho universytetu* [Bulletin of Odessa State Ecological University], 22, pp. 5–13. (in Russ.).
20. Safranov, T.A., Berlinskyi, M.A. & Zmiienko, D.M. (2020). *Plastyk tverdykh pobutovykh vidkhodiv pryberezhnoi zony Pivnichno-Zakhidnoho Prychornomoria yak skladova morskoho smittia* [Plastic from solid household waste of the coastal zone of the North-Western Black Sea coast as a component of marine litter]. *Visnyk KhNU imeni V.N. Karazina. Seriya «Ekolohiia»*. [Bulletin of the KhNU named after V.N. Karazin. "Ecology" series.], 23, pp. 57-66. (in Ukr).
21. *Informatsiino-analitychni materialy Ministerstva zakhystu dovykillia ta pryrodnykh resursiv Ukrainy z pytannia «Analiz ploshch pryrodno-zapovidnoho fondu Ukrainy v rozrizi administratyvno-terytorialnykh odynyt za 2020 rik* [Informational and analytical materials of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine on the issue of "Analysis of the areas of the nature reserve fund of Ukraine by administrative and territorial units for 2020] (2021). Available at: <https://wownature.in.ua/wp-content/uploads/2021/05/Dovidka-PZF-2020-V3.0-.pdf> (Accessed.: 27.12.2022) (in Ukr)
22. Strachuk, N.V. (2020). Otsinka pryrodno-resursnoho potentsialu terytorii Odeskoi oblasti. visnyk [Assessment of the natural resource potential of the Odesa region]. *Tavriiskyi naukovyi* [Taurian Scientific Bulletin], 116, part. 2, pp.179-184. (in Ukr).
23. *Ekolohichniy pasport Odeskoi oblasti 2020 rik* [Environmental passport of Odesa region 2020] (2021). Available at: https://mepr.gov.ua/files/docs/eco_passport/2021/%D0%9E%D0%B4%D0%B5%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B0%20%D0%BE%D0%B1%D0%BB.pdf (Accessed: 27.12.2022) (inUkr).

USEFUL PROPERTIES OF NATURAL SYSTEMS WITHIN SPECIFIC PARTS OF THE NORTH-WESTERN BLACK SEA REGION'S COASTAL ZONE

Tamerlan A. Safranov

Odessa State Environmental University,
15 Lvivska Str., 65016, Odesa, Ukraine, safranov@ukr.net
<http://orcid.org/0000-0003-0928-5121>

The paper characterizes the term 'ecosystem services' i.e. useful resources and benefits that present-day humanity can receive from nature (both tangible and intangible benefits from the abiogenic and biogenic components of various natural ecosystems). The purpose of the work is to assess the beneficial properties of natural systems of certain parts of the coastal zone of the North-Western Black Sea. There is a quite broad approach to the very concept of 'ecosystem services'. However, the connection of ecosystem services with natural ecosystems only and their free of charge essence may be often disregarded. The term 'ecosystem services' is not appropriate, since natural ecosystems cannot provide any services considering that 'a service' means an act or a purposeful action. Nature exists and does not provide any services, while natural resources and conditions exist independently of human beings. The term 'services' cannot be used in relation to natural ecosystems, since 'services' mean some purposeful activity of a person resulting in occurrence of a beneficial

effect that can satisfy any human needs. In the sphere of nature management a natural system serves as a main object of research. When it comes to optimizing the nature management, it is more correct to speak about use of a certain part of natural resources, i.e. about a natural resources potential, rather than about use of them in their entirety. A number of scientists believe that the value of nature is infinite, and, therefore, cannot have a monetary equivalent. However, at present days, the economic valuation of ecosystem services is extremely important to ensure efficient nature management and can form a basis for making informed management decisions. This approach is dominant though, because such monetization helps people in their understanding of importance of conserving the biogenic and abiogenic components of natural systems for the sake of their lives. Instead of the term 'ecosystem services' the author suggests using the concept of 'useful properties of natural systems', i.e. their providing, regulating and cultural services, as well as supporting properties. The useful properties of natural systems are limited by both hazardous natural processes and physical, chemical and biological pollution of anthropogenic origin. The research offers an assessment of useful properties of natural systems within specific parts of the North-Western Black Sea Region's coastal zone (in Odesa Oblast). These natural ecosystems can provide tangible benefits, however, the possibility of using their beneficial properties is negatively affected by a progressing technogenic impact on the components of the natural environment of urbanization processes, development of industries, energy, transport and agricultural sectors of our economy, and, starting from February 2022, by the military activities and combat operations.

Keywords: natural systems, coastal zone, ecosystem services, beneficial properties.

Подання до редакції : 11. 01. 2023
Надходження остаточної версії : 09. 02. 2023
Публікація статті : 29. 07. 2023

УДК 551.510.42, PACS 92.00.00, 89.60.Gg:

СТАН ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В УКРАЇНІ НАПЕРЕДОДНІ ПОВНОМАСШТАБНОГО РОСІЙСЬКОГО ВТОРГНЕННЯ. ЧАСТИНА 1: ПРИЗЕМНИЙ ВМІСТ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН

М. В. Савенець, І. В. Дворецька, Т. В. Козленко,
К. М. Комісар, А. П. Уманець, Н. С. Жемера

Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України,
пр-т. Науки, 37, 03028, Київ, Україна, savenets@uhmi.org.ua

Робота присвячена дослідженню приземного забруднення атмосфери в Україні для встановлення базового стану якості атмосферного повітря напередодні повномасштабного російського вторгнення. Аналіз проведено для 5 забруднюючих домішок (пилу, діоксиду сірки (SO₂), монооксиду вуглецю (CO), діоксиду азоту (NO₂) та формальдегіду (CH₂O)) на 126 постах спостережень у 39 містах. Виявлено, що найчастіше атмосферне повітря у містах зазнавало небезпечних перевищень за вмістом пилу, NO₂ та CO. У той же час вміст SO₂, зазвичай, не досягав небезпечних концентрацій. Найбільша повторюваність перевищення максимально разових граничних показників характерна для промислово навантажених міст, де небезпечні рівні забруднення спостерігалися у 15–60% випадків залежно від домішки. Концентрації пилу та NO₂ у найзабрудненіших містах на порядок перевищували вміст забруднюючих речовин у менших обласних центрах без потужної промисловості. Різниця у середніх концентраціях CO, SO₂ та CH₂O між постами у різних містах складала 3-5 рази. Встановлено закономірності сезонної мінливості забруднюючих речовин на постах спостережень. Характерним є слабо виражена сезонність за винятком CH₂O та пилу. Проаналізовано міжрічну мінливість та тренди забруднюючих речовин і їх викидів. Виявлено неузгодженість тенденцій забруднюючих речовин та викидів в останні роки. На фоні зменшення викидів, концентрації забруднюючих речовин часто продовжували зростати. Проаналізовано вплив атмосферних явищ та характеристик вітру на формування високих та низьких рівнів забруднення атмосферного повітря. Аналіз показав значну роль локальних умов формування поля забруднення поблизу постів. Зміна концентрацій домішок на різних постах одного міста може бути різною за однакових атмосферних явищ. Вплив вітру також формує відмінне поле забруднення в межах одного міста. Залежно від забруднюючої речовини, від 12% до 22% постів характеризуються переважаючим впливом одного джерела викидів (або групи джерел), в той час як інші пости характеризуються значною варіативністю концентрацій, що надходять з різних напрямків. Досліджений стан якості атмосферного повітря може бути використано як базовий для порівняння та оцінки наслідків воєнних дій в Україні на основі даних приземного вмісту забруднюючих речовин. Наголошено на важливості актуалізації інформації щодо умов розташування наземних постів спостережень.

Ключові слова: пости спостережень; забруднюючі речовини; концентрації; викиди; атмосферне повітря.

1. ВСТУП

Формування забруднення атмосферного повітря є достатньо мінливим процесом [1,2], що сильно реагує на перерозподіл джерел викидів та зміну метеорологічних умов [3]. Будь-який науковий аналіз, а також прийняття управлінських рішень щодо покращення стану якості атмосферного повітря та відслідковування ефективності прийнятих заходів потребує наявності базових періодів відносно яких проводиться порівняння та оцінка змін у

концентраціях забруднюючих речовин [4,5]. У лютому 2022 року відбулося повномасштабне російське вторгнення на територію України, що суттєво вплинуло на забруднення атмосферного повітря. З одного боку, з'явилися нові джерела викидів забруднюючих речовин, пов'язаних із воєнними діями. З іншого боку, руйнування інфраструктурних та промислових об'єктів, знищення міст та масове переміщення населення в інші райони фактично змінили просторовий розподіл антропогенних джерел викидів. Вже сьогодні існує нагальна потреба постійного

моніторингу зміни забруднення атмосферного повітря під час війни, що активно проводиться державними відомствами [напр., 6,7], громадськістю [напр., 8] та науковцями [9-11]. Через деякий час постане проблема оцінки наслідків воєнних дій та необхідність прийняття рішень щодо післявоєнного розвитку базуючись на інформації про зміни, що відбулися. За цих умов, важливо мати поняття про базовий стан якості атмосферного повітря, який був напередодні повномасштабного російського вторгнення, що стане відправною точкою оцінки наслідків та змін, що відбулися із джерелами викидів. При цьому, враховуючи обмеженість спостережень за забрудненням атмосферного повітря поза містами, важливим є встановлення такого базового стану на основі як наземних даних, так і супутникових спостережень, що дозволять охопити всю територію України.

Тема якості атмосферного повітря в Україні завжди була вкрай актуальною, враховуючи розвиток промисловості та вплив викидів забруднюючих речовин, що дозволяє сформувати достатньо повну картину про історичну зміну якості атмосферного повітря та проаналізувати існуючі тенденції у концентраціях. Уявлення про забруднення атмосфери в Україні були сформовані науковцями на теренах колишнього Радянського Союзу [12-14]. Значних змін зазнали джерела викидів у 1990-х рр. внаслідок економічного спаду, що вплинуло і на якість атмосферного повітря [15,16]. З 2000-х рр. почали активно розвиватися різноманітні напрямки досліджень актуального стану забруднення як для всієї території України [16,17], так і для окремих регіонів та міст [18-20]. У останнє десятиріччя до аналізу стали активно залучатися новітні методи досліджень із залученням супутникового зондування, сучасних математичних моделей, та методів вимірювань [21-24], тощо. Усі ці дослідження дозволяють простежити поступову еволюцію забруднення атмосферного повітря в Україні. В той же час, початок активних воєнних дій у 2022 році поставив необхідність окреслення того стану атмосферного повітря на території України, який спостерігався у попередні роки та міг би стати базовим для майбутньої оцінки наслідків та планування післявоєнного розвитку.

Метою даної роботи є оцінка типових статистичних характеристик забруднення атмосферного повітря напередодні повномасштабного російського вторгнення, здійсненого для основних забруднюючих

речовин (пилу, діоксиду сірки (SO_2), монооксиду вуглецю (CO), діоксиду азоту (NO_2), формальдегіду (CH_2O)), що вимірювалися на мережі спостережень за станом забруднення атмосферного повітря Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського (ЦГО). Важливим є формування уявлення про базовий стан забруднення атмосфери, оцінка якого здійснена індивідуально для усіх постів спостережень. Необхідно враховувати, що зміна активності джерел викидів та формування перешкод (забудови та рослинності) поблизу тих чи інших постів часто залишалися незафіксованими, в тому числі відсутні узагальнення щодо умов розташування постів на сучасному етапі. Як наслідок, ще однією задачею роботи стало формування розуміння щодо кількості постів на яких поле забруднення формується під впливом локальних умов. Це дозволить у майбутньому відокремлювати зміни забруднення атмосферного повітря внаслідок перерозподілу джерел викидів, в тому числі й спричинених воєнними діями, на фоні змін спричинених впливом метеорологічних та кліматичних умов території. У даній статті представлено першу частину досліджень, що охоплює дані приземного вмісту забруднюючих речовин на основі наземних вимірювань.

2. ВИХІДНІ ДАНІ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження виконані на основі даних наземних спостережень на постах моніторингу мережі спостережень за станом забруднення атмосферного повітря, отримані із архівів ЦГО. Аналіз середніх значень, повторюваності перевищення граничних нормативних показників, сезонної мінливості та залежності від метеорологічних величин проведено на основі строкових спостережень (01, 07, 13, 19 години) за пилом, SO_2 , CO , NO_2 , CH_2O за період 2019–2020 рр. Загалом залучено 126 постів у 39 містах. Детальні характеристики постів спостережень та карта просторового розподілу міст із наявними наземними спостереженнями представлено у Savenets et al. (2022) [23]. Дослідження міжрічної мінливості та обчислення трендів здійснено на основі осереднених концентрацій забруднюючих речовин за рік над містами за період 2008–2020 рр. Період обрано із розрахунку отримання статистично значущих трендів, що найкращим чином відобразатиме зміну забруднення атмосферного повітря в сучасних умовах. Тому,

період менше кліматичного, але перевищує 10 років, що згідно рекомендацій Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО) достатній для проведення кліматологічної оцінки [25]. За цей період часу використано дані загальних (стаціонарні + пересувні джерела) викидів забруднюючих речовин із національних доповідей та регіональних звітів про стан навколишнього природного середовища Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України [26]. Метеорологічні умови проаналізовано на основі строкових спостережень за атмосферними явищами (дощ, мряка, сніг, туман та туман з опадами) та напрямком і швидкістю вітру, здійсненими у строки спостережень за забрудненням атмосферного повітря. Метеорологічні характеристики обрані з метою врахування типових умов, що сприяють накопиченню та виведенню (осажденню й розсіюванню) забруднюючих речовин в атмосферному повітрі. У архівах ЦГО частина даних на постах спостережень супроводжується метеорологічною інформацією на постах. У разі відсутності такої інформації, вказуються дані отримані на метеорологічних станціях.

Розрахункові характеристики у роботі здійснено за загальноприйнятими статистичними обчисленнями. Середні показники за досліджуваний період, місяць або рік обчислено як середнє арифметичне. Тренди концентрацій та викидів обчислено методом найменших квадратів. Чіткість прояву сезонної мінливості визначено за співвідношенням дисперсії концентрацій, що описують сезонну мінливість, до дисперсії вихідних значень. Аналіз повторюваності небезпечних перевищень граничних максимально разових нормативних показників проведено за національними показниками. По-перше, відмінність від міжнародних показників є досить несуттєвою, що не матиме вплив на отримані значення повторюваності перевищень. По-друге, національні нормативи більш придатні для аналізу даних, отриманих на основі вимірювань мережі спостережень за станом забруднення атмосферного повітря (зокрема щодо пилу). За національними нормативами максимально разова гранично допустима концентрація (ГДК м.р.) складає 0.2 мг/м^3 для NO_2 , 5 мг/м^3 для CO , 0.035 мг/м^3 для CH_2O , 0.5 мг/м^3 для SO_2 та 0.5 мг/м^3 для пилу [27].

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Історично склалося, пости моніторингу мережі спостережень за станом забруднення атмосферного повітря в Україні розташовуються у промислових містах. При цьому, місце розташування переважної більшості постів обиралося з метою отримання інформації щодо негативного впливу тих чи інших підприємств промисловості. З часом, частину підприємств було закрито, частина модернізувала виробництво, а навколо постів спостережень з'явилися нові джерела викидів (переважно автошляхи). Як наслідок, на сьогодні дані про стан забруднення атмосферного повітря у містах описують дещо інше поле забруднення, ніж передбачалося в період облаштування постів спостережень. Враховуючи початок значного руйнування об'єктів промисловості у 2022 році внаслідок агресії російської федерації в Україні, важливим є фіксація основних характеристик стану якості атмосферного повітря, що стане базовим для оцінки наслідків воєнних дій. Серед таких характеристик є середні концентрації на постах спостережень та повторюваність перевищень максимально разових концентрацій. Аналіз строкових вимірів та нормативи максимально разових концентрацій будуть більш інформативними та обґрунтованими, враховуючи максимум 4-разовий забір проб за добу на мережі спостережень за станом забруднення атмосферного повітря. У тому числі, важливо дотримуватися статистично правильного порівняння, використовуючи ГДК м.р. для порівняння із строковими вимірами, ГДК с.д. – із осередненими значеннями за деякий період часу.

3.1 Рівні забруднення атмосферного повітря у містах України

Для міст території України характерна значна відмінність рівнів забруднення, де переважно для високого середнього вмісту забруднюючих речовин характерна й вища повторюваність перевищень граничних нормативних значень (рис. 1-5). Пости спостережень на рис. 1-5 проранжовано за повторюваністю перевищення максимально разових концентрацій в сторону зменшення показника. Загалом, найчастіше небезпечні рівні забруднення спостерігаються для пилу (рис. 1), NO_2 (рис. 2) та CO (рис. 3), що фіксувалися приблизно на половині із наявних постів спостережень, та перевищуючи повторюваність у 30% у деяких містах.

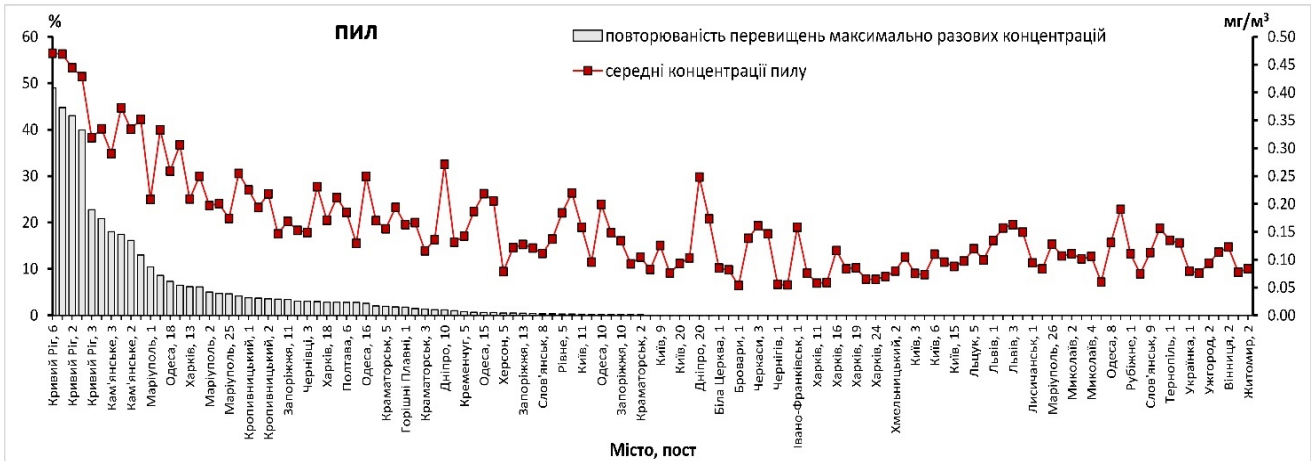


Рис. 1 - Середні концентрації пилу за період 2019–2020 рр. та повторюваність перевищення ГДК м.р. на постах
Fig. 1 - Average concentrations of dust for 2019–2020 and the frequency of maximal threshold levels exceedance at monitoring sites

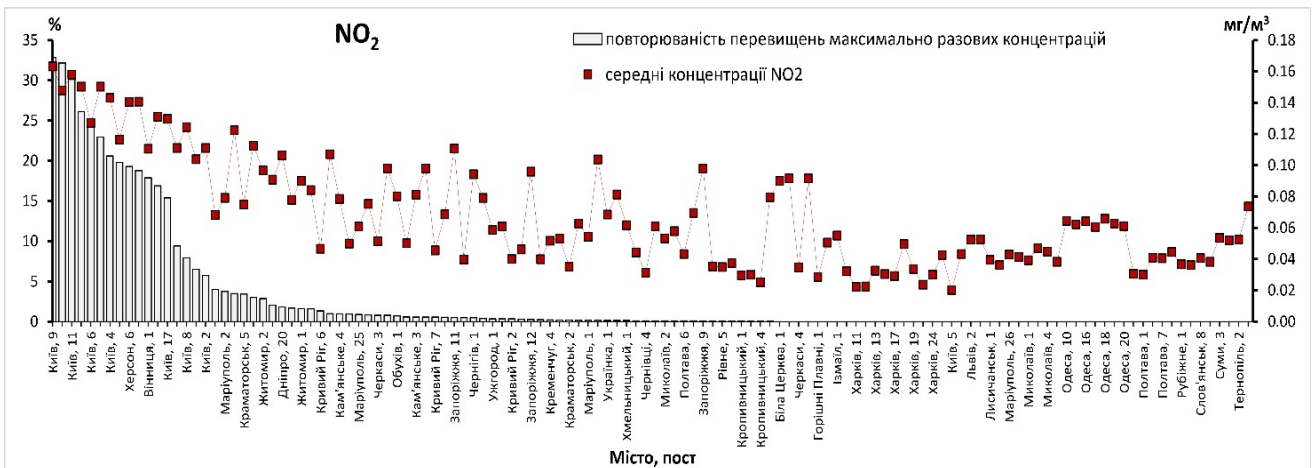


Рис. 2 - Середні концентрації NO₂ за період за період 2019–2020 рр. та повторюваність перевищення ГДК м.р. на постах
Fig. 2 - Average concentrations of NO₂ for 2019–2020 and the frequency of maximal threshold levels exceedance at monitoring sites

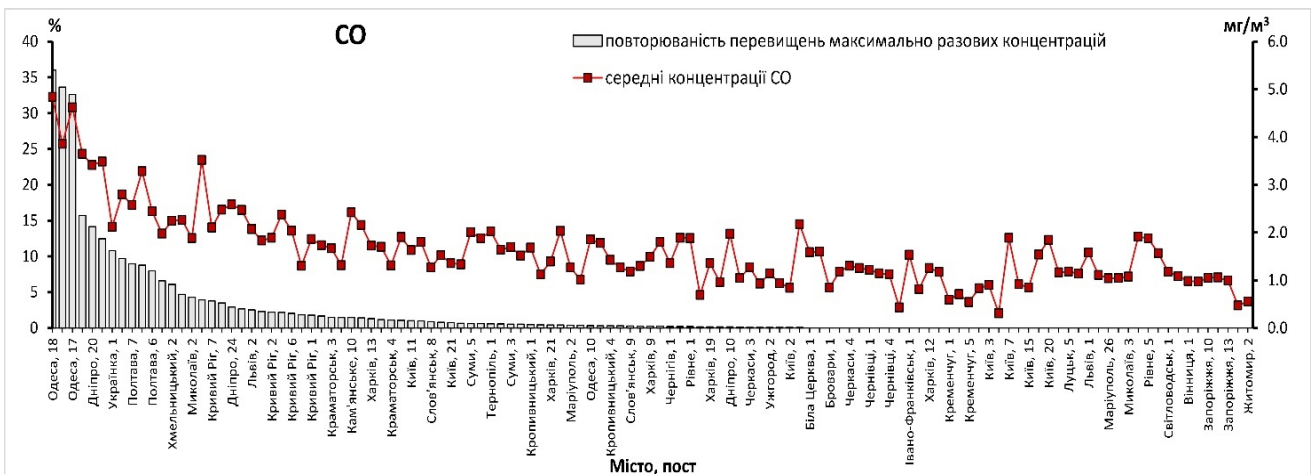


Рис. 3 - Середні концентрації CO за період за період 2019–2020 рр. та повторюваність перевищення ГДК м.р. на постах
Fig. 3 - Average concentrations of CO for 2019–2020 and the frequency of maximal threshold levels exceedance at monitoring sites

Найменша повторюваність небезпечних концентрацій спостерігається для SO₂ (рис. 4), що в останні роки фіксувалося тільки на 5 із 126 проаналізованих постах спостережень з повторюваністю близько 0.1%. Вміст CH₂O,

будучи далеко не найбільш проблемною домішкою для більшості міст України, характеризувався надто небезпечними рівнями у Маріуполі (рис. 5), де вкрай небезпечні

концентрації спостерігалися до 70% усіх вимірних значень.

За вмістом пилу найбільш забрудненими містами України є Кривий Ріг та Кам'янське (рис. 1). На постах спостережень у цих містах повторюваність небезпечних перевищень максимально разових концентрацій спостерігається у 20–50%, при цьому середні концентрації пилу перевищують 0.30 мг/м³. Від 5% до 15% перевищення допустимих максимально разових концентрацій спостерігається на частині постів у містах Одеса, Харків, Маріуполь, Кропивницький, Запоріжжя, Чернівці та Полтава. При цьому середній вміст пилу варіює переважно в межах від 0.10 до 0.30 мг/м³. На деяких постах у Дніпрі, Одесі, Львові, Рівному, Черкасах середній вміст пилу складає близько 0.15 мг/м³, в той же час повторюваність небезпечних перевищень є низькою, або взагалі відсутня. Найчистішими за вмістом пилу можна вважати Чернігів, Житомир, Бровари та деякі пости у Харкові, де середній вміст пилу близький до 0.05–0.07 мг/м³ за відсутності небезпечних перевищень нормативних показників. В цілому, для Харкова та Одеси характерна найбільша просторова варіативність концентрацій пилу, від дуже забруднених до одних із найчистіших постів.

Найгірший стан атмосферного повітря за вмістом СО спостерігався у Одесі, дещо краща ситуація у Дніпрі, Україні та Полтаві (рис. 3). На частині постів Одеси повторюваність небезпечних перевищень сягає 30-35%, а середні показники досягають 3.0–5.0 мг/м³. У Дніпрі, Україні та Полтаві більше 10% вимірних значень перевищують граничні нормативи, при цьому середні концентрації становили 2.0–3.0 мг/м³. У більше ніж половині досліджуваних

міст спостерігалися небезпечні рівні СО, при цьому середні значення на постах варіюють від 1.0 мг/м³ до 2.0 мг/м³. Це характерно і для міст, де небезпечних перевищень максимально разових концентрацій за досліджуваний період не зафіксовано. Найнижчі концентрації СО спостерігаються у Житомирі та на окремих постах міст Чернівці та Київ.

Серед усіх досліджуваних забруднюючих речовин, ситуація з SO₂ є найкращою. Лише на кількох постах зрідка (повторюваність 0.1%) спостерігалось перевищення максимально разових концентрацій, зокрема у Обухові, Северодонецьку та Києві (рис. 4). За середніми значеннями найбільш забрудненими є Київ, Одеса, Обухів, Северодонецьк, та деякі пости у Сумах, Запоріжжі, Білій Церкві, Черкасах, Хмельницькому, Львові та Житомирі. Концентрації SO₂ там перевищують 0.03 мг/м³ та досягають 0.1 мг/м³. У переважній більшості міст середній вміст SO₂ не досягає 0.01 мг/м³.

Найгірша ситуація з вмістом CH₂O спостерігалася у Маріуполі. На деяких постах повторюваність небезпечних концентрацій досягала 60% із середніми значеннями вище 0.04 мг/м³ (рис. 5). Серед забруднених CH₂O також були й інші промислові міста, зокрема Кривий Ріг, Миколаїв, Дніпро, Краматорськ та Кременчук. Середні концентрації CH₂O вище 0.01 мг/м³ та повторюваністю небезпечних перевищень максимально разових концентрацій від 1% до 9% спостерігаються на близько половині постів, де проводяться спостереження за CH₂O. Неочікувано низькі концентрації CH₂O виявлено у Києві та Харкові (нижче 0.01 мг/м³), що ймовірно свідчить про відсутність визначальної ролі промисловості у формуванні забруднення поблизу постів цих міст.

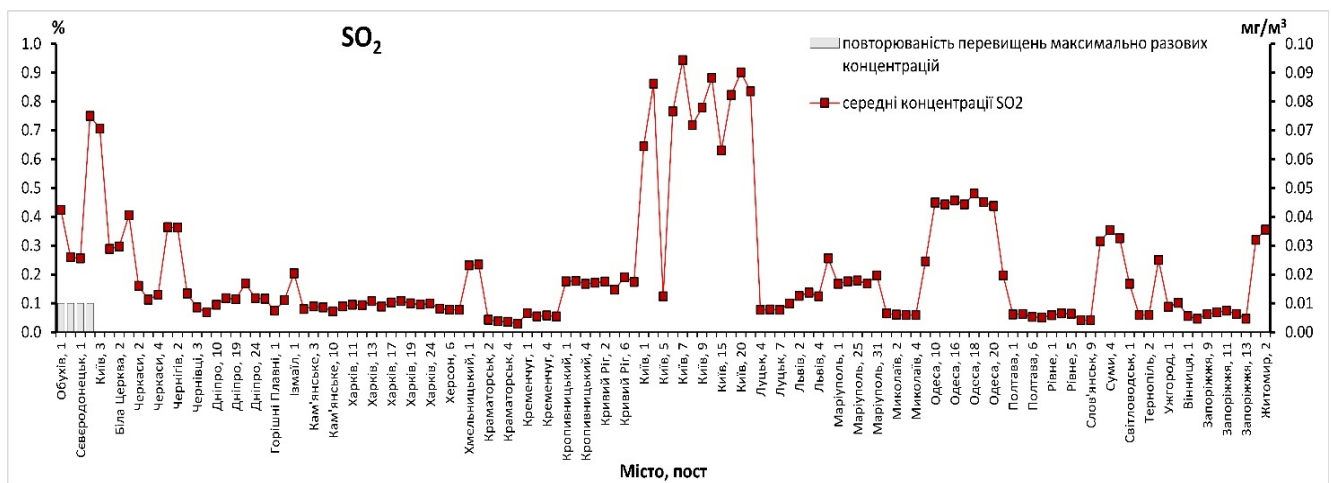


Рис. 4 - Середні концентрації SO₂ за період за період 2019–2020 рр. та повторюваність перевищення ГДК м.р. на постах
 Fig. 4 - Average concentrations of SO₂ for 2019–2020 and the frequency of maximal threshold levels exceedance at monitoring sites

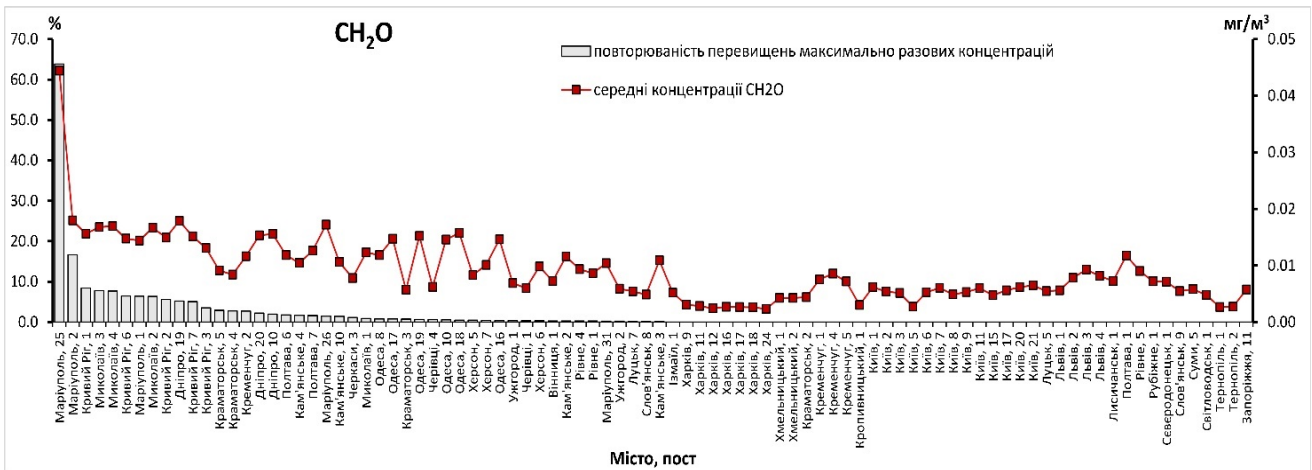


Рис. 5 - Середні концентрації CH₂O за період за період 2019–2020 рр. та повторюваність перевищення ГДК м.р. на постах
 Fig. 5 - Average concentrations of CH₂O for 2019–2020 and the frequency of maximal threshold levels exceedance at monitoring sites

3.2 Часові зміни приземного вмісту забруднюючих речовин у містах України

В останнє десятиріччя перед початком повномасштабного російського вторгнення на територію України спостерігалось посилення неузгодженості між даними інвентаризації викидів та концентраціями забруднюючих речовин, виміряних на постах державної мережі спостережень. Так, у переважній більшості проаналізованих міст викиди усіх забруднюючих речовин поступово зменшувалися. У найбільш забруднених містах України, де проводяться спостереження за забрудненням атмосферного повітря, викиди пилу зменшувались в середньому зі швидкістю 0.5–2.5 тис. т/рік, викиди SO₂ – 0.5–4.0 тис. т/рік, викиди NO₂ – 0.1–1.1 тис. т/рік, CO – 1.3–4.5 тис. т/рік, CH₂O – 2.0–10.0 тис. т/рік. На рис. 6–10 представлено динаміку викидів забруднюючих речовин у містах (з найпотужнішими викидами) для кожної домішки (стовпчикові діаграми), для яких побудовані лінійні тренди (пунктирні лінії відповідного кольору). Обчислені тренди показали значущість зменшення викидів у більшості міст території України, подекуди досягаючи R²>0.7.

Поряд із загальним зменшенням викидів, концентрації забруднюючих речовин не змінювалися, а часто й зростали. Так, на фоні міжрічних коливань вмісту забруднюючих речовин, переважно спостерігалися позитивні тенденції, в тому числі і у містах з викидами менше 1 тис. т на рік. Більш того, неузгодження між викидами та концентраціями простежується не тільки для тенденцій, але і для рівнів забруднення. З рис. 6–10 можна видно, що менші викиди не завжди узгоджуються з нижчими

концентраціями забруднюючих речовин (криві на графіках). Серед досліджуваних домішок найкращого узгодження з викидами та найбільшого зменшення у містах зазнають концентрації CO та CH₂O, досягаючи зменшення до -0.2 мг/м³ рік⁻¹ та -0.001 мг/м³ рік⁻¹ відповідно. У той же час, вміст пилу, SO₂, та NO₂ переважно зростає, із найбільш стрімким трендом до 0.02 мг/м³ рік⁻¹, 0.001 мг/м³ рік⁻¹ та 0.004 мг/м³ рік⁻¹ відповідно.

На жаль, відсутність додаткових вимірювань протягом доби та потенційні недоліки інвентаризації викидів не дозволяють отримати точне підтвердження причин неузгодженості даних. Факт зростання вмісту забруднюючих речовин на більшості досліджуваних постів свідчить про недосконалість проведення інвентаризації викидів. Враховуючи, що на сьогодні більшість постів спостережень розташовуються поблизу автошляхів, автотранспорт може відігравати ключову роль у тенденціях до зростання забруднення атмосфери останнього десятиріччя. Цей вплив потенційно може перевищувати наслідки зменшення викидів від промислових джерел, особливо у містах із великою чисельністю населення та у обласних центрах з відсутніми значними промисловими викидами. Зменшення концентрацій зазнають переважно сполуки із вмістом вуглецю (CO та CH₂O), що може підтверджувати зменшення використання твердого палива у промисловості та узгодження із загальними тенденціями до зменшення викидів. Проте, зростання вмісту NO₂ та пилу потребує більшої уваги до ролі автотранспорту у формуванні забруднення міст України.

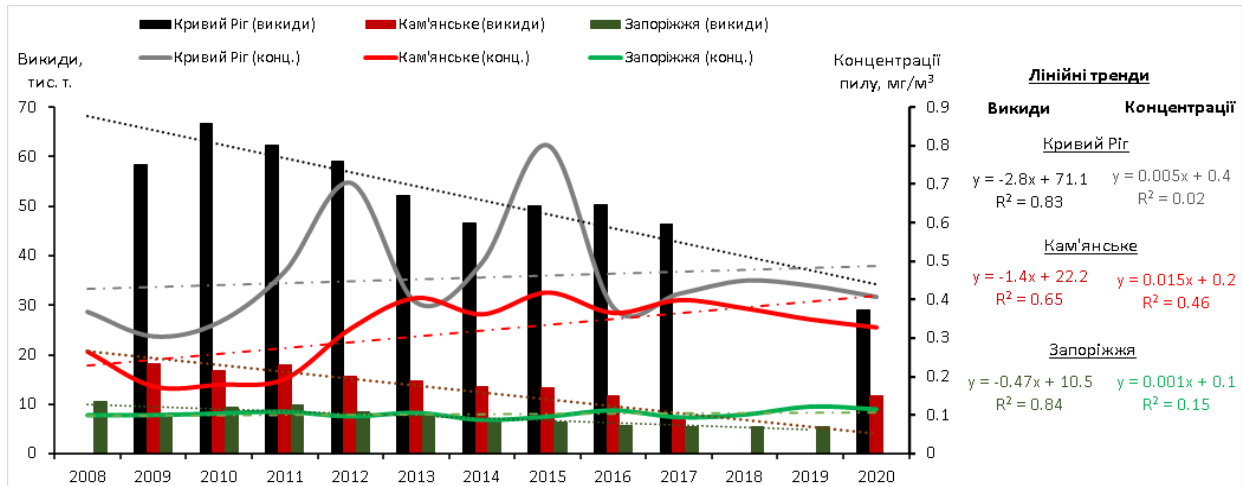


Рис. 6 - Часові зміни викидів (стовпчики) та концентрацій (криві) пилу, і їх тренди на прикладі Кривого Рогу, Кам'янського та Запоріжжя

Fig. 6 - Temporal changes of emissions (bars) and concentrations (curves) of dust, and their trends in the example of Kryvyi Rig, Kamianske, and Zaporizhzhia

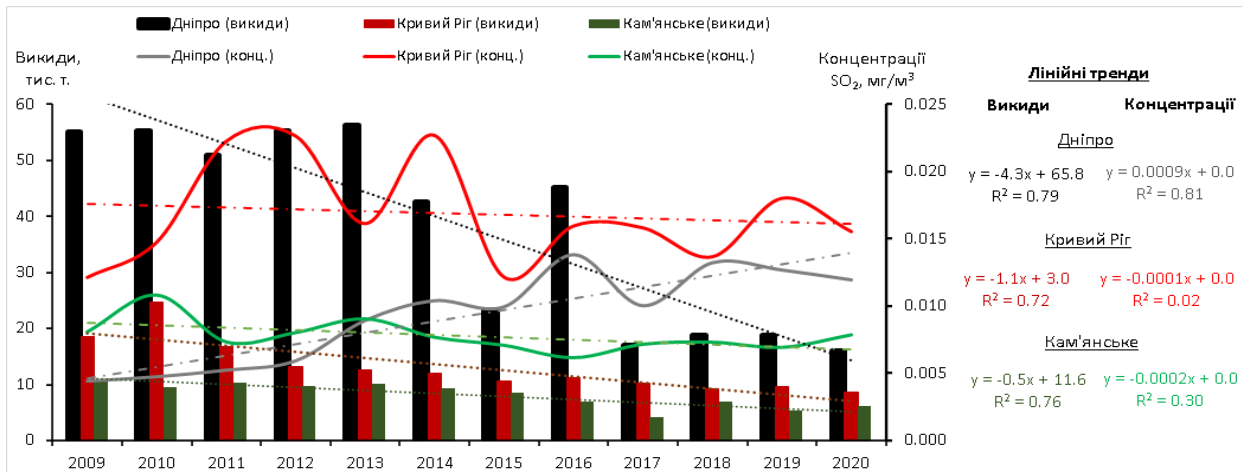


Рис. 7 - Часові зміни викидів (стовпчики) та концентрацій (криві) SO₂, і їх тренди на прикладі Дніпра, Кривого Рогу та Кам'янського

Fig. 7 - Temporal changes of emissions (bars) and concentrations (curves) of SO₂, and their trends in the example of Dnipro, Kryvyi Rig, and Kamianske

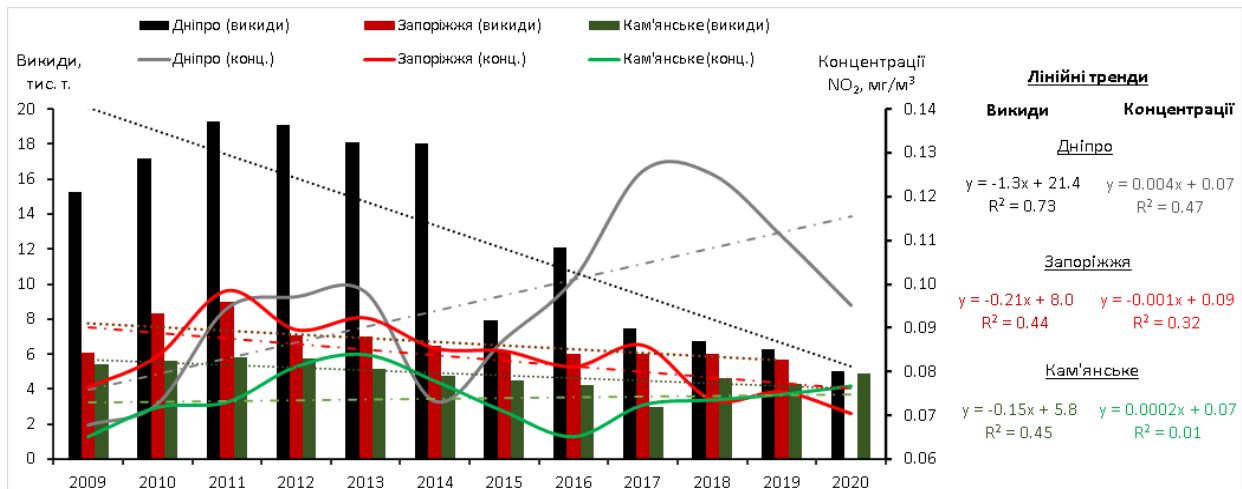


Рис. 8 - Часові зміни викидів (стовпчики) та концентрацій (криві) NO₂, і їх тренди на прикладі Дніпра, Запоріжжя та Кам'янського

Fig. 8 - Temporal changes of emissions (bars) and concentrations (curves) of NO₂, and their trends in the example of Dnipro, Zaporizhzhia, and Kamianske

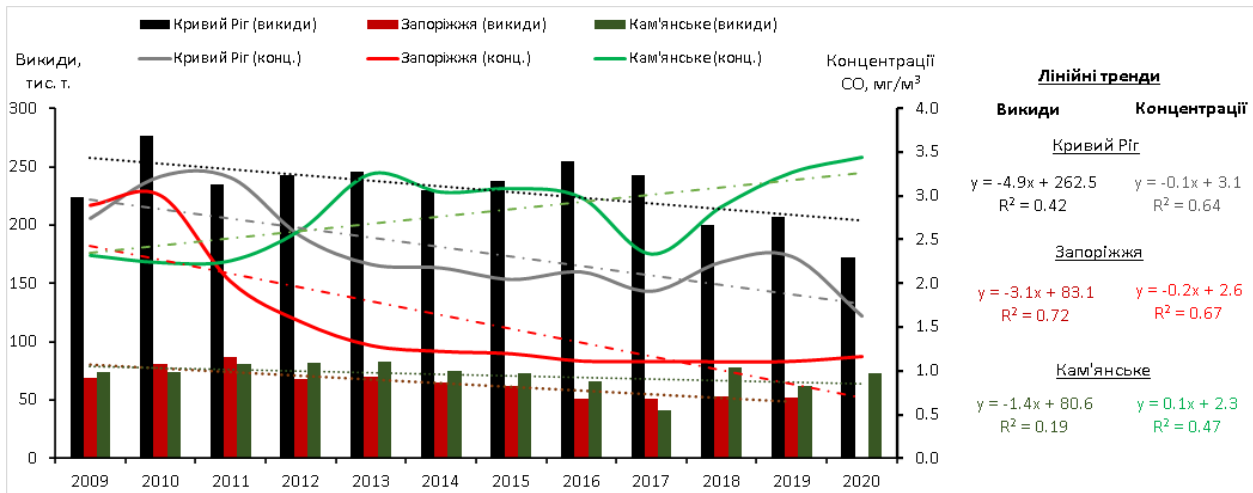


Рис. 9 - Часові зміни викидів (стовпчики) та концентрацій (криві) CO, і їх тренди на прикладі Дніпра, Запоріжжя та Кам'янського

Fig. 9 - Temporal changes of emissions (bars) and concentrations (curves) of CO, and their trends in the example of Dnipro, Zaporizhzhia, and Kamianske

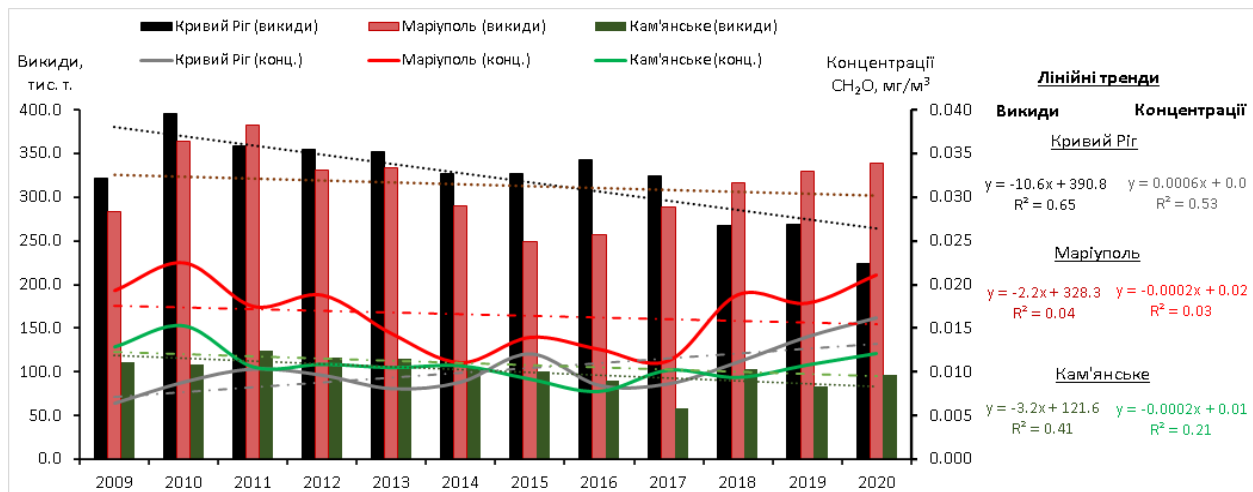


Рис. 10 - Часові зміни викидів (стовпчики) та концентрацій (криві) CH₂O, і їх тренди на прикладі Кривого Року, Маріуполя та Кам'янського

Fig. 10 - Temporal changes of emissions (bars) and concentrations (curves) of CH₂O, and their trends in the example of Kryvyi Rig, Mariupol, and Kamianske

Протягом останнього десятиріччя, сезонна мінливість забруднюючих речовин у містах України слабо виражена і для більшості домішок її прояв залежить від антропогенних чинників. Більша сезонна відмінність характерна для міст із високими концентраціями забруднюючих речовин. На рис. 11 зображено річний хід забруднюючих речовин у містах із характерними високими (>10 тис. т на рік) та з низькими (<1 тис. т на рік) викидами. По-перше, час від часу спостерігається неузгодженість концентрацій з викидами, зокрема яскравий приклад для SO₂ на рис. 11. По-друге, у містах із вищими концентраціями мінімуми та максимуми річного ходу виражені чіткіше. Так, сезонна мінливість пояснює 20-30% дисперсії вмісту пилу у забруднених містах, та 5-15% у більш чистих

містах; для SO₂ – 10-30% у забруднених і 5-10% у більш чистих містах, для CH₂O – 20-50% у забруднених та 5-10% у більш чистих містах. Зворотна залежність характерна для NO₂ та CO, де у забруднених містах сезонність пояснює 5-10% і 5-25% дисперсії вмісту домішки відповідно, а у більш чистих містах – 10-15% та 10-30% відповідно.

Сезонні максимуми найчастіше простежуються у теплий сезон року, переважно влітку. Зазвичай, формування літніх максимумів забруднюючих речовин більше залежить від впливу метеорологічних умов, зокрема через менш інтенсивне осадження та більш інтенсивні фотохімічні реакції. Цей прояв характерний для найзабрудненіших міст (рис. 11), тому більш виражена зміна концентрацій забруднюючих

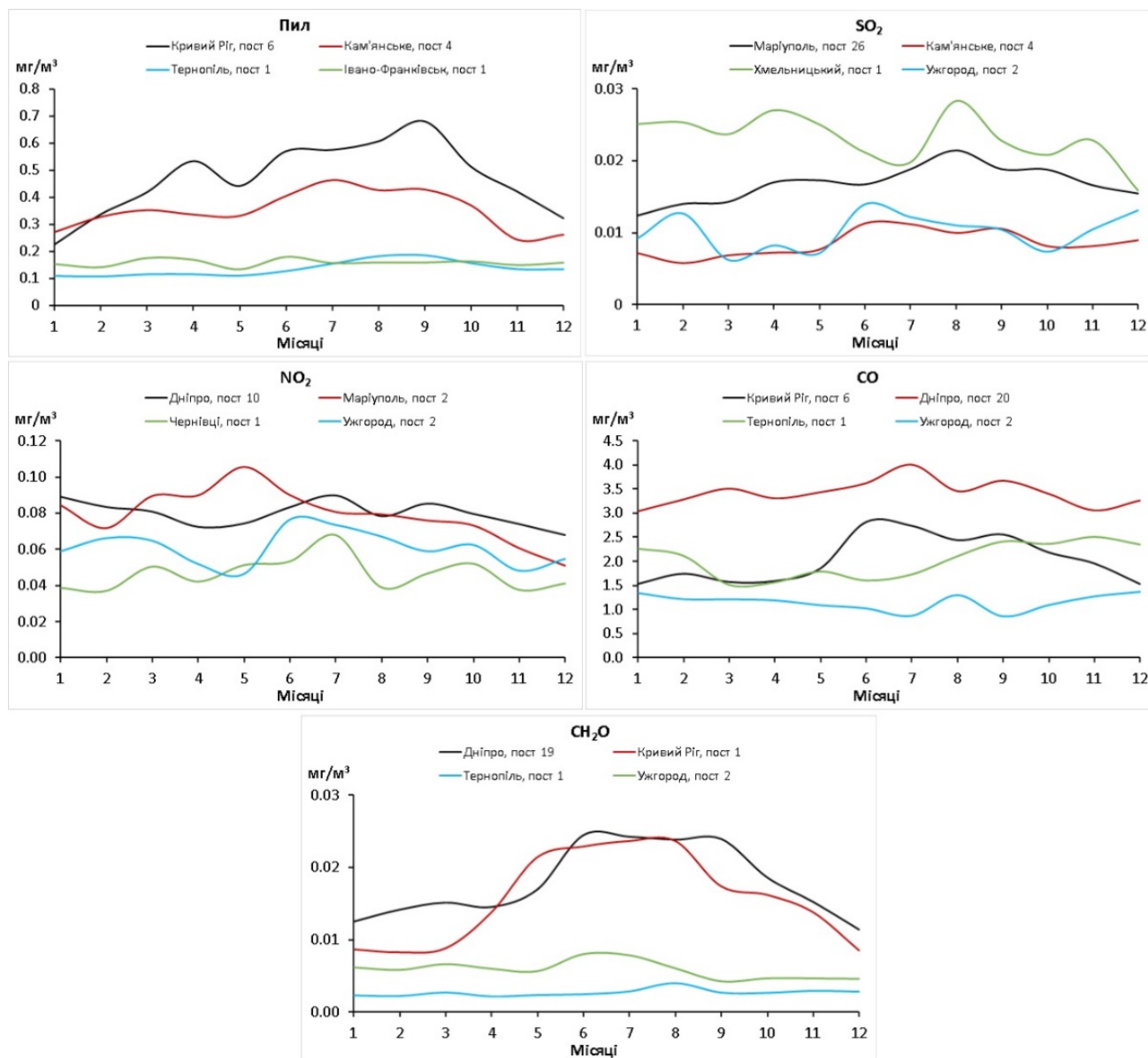


Рис. 11 - Річний хід вмісту забруднюючих речовин у містах із високими (чорна та червона криві) та низькими (зелена та блакитна криві) викидами

Fig. 11 - Annual variability of pollutants' concentrations in cities with high (black and red curves) and low (green and blue curves) emissions

речовин від метеорологічних умов там, де вміст більший, тобто більша кількість речовини зазнає впливу. У частині міст України концентрації SO₂ та CO найвищі у холодний період року. У таких містах сезонні відмінності формуються переважно періодичним антропогенним чинником, пов'язаним із більшими викидами протягом опалювального сезону внаслідок спалювання твердого палива.

Загалом, сезонна мінливість найкраще прослідковується для CH₂O та пилу (рис. 11). Концентрації CH₂O багато у чому формуються

не внаслідок прямих викидів, а в результаті його фотохімічного утворення в атмосфері з інших забруднюючих речовин. Таким чином, сезонна мінливість і літні максимуми CH₂O у найзабрудненіших містах узгоджуються із притоком сонячного випромінювання на земну поверхню. Літні максимуми пилу у сезонному ході обумовлені переважно меншою повторюваністю атмосферних явищ, що призводять до вологого осадження, що буде показано на рис. 12.

Наявність лише чотирьох строків спостережень на добу не дозволяє перейти до дослідження добової мінливості забруднюючих речовин. Згідно наявних досліджень в інших країнах, години формування максимумів та мінімумів добового ходу забруднюючих речовин не узгоджуються із строками спостережень на українській мережі спостережень за станом забруднення атмосферного повітря. Подібні оцінки стануть можливі після переоснащення мережі спостережень згідно Директив ЄС та після зміни обладнання й методів відбору проб.

3.3 Роль метеорологічних умов у формуванні забруднення міст України та наявні неузгодженості

Просторово-часовий розподіл забруднюючих речовин, переважна більшість яких надходить від антропогенних джерел викидів, значно залежить від метеорологічних умов. При цьому, зміна концентрацій за тих чи інших метеорологічних умов (визначених найчастіше на метеорологічних станціях на відстані від постів спостережень) дозволяє зробити висновок, що чи поле забруднення атмосферного повітря сформоване під дією локальних чинників поблизу поста спостережень, чи характеризується залежністю від факторів в межах міста або регіону. Зміни концентрацій, що не узгоджуються із очікуваними фізичними механізмами, найчастіше будуть вказувати на локальність умов формування поля забруднення в тих чи інших урбанізованих районах міста, а інколи і на мікрометеорологічний вплив окремої вулиці чи ділянки де встановлено пост спостережень. Проведено дослідження атмосферних явищ (дощ, мряка, сніг, туман та туман з опадами) та проаналізовано вітровий вплив на забруднення атмосферного повітря.

Найвагоміший вплив атмосферних явищ на забруднення атмосферного повітря має місце взимку, коли спостерігається значна їх повторюваність та різноманітність (рис. 12). Як наслідок, саме у зимовий період, поле забруднення зазнає найбільшого динамічного впливу, в той час як у літній період роль хімічного перетворення домішок буде переважати над впливом атмосферних явищ. Повторюваність атмосферних явищ проаналізовано для кожного міста, де є пости спостережень за забрудненням атмосферного повітря. На рис. 12 наведено приклад для міст Київ та Ужгород.

За переважною більшістю процесів, вплив

метеорологічних умов на забруднення атмосферного повітря є добре вивченим. Тому, на основі наявних даних добре визначати неузгодженості, що свідчатимуть про дуже локальні умови формування забруднення на тих чи інших постах спостережень. Велику роль при цьому відіграватимуть наявність даних безпосередньо на постах, а не на метеостанції. Враховуючи точковість атмосферних явищ (опадів та туманів), використання даних метеостанцій часто є непридатними для аналізу впливу метеорологічних факторів на забруднюючі речовини.

На рис. 13 наведено кількість постів, де найвищі середні концентрації забруднюючих речовин формуються під впливом певного атмосферного явища. Так, вони впливають на концентрації забруднюючих речовин через процеси їх накопичення та виведення [28]. Розуміння впливу метеорологічних явищ повинно базуватися і на знаннях про фізичні та хімічні перетворення молекул забруднюючих речовин [29]. Зокрема, опади (дощ, мряка та сніг) виступають як механізми вологого осадження, але тільки для тих забруднюючих речовин, які хімічно взаємодіють із водяною парою. Наприклад, для пилу, NO_2 та SO_2 виведення з опадами відбувається, в той час як CO хімічно не реагує із водяною парою та не виводиться із атмосфери з опадами [30]. Із туманами ситуація досить заплутана та потребує обережного підходу до аналізу. З одного боку, тумани також є механізмом вологого осадження домішок, тобто сприяють зменшенню концентрацій [29-31]. З іншого боку, метеорологічні умови при яких формуються тумани є сприятливими і для накопичення забруднюючих речовин [31,32] (досить часто зустрічається помилкова думка, що безпосередньо тумани сприяють накопиченню забруднюючих речовин, що базується на кореляції туманів із концентраціями деяких домішок. Насправді ж, кореляція між туманами і накопиченням деяких домішок зумовлена тим, що умови середовища є сприятливими для перебігу обох процесів). Проведений аналіз виявив, що неузгодженість між зафіксованими спостереженнями та реальними фізичними процесами характерна для 20–40% постів залежно від забруднюючих речовин. Це не означає, що є помилки у вимірних даних, проте це свідчить, що за історичний період змінився розподіл джерел викидів або перешкод (будівлі, дерева, тощо) та їх впливу на поле забруднення поблизу постів.

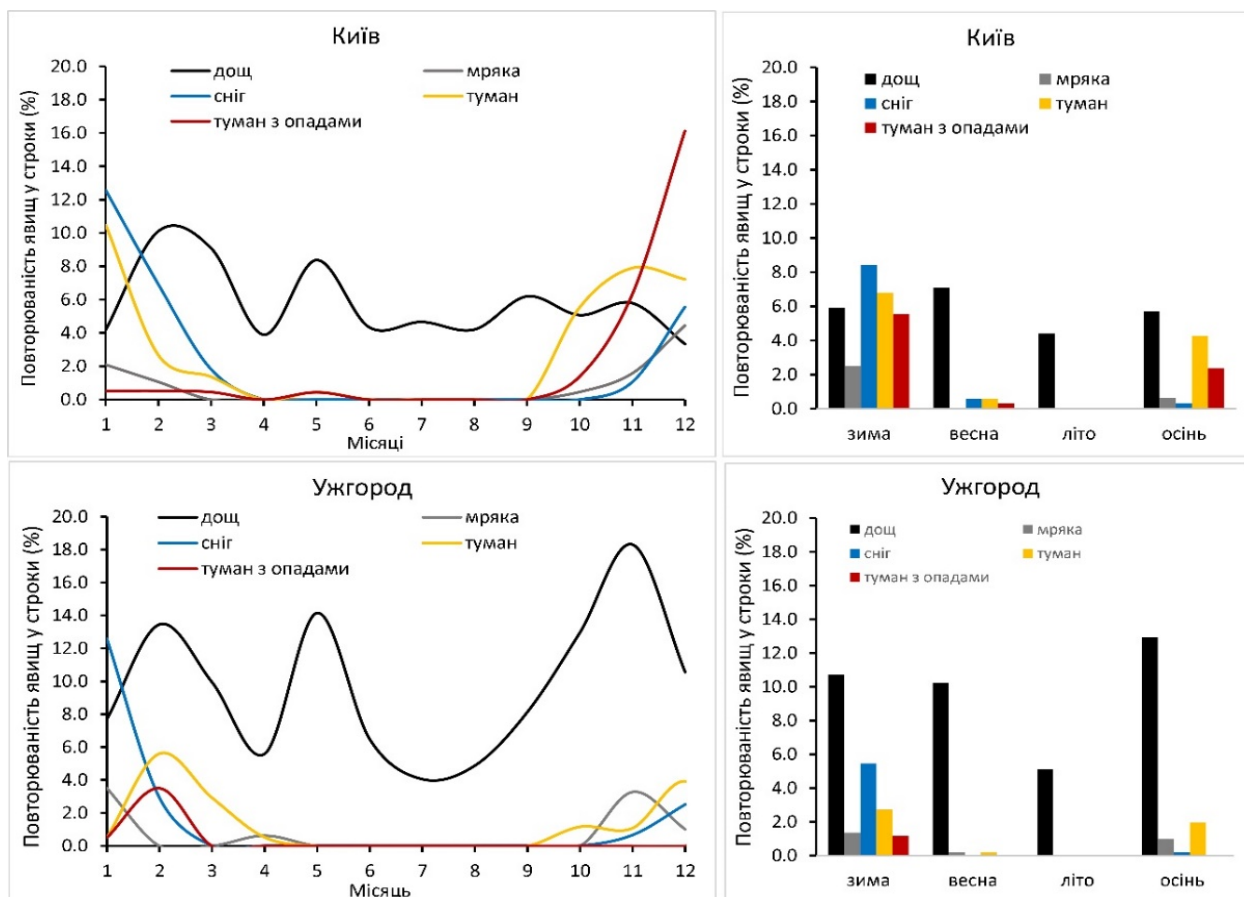


Рис. 12 - Повторюваність атмосферних явищ у строки вимірювання забруднення атмосферного повітря по місяцям та сезонам

Fig. 12 - Frequency of atmospheric phenomena in the hours of air quality measurements distributed by months and seasons

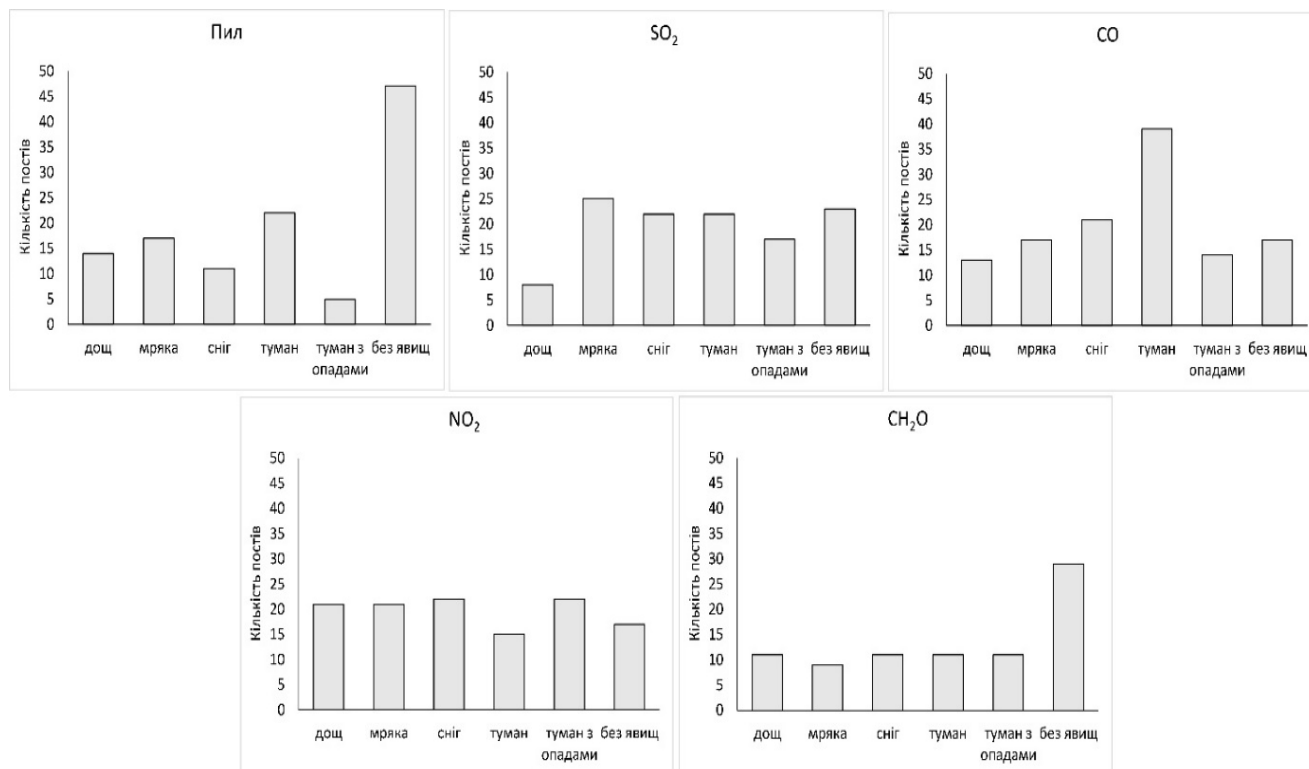


Рис. 13 - Кількість постів на яких за певних атмосферних явищ спостерігаються максимальні середні рівні забруднення

Fig. 13 - Amount of monitoring sites where the highest average concentrations correspond to certain phenomena

Наприклад, не існує фізичного механізму при якому пил буде накопичуватися за умов дощу, мряки чи снігу. На рис. 13 ми бачимо, що близько 50 постів (14 для пилу, 6 для SO₂, 20 для NO₂, 10 для CH₂O) суперечать загальновідомим фізичним закономірностям. Тобто, умови формування забруднення на цих постах, найімовірніше, стали досить локальними, тому є нагальною потреба у оновленні інформації про умови рослинності, забудови та джерел викидів навколо постів. Тільки тоді стане можливим пояснити неузгодження даних із реальними природними процесами, та надати необхідні коригування до аналізу даних. Загалом, формування концентрацій NO₂ та SO₂ поблизу постів вже мало узгоджуються із метеорологічними процесами, в той же час на більшості постів спостерігаються очікувані закономірності для пилу, CO та CH₂O.

На рис. 14 наведено кількість постів, де найнижчі середні концентрації забруднюючих речовин формуються під впливом певного атмосферного явища. Формування мінімальних концентрацій краще узгоджується із метеорологічними процесами, ніж формування високих рівнів забруднення. Загалом, лише 10–25% постів не узгоджуються із фізичними механізмами формування низьких концентрацій забруднюючих речовин.

Таким чином, при аналізі атмосферних явищ стає очевидним, що основну проблему для виявлення закономірностей впливу метеорологічних умов на стан забруднення атмосферного повітря являють собою випадки формування високих рівнів забруднення. Звичайно, тут накладається залежність від надходження значної кількості викидів антропогенних джерел, що може переважати вплив метеорологічних умов. Проте, розв'язання цих проблем можливе після актуалізації опису розташування постів спостережень.

Поряд із атмосферними явищами, чи не найбільшу роль на розповсюдження та виведення забруднюючих речовин належить вітру. Поле забруднення на постах спостережень часто формується під впливом різних джерел викидів, причому в один сезон переважати можуть викиди від одного джерела, а в інший сезон – іншого (навіть якщо обидва джерела діють неперервно протягом року). Все це відбувається через зміну переважаючого напрямку вітру протягом року. Поле вітру суттєво змінюється всередині міста під впливом рельєфу, забудови та міської рослинності. Такі зміни поля вітру можуть бути незначними, як

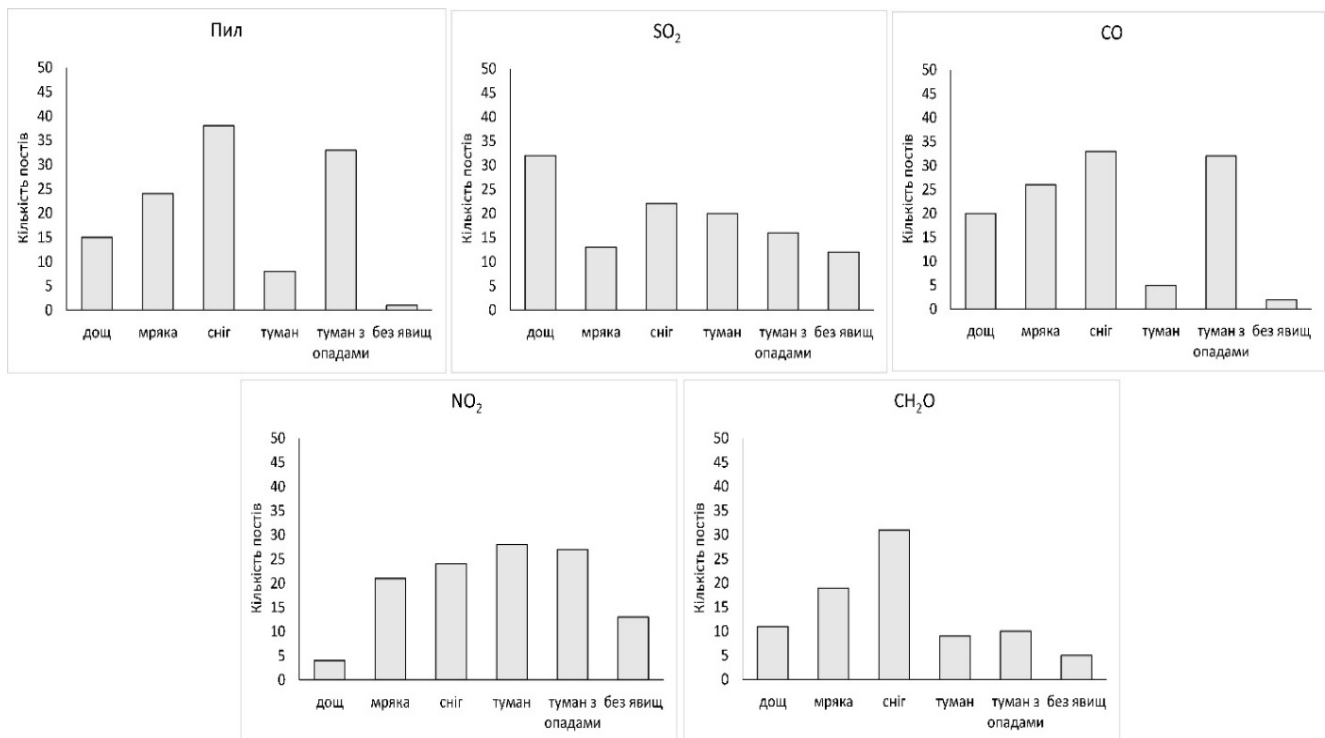


Рис. 14 - Кількість постів на яких за певних атмосферних явищ спостерігаються мінімальні середні рівні забруднення
 Fig. 14 - Amount of monitoring sites where the lowest average concentrations correspond to certain phenomena

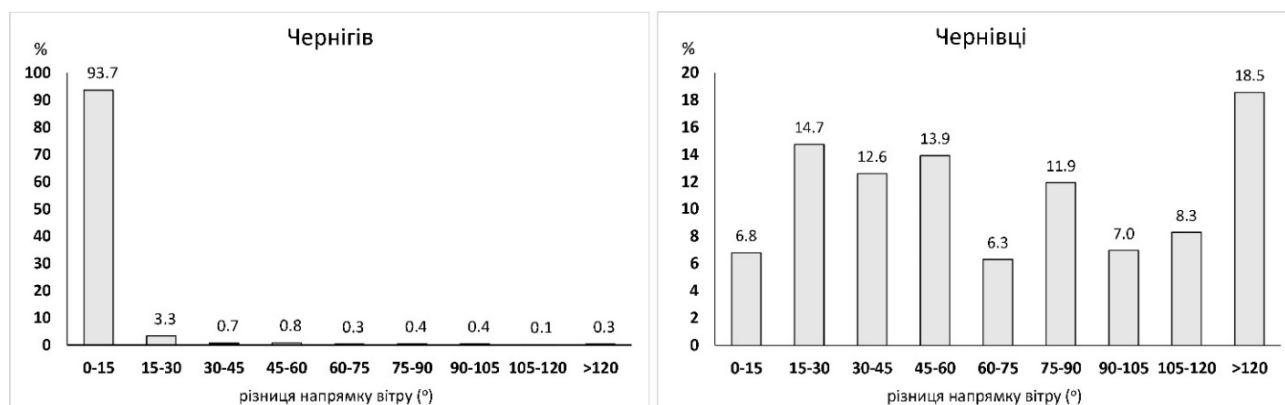


Рис. 15 - Різниця у напрямку вітру між метеорологічною станцією та постами спостережень на прикладі Чернігова та Чернівців

Fig. 15 - Differences in wind direction between meteorological station and air quality monitoring sites in the example of Chernihiv and Chernivtsi

наприклад у Чернігові, де майже у 94% вітер на постах спостережень не відхиляється від вітру на метеостанції більше ніж на 15° . В той же час, за умов складного рельєфу місцевості, як наприклад в Чернівцях, дані метеорологічної станції є абсолютно непридатними для аналізу забруднення у місті. Різниця у напрямку вітру для Чернівців розподілена рівномірно між усіма напрямками вітру. Часто спостерігаються умови прямо протилежних вітрів через вплив рельєфу та забудови (рис. 15).

Загалом, на сьогодні лише 13 міст із 39 використовують дані вітру на постах спостережень. Це вкрай негативно впливає на можливості дослідження забруднення атмосферного повітря у містах. Зазвичай, у містах кожен пост спостережень характеризується власними особливостями формування забруднення. Відмінність між постами чітко простежується на рис.16 на прикладі міста Львова. На наведених біваріативних графіках для досліджуваних забруднюючих речовин показано залежність середньої концентрації від умов надходження повітря з певного напрямку (осі на графіках) за певних швидкостей вітру (концентричні кола на графіках, м/с).

Наведені графіки відображають залежність концентрацій забруднюючих речовин від напрямку та швидкості вітру. Так, одні речовини можуть формуватися за умови низьких швидкостей вітру без чіткого розмежування за напрямками (напр., CO, Львів, пост №1 на

рис. 16). Це означає, що найбільше забруднення вмістом CO на цьому посту виникає внаслідок впливу джерела викидів безпосередньо поруч із постом спостережень. У той же час, вміст пилу, SO₂, CH₂O формуються при високих швидкостях вітру південно-східного напрямку. Це вказує на те, що концентрації цих забруднюючих речовин сформовані від джерел на відстані, і ці джерела, ймовірно, є високими.

Аналіз усіх наявних даних, показав, що кожен пост характеризується власними локальними особливостями формування поля забруднення. Загальні закономірності впливу регіональних факторів не переважають впливу локальних умов. У свою чергу, для виконання тих чи інших прикладних задач, необхідно проводити детальну класифікацію постів. На сучасному етапі із 129 проаналізованих постів, від 12% до 22% постів (залежно від забруднюючої речовини) характеризуються переважаючим впливом одного із джерел (або групи джерел) викидів. Для пилу це 29 постів у 17 містах, для NO₂ – 16 постів у 14 містах, для CO – 16 постів у 12 містах, для SO₂ – 33 поста у 17 містах, для CH₂O – 23 поста у 18 містах. Ці пости придатні для широкого кола досліджень. Інші пости – розташовуються у суттєво видозмінених умовах, де високі концентрації формуються від численних джерел викидів, і відображають виключно локальні умови. Тому дослідження на їх основі можуть бути проведені для вузького кола задач.

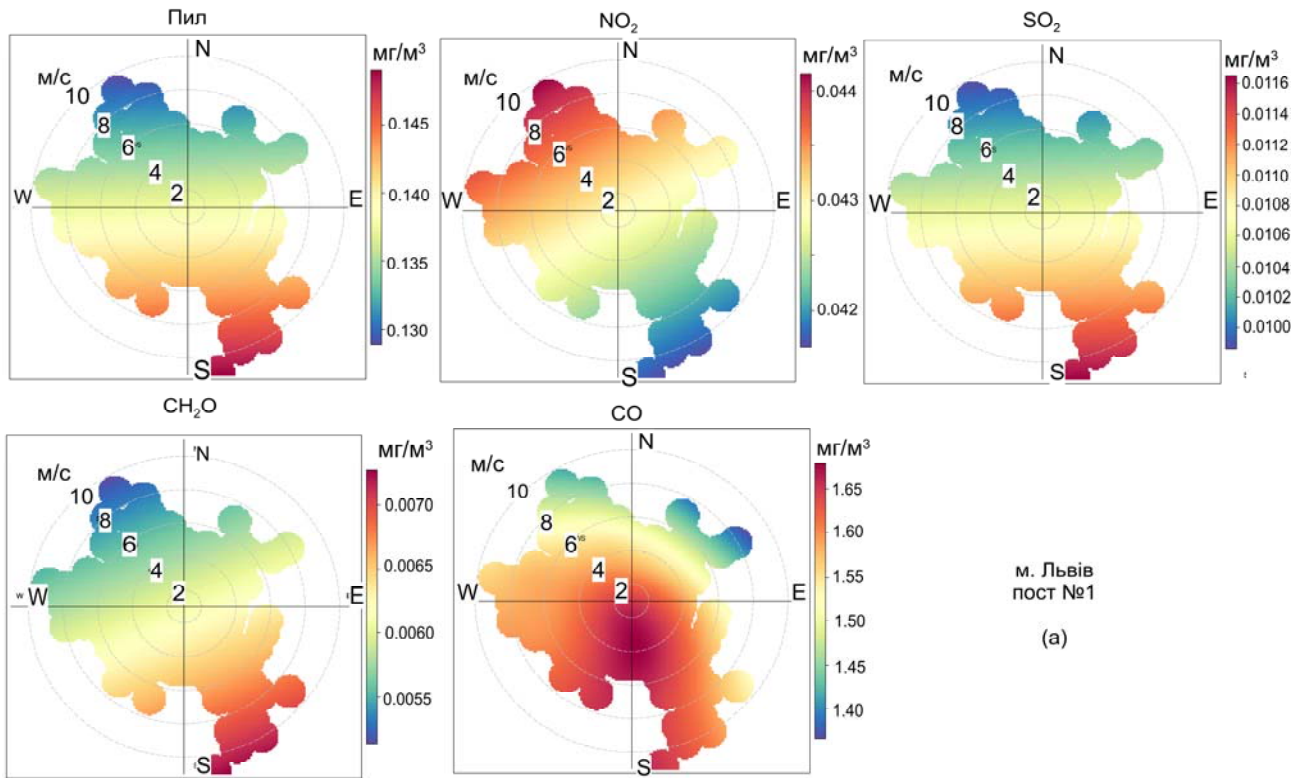


Рис. 16 - Залежність середнього вмісту пилу, NO₂, SO₂, CO та CH₂O від напрямку та швидкості вітру у Львові, на посту №1 (а)

Fig. 16 - Dependencies of average concentration of dust, NO₂, SO₂, CO and CH₂O on wind speed and direction at monitoring site №1(a) in Lviv

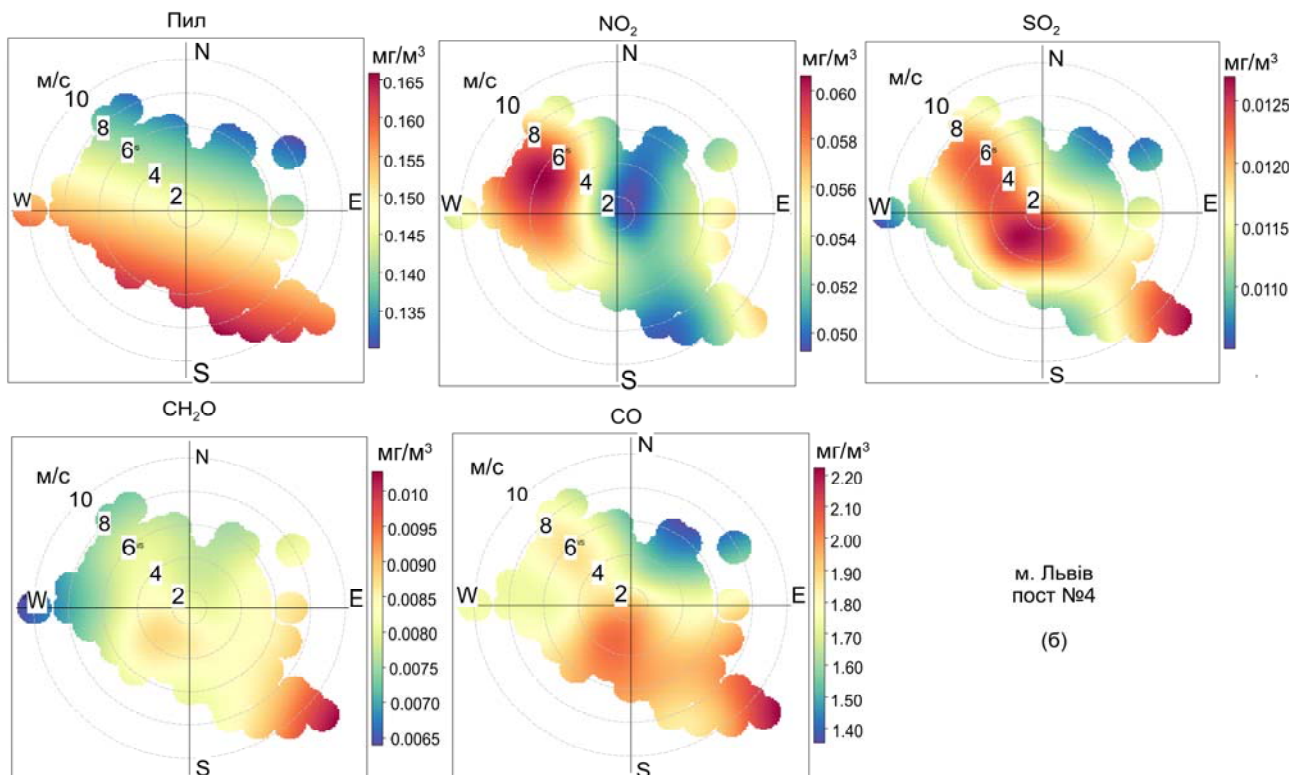


Рис. 16 – Продовження: на посту №4 (б)

Fig. 16 – Continued: at monitoring site №4 (b)

3.4 Обговорення

В останнє десятиріччя науковці, що досліджують забруднення атмосферного повітря в Україні стикаються із рядом проблем та викликів. У першу чергу дискретність вимірювань на постах моніторингу (4 строки на добу) обмежує встановлення закономірностей формування поля забруднення атмосферного повітря у містах, яке б дозволяло синхронізуватися з актуальними напрямками досліджень забруднення атмосферного повітря у світі. Громадські мережі моніторингу, дискретність вимірів яких дозволяє проводити більш розширений аналіз, характеризується власними обмеженими можливостями, що пов'язані із відсутністю еталонних станцій моніторингу для валідації й верифікації датчиків, як того вимагає ВМО [33]. Окремі науково-дослідні установи мають власні станції моніторингу, проте мова не йде про мережу спостережень. Поряд із проблемою дискретності накладаються проблеми точності методів забору проб, що досі використовуються, розташування постів спостережень, та інші проблеми на мережі. При цьому, просторове покриття вимірюваннями є вкрай лімітованим.

До проблем організації мережі спостережень за станом забруднення атмосферного повітря додаються й динамічні зміни урбанізованого середовища. Так, стрімке зростання автотранспорту та розвиток автошляхів призводить до проблем врахування викидів від транспорту та до появи нових автомобільних доріг поблизу постів спостережень. Ці особливості наголошувалися у попередніх дослідженнях різних авторів проведених в Україні [19,20,23]. Як показали результати досліджень у даній статті, все це посилює неузгодженість між інвентаризацією викидів та концентраціями забруднюючих речовин. У дослідженнях на території України наголошуються проблеми обмеженості набору забруднюючих речовин [18] та обмеженість інформації щодо навколишніх умов розташування постів спостережень [23]. Ці проблеми ускладнюють виявлення закономірностей формування забруднення специфічними домішками, узгодженням наземних даних із супутниковою інформацією та результатами моделювання. У представлених результатах показано, що умови формування поля забруднення поблизу постів спостережень часто є локальними, а відсутність детальнішої

інформації впливає на можливості пояснення виявлених закономірностей.

За наведених проблем із мережею спостережень, розташуванням постів та обмеженості технічної інформації, зростає залежність результатів від потенційного неправильного врахування метеорологічних умов. Моделювання проведене для умов території України [21,24] показує наскільки вагомий внесок можуть мати сприятливі синоптичні умови до накопичення домішок у приземному шарі, і наскільки прояв метеорологічних умов може мати «плямисту» структуру. Нами було показано, що в Україні метеорологічні умови по різному впливають на забруднення атмосферного повітря в різних частинах міста. І для цього надзвичайно важливо мати метеорологічну інформацію, виміряну безпосередньо на постах спостережень за забрудненням атмосферного повітря.

Наявність описаних проблем призводить до складності узагальнення стану якості атмосферного повітря та формування «базових» періодів, з якими можна проводити порівняння. Особливо гостро постала ця проблема з початком повномасштабного російського вторгнення, коли існує потреба у оцінці наслідків військових дій для забруднення атмосферного повітря. Проте, будь-які дані стають вкрай важливими за умов війни, адже кількість точок спостережень значно зменшуються через руйнування, неможливість проведення спостережень, та інших причин. Незважаючи на це, можливо відібрати такі характеристики забруднення атмосферного повітря напередодні війни, які б мали змогу бути використаними як базові для порівняння й розуміння наслідків військових дій. Серед можливих параметрів нами було обрано повторюваність перевищень гранично-допустимих максимально разових концентрацій та середній вміст забруднюючих речовин. Ці два показники разом дозволятимуть аналізувати наслідки руйнування / тимчасової зупинки промислових підприємств, та загальний вплив зміни автотранспорту на стан якості атмосферного повітря у містах. Обчислені тренди для викидів та концентрацій забруднюючих речовин дозволять оцінити наскільки визначальною стала війна в Україні на загальну динаміку забруднення атмосферного повітря. У майбутньому із урахуванням проблем передвоєнного стану, наслідків військових дій, та тенденцій післявоєнного розвитку України,

важливим буде встановлення оновленої мережі спостережень, яка б надала змогу ліквідувати переважну частину недоліків щодо дискретності, просторового розподілу постів спостережень, та ширшим набором забруднюючих речовин.

4. ВИСНОВКИ

У роботі встановлено основні статистичні характеристики забруднення атмосферного повітря вмістом пилу, NO₂, CO, SO₂ та CH₂O на 126 постах спостережень напередодні повномасштабного російського вторгнення на територію України. Визначено, що якість атмосферного повітря у містах, зазвичай, зазнавала негативного впливу від однієї – двох основних домішок. Найчастіше це характерно для пилу, NO₂ та CO, в той час як вміст SO₂ зрідка досягає небезпечних рівнів (не більше 0.1% випадків перевищення граничних показників). Повторюваність перевищення максимально разових нормативних показників може досягати 15-33% для NO₂, 20-50% для пилу, 30-35% для CO, 30-60% для CH₂O переважно у містах із найбільш розвинутою промисловістю – Кривому Розі, Маріуполі, Кам'янському, Миколаєві, Дніпрі, Києві, Одесі, тощо. Середні концентрації забруднюючих речовин у цих містах на порядок перевищують значення в обласних центрах з менш розвинутою промисловістю для пилу й NO₂, та в 3-5 рази для CO, SO₂ та CH₂O.

В останні роки спостерігається неузгодженість у тенденціях між даними викидів та концентраціями забруднюючих речовин. Поряд із зменшенням викидів, спостерігається переважна відсутність змін, а часто і зростання концентрацій, що свідчить про неадекватність інвентаризацій викидів. Враховуючи, що більшість постів спостережень розташовані поблизу автошляхів, недостатнє врахування впливу викидів від автотранспорту може бути причиною сформованої неузгодженості. Для забруднюючих речовин в українських містах характерна слабо виражена сезонність, за винятком CH₂O та пилу, для яких більш чітко простежується формування літніх максимумів у порівнянні із зимовими мінімумами.

Метеорологічні умови справляють значний вплив на формування поля забруднення атмосферного повітря. Значна повторюваність атмосферних явищ протягом холодного періоду року сприяє більш динамічним змінам концентрацій забруднюючих речовин у цей час. Поряд із загальними фізично-обґрунтованими

закономірностями впливу атмосферних явищ на вміст забруднюючих речовин, до 25% постів (залежно від забруднюючої речовини) характеризуються нетиповими залежностями, що свідчить про локальність умов формування поля забруднення поблизу існуючих постів спостережень. Аналіз вітрових характеристик показав, що формування високих та низьких концентрацій відрізняється для різних постів в межах одного міста, що також підтверджує визначальну роль локальних умов місцевості, де розташовані пости. Цей факт потрібно обов'язково враховувати при дослідженні зміни забруднення атмосферного повітря у майбутньому, для відокремлення причин пов'язаних зі зміною у розподілі джерел викидів від впливу метеорологічних умов.

Досліджений стан якості атмосферного повітря може бути використано як базовий для порівняння та оцінки наслідків воєнних дій в Україні на основі даних приземного вмісту забруднюючих речовин, що дозволить більш точно врахувати необхідні заходи під час післявоєнного відновлення інфраструктури та промисловості України. Отримані результати вказують на необхідність проведення та постійного оновлення опису навколишніх умов в яких розташовані пости спостережень в майбутньому під час удосконалення мережі спостережень за забрудненням атмосферного повітря. Зокрема, важливим є використання метеорологічних даних у точках відбору проб, а також наявність інформації про висоту та відстань до основних перешкод (забудова та рослинність), і опис найближчих низьких та усіх високі джерела викидів в межах міста.

ПОДЯКИ

Дослідження здійснено в Українському гідрометеорологічному інституті ДСНС України та НАН України в рамках виконання науково-дослідної роботи №9/21 «Сучасні тенденції просторово-часового розподілу хімічних складових атмосфери над територією України на основі інтеграції даних вимірювань» (2021–2023 рр., номер державної реєстрації 0121U109319). Автори висловлюють подяку працівникам Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського ДСНС України за надання вихідних даних для проведення досліджень.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Potential heterogeneity in the relationship between urbanization and air pollution, from the perspective of urban

- agglomeration / Wang Y. et al. *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 298. P. 126822. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126822>
2. Zhou S., Lin R. Spatial-temporal heterogeneity of air pollution: The relationship between built environment and on-road PM_{2.5} at micro scale. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2019. Vol. 76. Pp. 305-322. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.09.004>
 3. Effects of meteorology and emissions on urban air quality: a quantitative statistical approach to long-term records (1999–2016) in Seoul, South Korea / Seo J. et al. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2018. Vol. 18. Pp. 16121–16137. <https://doi.org/10.5194/acp-18-16121-2018>
 4. Comparison of Current and Future PM_{2.5} Air Quality in China Under CIMP6 and DPEC Emission Scenarios / Cheng J. et al. *Geophysical Research Letters*. 2021. Vol. 48, Is. 11. P. e2021GL093197. <https://doi.org/10.1029/2021GL093197>
 5. A global observational analysis to understand changes in air quality during exceptionally low anthropogenic emission conditions / Sokhi R. S. et al. *Environment International*. 2021. Vol. 157. P. 106818. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106818>
 6. Інформація зі зведених результатів діяльності оперативного штабу, що діє на базі Держекоінспекції. Державна екологічна інспекція України. URL: <https://www.dei.gov.ua/posts/2226> (дата звернення: 11.01.2023).
 7. Шкода довкіллю України завдана російською збройною агресією. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: <https://drive.google.com/file/d/11LFDr0sthMfdiqgH20QT4HIEp2z2GRoY/view> (дата звернення: 11.01.2023).
 8. Повітря війни. Чисте повітря для України. URL: <https://cleanair.org.ua/event/war-air-conference/> (дата звернення: 11.01.2023).
 9. Savenets M. Remotely visible atmospheric NO₂ changes in Ukraine due to the Ukrainian – Russian war using TROPOMI data. *Astronomy and Space Physics in the Kyiv University: Book of abstracts of International Conference, October 18–21, Kyiv, Ukraine, 2022*. P. 102.
 10. Yatsenko Y. Atmospheric diffusion of PM_{2.5} as a result of a fire at an oil depot in Chernihiv. *XVI International Scientific Conference “Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment”*, 15–18 November 2022, Kyiv, Ukraine.
 11. War Impact on Air Quality in Ukraine / Zalakeviciute R. et al. *Sustainability*. 2022. Vol. 14 (21). Pp. 13832. <https://doi.org/10.3390/su142113832>
 12. Коршенко Ф. В. Распределение концентраций примесей в воздушном бассейне Киева. *Труды УкрНИИ Госкомгидромета*. 1980. Вып. 180. С. 106-110.
 13. Рыбченко А. А. О связи загрязнения воздуха с метеорологическими факторами по результатам наблюдения в отдельном пункте. *Труды УкрНИИ Госкомгидромета*. 1982. Вып. 188. С. 75-82.
 14. Хомяк Я. В., Гутаревич Ю. Ф., Скорченко В. Ф. Влияние дорожных условий на загрязнение придорожного воздушного бассейна автомобильным транспортом. *Вісник АН УССР*. 1980. №5. С.70-75.
 15. Кіптенко Є. М., Козленко Т. В. Прогнозування рівнів високого забруднення атмосферного повітря у містах України. *Наукові праці УкрНДГМІ*. 2002. Вип. 250. С. 288-298
 16. Стан забруднення атмосферного повітря над територією України / Баштаннік М. П. та ін. *Наукові праці УкрНДГМІ*. 2014. Вип. 266. С.70-93
 17. Yatsenko Y., Shevchenko O., Snizhko S. Assessment of air pollution level of nitrogen dioxide and trends of it changes in the cities of Ukraine. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv: Geology*. 2018. Vol. 3 (82). Pp. 87-95. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.82.11>
 18. Чугай А. В., Сафранов Т. А. Особливості забруднення атмосферного повітря міст Північно-Західного Причорномор'я. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2020. Вип. 52. С. 251-260. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-52-18>
 19. Шевченко О., Сніжко С., Данілова Н. Забруднення атмосферного повітря міста Києва двоокисом азоту. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2015. Вип. 16. С. 6-16. <https://doi.org/10.31481/uhmj.16.2015.01>
 20. Air pollution of the largest cities in the Volyn region: preconditions, consequences and ways of solution of this problem / Melniichuk M et al. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series «Geology. Geography. Ecology»*. 2022. Vol. 56. Pp. 214-224. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-16>
 21. Галицька Є., Данилевський В., Сніжко С. Динаміка аерозолів у атмосфері над Східною Європою за даними AERONET під впливом погодних умов протягом літа 2010. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2016. Вип. 17. С. 5-16. <https://doi.org/10.31481/uhmj.17.2016.01>
 22. Influence of aerosols on atmospheric variables in the HARMONIE model / Palamarchuk I et al. *Atmospheric Research*. 2016. Vol. 169. Pp. 539-546. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.08.001>
 23. Comparison of TROPOMI NO₂, CO, HCHO, and SO₂ data against ground-level measurements in close proximity to large anthropogenic emission sources in the example of Ukraine / Savenets et al. *Meteorological Applications*. 2022. Vol. 29, Is.6. Pp. e2108. <https://doi.org/10.1002/met.2108>
 24. Enviro-HIRLAM model estimates of elevated black carbon pollution over Ukraine resulted from forest fires / Savenets et al. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2022. Vol. 22, Is. 24. Pp. 15777–15791. <https://doi.org/10.5194/acp-22-15777-2022>
 25. WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals. WMO-No.1203. 29 p.
 26. Національні доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: <https://mepr.gov.ua/timeline/Nacionalni-dopovidi-pro-stan-navkolishnogo-prirodno-go-seredovishcha-v-Ukraini.html> (дата звернення: 12.01.2023).
 27. Руководящий документ РД 52.04-186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. Москва : Госкомгидромет СССР. 1991. 695 с.
 28. Elminir J. K. Dependence of urban air pollutants on meteorology. *Science of The Total Environment*. 2005. Vol. 350, Is. 1–3. Pp. 225-237. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.01.043>
 29. Seinfeld J. H., Pandis S. N. *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*, 3rd Edition. Wiley. 2016. 1152 p.
 30. Barrie L. A., Schemenauer R. S. Pollutant wet deposition mechanisms in precipitation and fog water. *Water, Air, and Soil Pollution*. 1986. Vol. 30. Pp. 91–104. <https://doi.org/10.1007/BF00305178>
 31. Contribution of Fog in Changing Air Quality: Extremities and Risks to Environment and Society. *Extremes in Atmospheric Processes and Phenomenon: Assessment, Impacts and Mitigation. Disaster Resilience and Green Growth* / edited by: P. Saxena, A. Shukla, A. K. Gupta. Springer. Singapore, 2022. Pp. 87–111. https://doi.org/10.1007/978-981-16-7727-4_5
 32. Lakra K., Avishek K. A review on factors influencing fog

formation, classification, forecasting, detection and impacts. *Rend Lincei Sci Fis Nat.* 2022. Vol. 33(2). Pp. 319-353. <https://doi.org/10.1007/s12210-022-01060-1>.

33. WMO. Statement on the low-cost sensors for atmospheric composition. URL: <https://community.wmo.int/meetings/statement-low-cost-sensors-atmospheric-composition> (Accessed: 25.01.2023).

REFERENCES

- Wang, Y. et al. (2021). Potential heterogeneity in the relationship between urbanization and air pollution, from the perspective of urban agglomeration. *Journal of Cleaner Production*, 298, p. 126822. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126822>
- Zhou, S. & Lin, R. (2019). Spatial-temporal heterogeneity of air pollution: The relationship between built environment and on-road PM_{2.5} at micro scale. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 76, pp. 305-322. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.09.004>
- Seo, J. et al. (2018). Effects of meteorology and emissions on urban air quality: a quantitative statistical approach to long-term records (1999–2016) in Seoul, South Korea. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 18, pp. 16121–16137. <https://doi.org/10.5194/acp-18-16121-2018>
- Cheng, J. et al. (2021). Comparison of Current and Future PM_{2.5} Air Quality in China Under CMIP6 and DPEC Emission Scenarios. *Geophysical Research Letters*, 48(11), p. e2021GL093197. <https://doi.org/10.1029/2021GL093197>
- Sokhi, R.S. et al. (2021). A global observational analysis to understand changes in air quality during exceptionally low anthropogenic emission conditions. *Environment International*, 157, p. 106818. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106818>
- Informatsiia zi zvedenykh rezultativ diyalnosti operatyvnoho shtabu, shcho diye na bazi Derzhkoinspetsii. Derzhavna ekolohichna inspektsiia Ukrainy [Information from combined results on the activity of Operational Headquarters that is based on State Environmental Inspectorate. The State Environmental Inspectorate of Ukraine]. Available at <https://www.dei.gov.ua/posts/2226> (Accessed: 11.01.2023) (in Ukr).
- Shkoda dovkilliu Ukrainy zavdana rosiiskoiu zbroynoiu ahresieiu. Ministerstvo zakhystu dovkillia ta pryrodnykh resursiv Ukrainy [A damage to environment caused by Russian military invasion in Ukraine. The Ministry of environment and natural resources of Ukraine]. Available at: <https://drive.google.com/file/d/11LFDr0sthMfdiqgH20QT4HIEp2z2GRoY/view> (Accessed: 11.01.2023). (In Ukr.)
- Povitria viiny. Chyste dovkillia dlia Ukrainy [The air of war. Clean environment for Ukraine]. Available at: <https://cleanair.org.ua/event/war-air-conference/> (Accessed: 11.01.2023). (in Ukr.)
- Savenets, M. (2022) Remotely visible atmospheric NO₂ changes in Ukraine due to the Ukrainian – Russian war using TROPOMI data. Book of abstracts of International Conference: *Astronomy and Space Physics in the Kyiv University*, October 18–21, Kyiv, Ukraine, p. 102.
- Yatsenko, Y. (2022). Atmospheric diffusion of PM_{2.5} as a result of a fire at an oil depot in Chernihiv. XVI International Scientific Conference “Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment”, 15–18 November, Kyiv, Ukraine.
- Zalakeviciute, R. et al. (2022). War Impact on Air Quality in Ukraine. *Sustainability*, 14(21), p. 13832. <https://doi.org/10.3390/su142113832>.
- Korshenko, F.V. (1980). Raspredeleniye kontsentratsiy primesey v vozdushnom bassejne Kiyeva [The distribution of pollutants' concentrations in the atmospheric air in Kyiv]. *Trudy UkrNIGMI [The papers of UkrNIGMI]*, 180, pp. 106-110. (in Russ.)
- Rybchenko, A.A. (1982). O svyazi zagriazneniya vozduha s meteorologicheskimi faktorami po rezultatam nabliudeniya v otdel'nom punkte [Towards a relationship between air pollution and meteorological factors at a certain point]. *Trudy UkrNIGMI [The papers of UkrNIGMI]*, 188, pp. 75-82. (in Russ.)
- Homiak, Ya.V., Gutarevich, Yu.F. & Skorchenko, V.F. (1980). Vplyv dorozhnykh umov na zabrudnennia navkolyshnioho seredovyscha avtomobil'nym transportom [The impact of road conditions on environmental pollution by mobile transport]. *Visnyk AN USSR [Visnyk AN USSR]*, 5, pp.70-75. (in Ukr.)
- Kiptenko, Y.,M. & Kozlenko, T.V. (2002). Prohnozuvannia rivniv vysokoho zabrudnennia atmofernoho povitria u mistakh Ukrainy [The prediction of high atmospheric air pollution levels in Ukrainian cities]. *Naukova pratsi UkrNDGMI [Scientific papers of UkrNDGMI]*, 250, pp. 288-298. (in Ukr.)
- Bashtannik, M.P. et al. (2014). Stan zabrudnennia atmofernoho povitria na terytorii Ukrainy [Air pollution state on the territory of Ukraine]. *Naukova pratsi UkrNDGMI [Scientific papers of UkrNDGMI]*, 266, pp. 70-93 (in Ukr.)
- Yatsenko, Y., Shevchenko, O. & Snizhko, S. (2018). [Assessment of air pollution level of nitrogen dioxide and trends of it changes in the cities of Ukraine. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv: Geology*, 3(82). pp. 87-95. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.82.11> (in Ukr.)
- Chugai, A.V. & Safranov, T.A. (2020). [Features of air pollution the cities of the North-Western Black Sea region]. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series “Geology. Geography. Ecology”*, 52, pp. 251-260. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-52-18> (in Ukr.)
- Shevchenko, O., Snizhko, S., & Danilova, N. (2015). [Air pollution by nitrogen dioxide in Kiev city]. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, 16, pp. 6-16. <https://doi.org/10.31481/uhmj.16.2015.01> (in Ukr.)
- Melniichuk, M. et al. (2022). Air pollution of the largest cities in the Volyn region: preconditions, consequences and ways of solution of this problem. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series «Geology. Geography. Ecology»*, 56, pp. 214-224. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-16>
- Galytska, E., Danylevsky, V. & Snizhko, S. (2016). [Aerosols dynamics in the atmosphere over Eastern Europe by means of AERONET according to weather conditions during summer 2010]. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, 17, pp. 5-16. <https://doi.org/10.31481/uhmj.17.2016.01> (in Ukr.)
- Palamarchuk, I. et al. (2016) Influence of aerosols on atmospheric variables in the HARMONIE model. *Atmospheric Research*, 169, pp. 539-546. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.08.001>
- Savenets, M. et al. (2022). Comparison of TROPOMI NO₂, CO, HCHO, and SO₂ data against ground-level measurements in close proximity to large anthropogenic emission sources in the example of Ukraine. *Meteorological Applications*, 29 (6), pp. e2108. <https://doi.org/10.1002/met.2108>
- Savenets, M. et al. (2022). Enviro-HIRLAM model estimates of elevated black carbon pollution over Ukraine resulted from forest fires. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 22 (24), pp. 15777–15791. <https://doi.org/10.5194/acp-22-15777-2022>

25. WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals. WMO-No.1203.
26. Natsionalni dopovidi pro stan navkolyshnioho pryrodnoho seredovishcha v Ukraini. Ministerstvo zahystu dovykillia ta pryrodnykh resursiv Ukrainy [National reports about environmental state in Ukraine. The Ministry of environment and natural resources of Ukraine] Available at: <https://mepr.gov.ua/timeline/Nacionalni-dopovidi-pro-stan-navkolishnogo-prirodnogo-seredovishcha-v-Ukraini.html> (Accessed: 12.01.2023) (in Ukr.)
27. Rukovodyashchiiy document RD 52.04-186-89. Rukovodstvo po kontrolyu zagryazneniya atmosfery [Guidance document RD 52.04-186-89. Guidance on atmospheric air pollution control]. Goskomhidromet USSR, 1991 (in Russ.)
28. Elminir, J.K. (2005). Dependence of urban air pollutants on meteorology. *Science of The Total Environment*, 350 (1–3), pp. 225-237. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.01.043>
29. Seinfeld, J.H. & Pandis, S.N. (2016). *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*, 3rd Edition. Wiley.
30. Barrie, L.A. & Schemenauer, R.S. (1986). Pollutant wet deposition mechanisms in precipitation and fog water. *Water, Air, and Soil Pollution*, 30, pp. 91–104. <https://doi.org/10.1007/BF00305178>
31. Saxena, P., Shukla, A. & Gupta, A.K. (eds) (2022) Contribution of Fog in Changing Air Quality: Extremities and Risks to Environment and Society. In *Extremes in Atmospheric Processes and Phenomenon: Assessment, Impacts and Mitigation. Disaster Resilience and Green Growth*. Springer, pp. 87–111. Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-7727-4_5
32. Lakra, K., & Avishek, K. (2022). A review on factors influencing fog formation, classification, forecasting, detection and impacts. *Rend Lincei Sci Fis Nat*, 33 (2), pp. 319-353. <https://doi.org/10.1007/s12210-022-01060-1>.
33. WMO. *Statement on the low-cost sensors for atmospheric composition*. Available at: <https://community.wmo.int/meetings/statement-low-cost-sensors-atmospheric-composition> (Accessed: 25.01.2023).

STATUS OF ATMOSPHERIC AIR POLLUTION IN UKRAINE PRIOR TO THE FULL-SCALE RUSSIAN INVASION. PART 1: GROUND-LEVEL CONTENT OF POLLUTANTS

M. V. Savenets, I. V. Dvoretzka, T. V. Kozlenko, K. M. Komisar, A. P. Umanets, N. S. Zhemera

*Ukrainian Hydrometeorological Institute of the State Emergency Service of Ukraine and
the National Academy of Sciences of Ukraine,
37, Nauky Pr., 03028 Kyiv, Ukraine, savenets@uhmi.org.ua*

The paper is dedicated to examination of atmospheric air pollution in Ukraine that is aimed at establishing basic air quality conditions prior to the full-scale Russian invasion. Analyses cover five air pollutants (dust, sulfur dioxide (SO₂), carbon monoxide (CO), nitrogen dioxide (NO₂), and formaldehyde (CH₂O)) across 126 monitoring stations in 39 cities. It was found that the most dangerous excess of air pollution levels in cities was associated with dust, NO₂, and CO. At the same time, SO₂ content usually did not reach dangerous levels. The highest frequency of exceeding the threshold one-time levels was common for the cities with well-developed industrial facilities. Dangerous air pollution was observed in 15–60% of cases, depending on a pollutant. Dust and NO₂ concentrations of the most polluted cities were 10 times higher than their concentrations in smaller cities having no significant industrial emissions. The difference in average CO, SO₂, and CH₂O concentrations among monitoring stations constituted 3–5 times. We studied the patterns of pollutants' seasonal variability recorded at the monitoring stations. Normally, no significant seasonality except for CH₂O and dust was observed. The interannual variability of pollutants, emissions, and their trends were analyzed for the period since 2008. We identified a certain discrepancy in trends between pollutants' concentrations and emission data over the last years. Pollutant content often continued to grow concurrently with emission reductions. The impact of atmospheric phenomena and wind parameters was studied mainly in terms of its role in formation of high and low atmospheric pollution levels. The analysis indicated a crucial role of local conditions in the formation of an atmospheric pollution field next to monitoring stations. Varying atmospheric pollution values across different monitoring stations within a specific city can be different even under the influence of the same atmospheric phenomena. The wind impact also formed different patterns of atmospheric pollution within same city. 12% to 22% of all monitoring stations (depending on a pollutant) indicated a prevailing impact of a single emission source (or a combined impact of a group of sources). At the same time, air pollution at other monitoring stations was highly variable, with elevated pollution levels being transported from numerous directions. The analysis of the air pollution-affected condition presented in the paper could be used as a basis for comparing ground-level pollution and assessing the warfare consequences in Ukraine. The research emphasizes the importance of updating the information about ground-based monitoring stations.

Keywords: monitoring stations; pollutants; concentrations; emissions; atmospheric air.

Подання до редакції : 01. 02. 2023
Надходження остаточної версії : 27. 02. 2023
Публікація статті : 29. 06. 2023

УДК 504.064

РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИЧНОГО ПІДХОДУ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ ЗАБРУДНЕННЯ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ У МЕЖАХ ІНДУСТРІАЛЬНО РОЗВИНУТИХ ТЕРИТОРІЙ (НА ПРИКЛАДІ РІЧОК МІСТА ХАРКІВ)

Н. С. Лобода, Н. Д. Отченаш, Н. О. Федіна

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

Актуальність дослідження полягає у необхідності визначення перспектив досягнення доброго екологічного статусу водних об'єктів України у відповідності із Водною Рамковою Директивою Європейського Союзу про встановлення рамок діяльності Співтовариства у сфері водної політики. Питання щодо спроможності досягнення поставлених цілей пов'язане з оцінками екологічних ризиків забруднення поверхневих вод хімічними речовинами. Метою дослідження є розроблення нових підходів до установа ризиків забруднення поверхневих вод річок індустріально розвинутих територій. Дослідження виконано на матеріалах гідрохімічних спостережень на річках Лопань та Харків, які знаходяться у межах міста Харків та підлягають забрудненню як промисловими скидами, так і скидами побутово-комунальних підприємств. Основою роботи є застосування ймовірнісного підходу до визначення кількісних показників екологічних ризиків з використанням статистичного розподілу цих показників. Наукова новизна полягає у пропозиції визначення модифікованих індексів забруднення води та показників ризику забруднення окремо для біогенних речовин та важких металів, що дозволяє виконувати оцінку перспектив досягнення доброго екологічного стану під час забруднення поверхневих вод від різних джерел. Результатом досліджень є методика побудови шкали якісного і кількісного оцінювання екологічних ризиків та їх наслідків шляхом семантичного узгодження градацій показників якості водного середовища і показників ризиків забруднення хімічними речовинами. Дослідження, виконане для річок Харків та Лопань, показало, що існує тісний зв'язок між показниками екологічного ризику та індексами забруднення води. Виявлені залежності дозволили узгодити семантичну градацію шкал якості водного середовища та шкал ризиків. Для практичного застосування розробленої методики достатньо на основі даних спостережень розрахувати модифікований індекс забруднення важкими металами або біогенними речовинами і за шкалою екологічних ризиків установити можливу зону ризику та відповідну екологічну ситуацію. Запропоновані підходи рекомендуються до використання під час визначення екологічних ризиків забруднення у межах індустріально розвинутих територій різних країн.

Ключові слова: екологічний ризик; модифікований індекс забруднення води; шкала якісного та кількісного оцінювання рівнів ризиків; зона екологічного ризику; екологічна ситуація; річки міста Харків

1. ВСТУП

Актуальність роботи обумовлена задачами, поставленими перед Україною Європейським Союзом та його державами-членами після підписання угоди про асоціацію у різних сферах суспільного життя, включаючи сферу охорони довкілля [1]. Згідно з Водною Рамковою Директивою (Директива 2000/60/ЄС Європейського парламенту і Ради про встановлення рамок діяльності співтовариства у сфері водної політики) мають бути виявлені перспективи досягнення доброго статусу водних

об'єктів України [2]. Хімічний статус визначається за пріоритетними забруднювальними речовинами. Особливо складним буде досягнення цієї мети на тих територіях, де має місце значне антропогенне навантаження, яке суттєво впливає на кількісний та якісний стан поверхневих і підземних вод. У законі України «Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року», прийнятому 28 лютого 2019 року, № 2697-VIII зазначається, що однією з причин появи в Україні проблем екологічного характеру є «підпорядкованість

екологічних пріоритетів економічній доцільності». На території індустріально розвинутої ще з XVIII сторіччя Харківської області [3] розміщені хімічні, металургійні заводи, підприємства важкої промисловості, які є споживачами значної кількості води річок та слугують джерелом забруднення поверхневих вод [4]. Забір води з поверхневих вод здійснюють 39 підприємств Харківської області [5]. Окремим джерелом забруднення річок є скид стічних вод підприємствами житлово-комунальних господарств та їх надходження з поверхневим та під поверхневим стоком з сільськогосподарських земель [6].

Важливе місце у вирішенні проблеми досягнення доброго екологічного статусу водних об'єктів займає оцінка екологічних ризиків забруднення поверхневих вод хімічними речовинами. Методи розрахунків кількісних показників ризиків забруднення та відповідної оцінки екологічного стану водних об'єктів знаходяться у стадії свого розвитку та визначаються за різним методами. У зв'язку із цим метою роботи є розроблення нових підходів до визначення ризиків забруднення поверхневих вод річок індустріально розвинутих регіонів, де забруднення важкими металами поєднується із забрудненням органічними речовинами. Дослідження виконане на даних гідрохімічних спостережень річок Харків та Лопань, які знаходяться на території міста Харків.

Предметом дослідження є високий рівень антропогенного забруднення поверхневих вод річок міста Харків (річка Харків, річка Лопань) важкими металами та біогенними речовинами.

Об'єктом дослідження є розроблення нових підходів до кількісної оцінки екологічних ризиків забруднення річок важкими металами та біогенними речовинами (на прикладі річок Харків та Лопань).

Робота виконана в рамках науково-дослідної теми кафедри гідроекології та водних досліджень Одеського державного екологічного університету «Оцінка антропогенного впливу на водні екосистеми», термін виконання проекту: 2018 – 2022 рр. № держ. реєстр. 0118U001220 [7].

2. ОПИС ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ

У межах міста Харків протікають річки Харків (довжина 71 км, площа водозбору 1160 км², впадає в річку Лопань) та Лопань (довжина 93 км, площа водозбору 2000 км², впадає у річку Уди). У свою чергу, річка Уди,

яка приймає до себе води річок Харків та Лопань, є однією з найбільш забруднених річок України [8]. У річку Лопань скидаються води таких заводів: ДП «Харківський бронетанковий завод», ДП «Харківський завод спеціальних машин», ДП «Харківський машинобудівний завод імені Т.Г.Шевченка» та інші, але найбільший об'єм скиду стічних вод припадає на підприємство «Міські очисні споруди №1 (КБО «Диканьківський»)» ліміт скиду якого дорівнює 240 млн. м³/рік, у той час як середній багаторічний стік цієї річки становить 122 млн.м³ [9].

На поверхні водозбору річки Харків знаходяться заводи: Харківський тракторний завод, Харківський електротехнічний завод, Харківське державне авіаційне виробниче підприємство та інші. Також у річку Харків скидаються води двох підприємств: КП «Харківський метрополітен» (0,0565 млн.м³), ТОВ «Фармацевтична компанія здоров'я» (0,0128 млн.м³). Такі об'єми скидів менш значні у порівнянні із комунальними скидами у р. Лопань.

За результатами досліджень даних спостережень річки Лопань – місто Харків (у межах міста) та річки Харків – місто Харків (у межах міста) в період з 1990 року по 2015 рік до основних забруднювальних речовин віднесені ті, що мають найбільше середнє багаторічне перевищення гранично допустимої норми.

Установлено, що для р. Лопань - м. Харків основними забруднювальними речовинами є: біхроматне окислення, азот амонійний та нітритний, фосфор загальний, мідь та хром шестивалентний. Для р. Харків – м. Харків основними забруднювальними речовинами є: біхроматне окислення, мідь, цинк, хром та марганець [10].

Концентрації біогенних речовин на річці Лопань значно перевищують відповідні концентрації на річці Харків. Концентрації важких металів у воді річок Лопань та Харків майже однакові за виключенням 90-х років минулого сторіччя, коли об'єми промислового виробництва у басейні річки Харків були більшими.

3. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Ризик можна розглядати як якісну або кількісну характеристику ситуації, що має невизначеність результату, при обов'язковій наявності несприятливих наслідків [11]. Показники екологічного ризику можуть

визначатися за інтегральними показниками, які характеризують стан навколишнього середовища. Наприклад, це можуть бути інтегральні показники, які включають до себе кількісні характеристики стану ґрунтів та земельних ресурсів [12] або характеристики хімічного складу ґрунтів та донних наносів, а також масштабів антропогенної діяльності у вигляді площ сільськогосподарських земель, розораності, залісеності та інше [13]. Для визначення інтегральних показників ризику розробляються спеціальні моделі, де використовується багато специфічних параметрів. У роботі [14] оцінка ризику забруднення підземних вод нітратами була виконана з використанням моделі DRASTIC та географічної інформаційної системи (ГІС). Модель DRASTIC використовує багато специфічних параметрів, таких як глибина ґрунтових вод, поповнення їх запасів, товщина водоносного шару, характеристики ґрунтів, топографічні дані тощо.

Кількісний аналіз ризиків виконується за допомогою математичних і статистичних методів, таких як: статистичний метод; метод оцінки ймовірності очікуваного збитку; метод мінімізації втрат; метод використання дерева ймовірностей [15]. У загальному випадку кількісна оцінка екологічного ризику на базі стохастичної моделі може визначатися як добуток ймовірності виникнення небезпечної екологічної події помноженої на наслідки цієї події. Метод оцінки ймовірності очікуваного збитку заснований на тому, що ступінь ризику визначається як добуток очікуваного збитку на ймовірність того, що цей збиток буде мати місце [16]. Характеристикою збитку може бути кількість жертв, число зруйнованих об'єктів, величина недоотриманого врожаю, рівень або масштаб забруднення території та інше. Характеристики збитку можуть мати біологічне походження. Наприклад, кількість хлорофілу-аубіомасі фітопланктону може використовуватися показник збитку при оцінках ризику евтрофікації водойм [17]. Однак, застосування оцінок екологічних ризиків, які базуються на збитку, нанесеному живим організмам, обмежене відсутністю або недостатністю біологічних спостережень у багатьох країнах світу, до яких відноситься і Україна.

Показником екологічних наслідків забруднення річок може слугувати перевищення фактичної концентрації забруднювальної речовини C над її граничною допустимою

концентрацією СГДК: $(C/СГДК)$ [18]. Це відношення або сума таких відношень під час забруднення декількома речовинами лежить в основі визначення більшості комплексних індексів забруднення. Таким чином, комплексні індекси забруднення можуть відігравати роль показника екологічного збитку і використовуватися як основа для розрахунків ризику. Перевагою такого підходу є те, що для кожного індексу забруднення існує вже розроблена градація (шкала оцінки ступеня забруднення), де кожному інтервалу забруднення відповідає своя якісна характеристика забруднення. У роботі [19] шкала градацій складається відповідно до числа Міллера 7 ± 2 [20]. На відміну від індексів забруднення хімічними речовинами при розрахунках показників ризику на основі ймовірнісної моделі ураховується ймовірність збитку (у даному випадку ймовірність перевищення ГДК для кожної з розглянутих забруднювальних речовин). Таким чином, оцінка ризику є середньою зваженою по ймовірності перевищення ГДК концентрацією забруднювальних речовин [21].

У роботі [22] на основі ймовірнісної моделі розроблений метод оцінки екологічного ризику забруднення вод сполуками азоту. У цьому методі запропоновано використовувати у розрахунках ризиків показник чутливості kn до забруднення сполуками азоту [23].

Особливістю робіт, які виконувалися в ОДЕКУ по розробці методів оцінки екологічних ризиків є те, що в них виконувалося узгодження семантичної класифікації показників якості води та показників ризику. Узгодження було запропоновано виконувати на основі стохастичних зв'язків між показниками якості води та показниками ризику, які характеризуються значеннями кореляційних відношень близькими до 1 [24]. Установлено, що семантичне узгодження показників якості води та показників ризику дозволяє отримати якісну та кількісну шкалу екологічних ризиків, за якою можна визначити зону ризику, екологічну ситуацію, рівень збитків в залежності від визначеного показника екологічного ризику R' [25].

Порівняння результатів розрахунків екологічних ризиків за розробленим методом із оцінками поширеного у Європі "пробіт методу" [26,27] показало наявність тісного стохастичного зв'язку, що підтверджує правомірність запропонованого підходу [28].

4. ОПИС МАТЕРІАЛІВ ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Матеріалами досліджень є дані гідрохімічних спостережень досліджуваних річок (Лопань та Харків у межах міста Харків). Спостереження за станом поверхневих вод на території м. Харкова проводиться Харківським обласним центром з гідрометеорології (у 2 створах). Дані взяті з постів №13557. р. Лопань-м. Харків (у межах міста) 0.5 Ш та №13558. р. Харків-м. Харків (у межах міста) 0.5 Ш. Роглянутий період спостережень триває з 1990 року по 2015 рік.

При вирішенні задач оцінки ризиків розраховуються показники R' , які базуються на визначенні співвідношення концентрацій забруднювальної речовини та її ГДК [29]:

$$R' \cong C_i > C_{ГДКi} \quad (1)$$

$$R' = C_i / C_{ГДКi} > 1 \quad (2)$$

$$R' = C_{ГДКi} / C_i > 1 \quad (3)$$

де R' – кількісний показник ризику;

C_i – рівень концентрації i -ї забруднювальної речовини;

$C_{ГДКi}$ – гранично допустима концентрація для i -ї забруднювальної речовини. $C_{ГДКi}$ призначається в залежності від виду водокористувача.

З урахуванням ймовірності настання ризикової події показник ризику R' набуває вигляду

$$R' = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{ГДКi}} \frac{N_{ai}}{N_i} > 1 \quad (4)$$

де C_i – концентрація i -тої забруднювальної речовини;

$C_{ГДКi}$ – гранично допустима концентрація i -тої забруднювальної речовини;

N_{ai} – кількість проб з хімічним показником, коли ГДК було перевищене;

N_i – загальне число відібраних проб.

Підчас розрахунків екологічних ризиків аксіоматичним є допущення, що більшість наслідків господарської діяльності, в тому числі й ті, які зумовлюють забруднення навколишнього середовища (зокрема, водного середовища), являють собою випадкові величини і підкоряються статистичному закону розподілу, близькому до нормального [30].

Перевірка рядів R' за критерієм Гаусса показала, що вони можуть розглядатися як такі, що підпорядковуються нормальному закону.

Одним з методів вирішення завдань експертного визначення ризиків є метод побудови шкали кількісного і якісного показника ризику. Для цих цілей використовується метод семантичного диференціала, що дозволяє словами, які відображають різні ситуації щодо якості водного середовища, оцінити стан ризикових подій в даний момент [21]. Шкала градацій складається відповідно до числа Міллера, рівного 7 ± 2 [20].

Градація шкали ризиків може виглядати так: надзвичайно низький, дуже низький, низький, середній, високий, дуже високий, надзвичайно високий. Градація шкали комплексних показників якості води, наприклад, ІЗВ також утримує у собі 7 класів і виглядає таким чином: дуже чиста, чиста, помірно забруднена, забруднена, брудна, дуже брудна, надзвичайно брудна. Таким чином, градація показників ризику та ступеня забруднення води можуть бути узгоджені між собою, що знайшло своє відображення у роботах під керівництвом проф. Лободи Н.С. [22, 24, 31, 32].

Першим етапом у процесі узгодження класифікацій показників якості води та показників ризику є побудова графіку зв'язку між значеннями ІЗВ та значеннями ризиків R' .

Другий етап полягає у визначенні границь градацій R' , які відповідають границям ІЗВ за допомогою отриманої залежності $R' = f(ІЗВ)$.

Третій етап розрахунків передбачає побудову кривої забезпеченості показника R . Забезпеченість є ймовірністю перевищення заданого значення випадкової величини. Криві забезпеченості представляють собою один із видів математичного опису статистичного закону розподілу випадкової величини.

На четвертому етапі за установленими граничними значеннями R визначаються відповідні значення їх забезпеченості на основі використання емпіричної кривої ймовірності перевищення заданої випадкової величини.

В залежності від класу якості води установлюються зони ризику, надається якісна оцінка рівня збитку та ймовірність попадання у кожну зону. Клас якості води з метою наступного семантичного узгодження показників якості та показників ризику установлювався за індексом ІЗВ (табл. 1).

Таблиця 1 – Критерії оцінки якості вод за індексом забруднення води (ІЗВ)
Table 1 – Criteria for assessing water quality according to the water pollution index (WPI)

Клас якості води	Характеристика класу	Величина ІЗВ
I	Дуже чиста	$\leq 0,30$
II	Чиста	0,31 – 1,00
III	Помірно забруднена	1,01 – 2,50
IV	Забруднена	2,51 – 4,00
V	Брудна	4,01 – 6,00
VI	Дуже брудна	6,01 – 10,0
VII	Надзвичайно брудна	$> 10,0$

Гідрохімічний індекс забруднення ІЗВ, введений в дію Держкомгідрометом колишнього СРСР, відноситься до категорії показників, що найчастіше використовуються для оцінки якості водних об'єктів [33,34]. Він визначається як середнє арифметичне значення перевищення концентрації певних речовин (азот амонійний, азот нітритний, нафтопродукти, феноли, розчинений кисень, БСК):

$$IZB = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{ГДК_i}, \quad (5)$$

де C_i – середня концентрація одного з шести показників якості води;

$ГДК_i$ – гранично допустима концентрація показників якості води (господарське – питне водопостачання), у відповідності із галуззю водопостачання.

За необхідністю розраховується так званий модифікований індекс ІЗВ, в якому використовується також шість показників, а інші беруться за найбільшим відношенням до ГДК.

5. ОПИС РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Оскільки попередні дослідження показали, що найбільше перевищення по ГДК спостерігається по важких металах та по біогенним речовинам, що мають різну генетику (наслідки впливу промисловості та скиди комунально-побутових підприємств), то розрахунки показників ризику за (4) та індексів забруднення за (5) відбувалися окремо для

важких металів та біогенних речовин. У своїй роботі автори використали «модифіковані» ІЗВ двох видів. До складу першого виду модифікованого індексу (ІЗВ в.м.) були включені обов'язкові елементи (розчинений кисень, БСК) та важкі метали. До складу другого виду (ІЗВ б) окрім обов'язкових увійшли біогенні речовини (азот амонійний, азот нітритний, азот нітратний, загальний фосфор). Такий підхід дозволив розглянути окремо особливості забруднення річок міста Харків внаслідок скидів промислових підприємств та внаслідок скидів комунально-стічних вод.

Побудовані графіки зв'язку між показниками ризику та показниками забруднення біогенними речовинами (ІЗВ б) та важкими металами (ІЗВ в.м.) описуються експоненціальними функціями (табл. 2). Приклад вигляду однієї з них показаний на рис. 1, Виявлено, що показник ризику R' зростає із збільшенням показника якості вод (ІЗВ). Тобто, чим більше забруднення річки, тим більший показник ризику. Після логарифмування отримані експоненціальні функції перетворюються на рівняння прямої лінії, тіснота лінійного зв'язку яких оцінюється через коефіцієнт кореляції R . За отриманими залежностями $R' = f(IZB)$ було виконано перехід від границь класів ІЗВ (табл. 1) до відповідних границь R' . Таким чином було здійснено перший та другий етапи семантичного узгодження класифікацій індексів якості води та показників ризику.

Таблиця 2 – Регресійні рівняння, які описують зв'язок між показниками ризику та індексами забруднення води ІЗВ
Table 2 – Regression equations describing the relationship between risk indicators and water pollution indexes WPI

Річка та вид залежності	Вигляд експоненціальної залежності	Вигляд лінійної залежності	Коефіцієнт кореляції
Лопань $R' = f(ІЗВ_{\phi})$	$R' = 0,309e^{0,429ІЗВ}$	$\ln R' = \ln 0,309 + 0,429 ІЗВ$	0,671
Лопань $R' = f(ІЗВ_{\phi.м.})$	$R' = 0,474e^{0,410ІЗВ}$	$\ln R' = \ln 0,474 + 0,410 ІЗВ$	0,731
Харків $R' = f(ІЗВ_{\phi})$	$R' = 0,564e^{0,462ІЗВ}$	$\ln R' = \ln 0,564 + 0,462 ІЗВ$	0,747
Харків $R' = f(ІЗВ_{\phi.м.})$	$R' = 0,925e^{0,327ІЗВ}$	$\ln R' = \ln 0,925 + 0,327 ІЗВ$	0,895

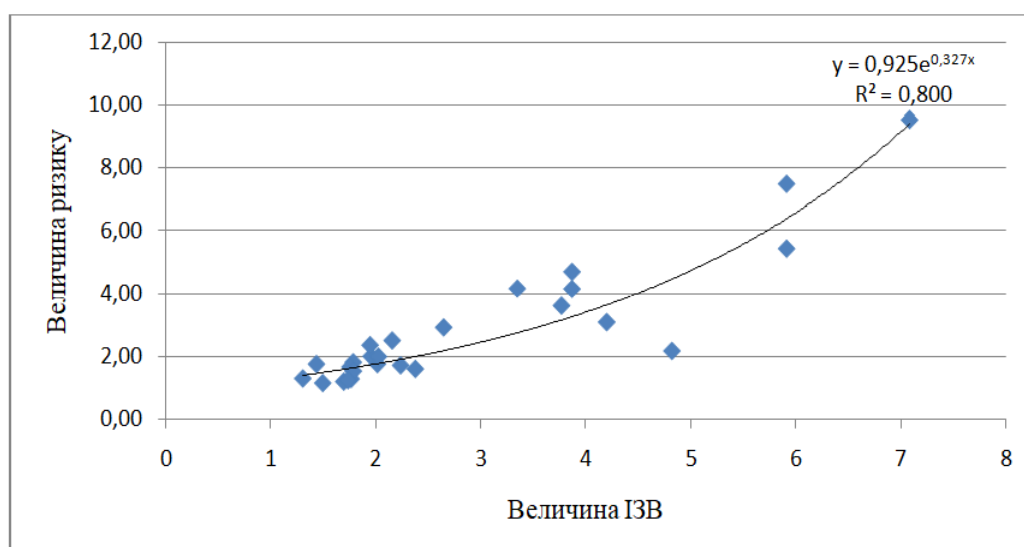


Рис. 1 – Графік залежності ризику R' від показника ІЗВ $\phi.м.$ для річки Харків

Fig. 1 – Graph of the dependence of the risk on the WPI h. m. for the Kharkiv River

Емпіричні криві забезпеченості показників ризику представлені на рис. 2-5. На основі цих кривих за попередньо визначеними значеннями R' установлювався діапазон забезпеченостей для кожного інтервалу шкали та визначалась емпірична ймовірність попадання ризиків у кожен інтервал. Результати розрахунків наведені у таблицях 3-6. В них градації ІЗВ семантично узгоджені із градаціями ризиків R' та зонами ризиків. В залежності від рангу ризику у [21] на основі спеціально розроблених таблиць пропонується визначати ймовірність можливого рівня збитку (маються на увазі можливі

матеріальні, економічні, соціальні та інші втрати), які відбудуться в результаті забруднення води хімічними речовинами) та відповідна кожному рівню якісна характеристика. Таблиці побудовані на основі посилення, що із зростанням ймовірності ризику забруднення води буде зростати ймовірність можливих збитків. Метод семантичного диференціала дозволив шляхом посилення словами, які відображають різні ситуації в зміні якості водного середовища, охарактеризувати загальний стан ризикових подій в даний момент або розрахунковий період [7].

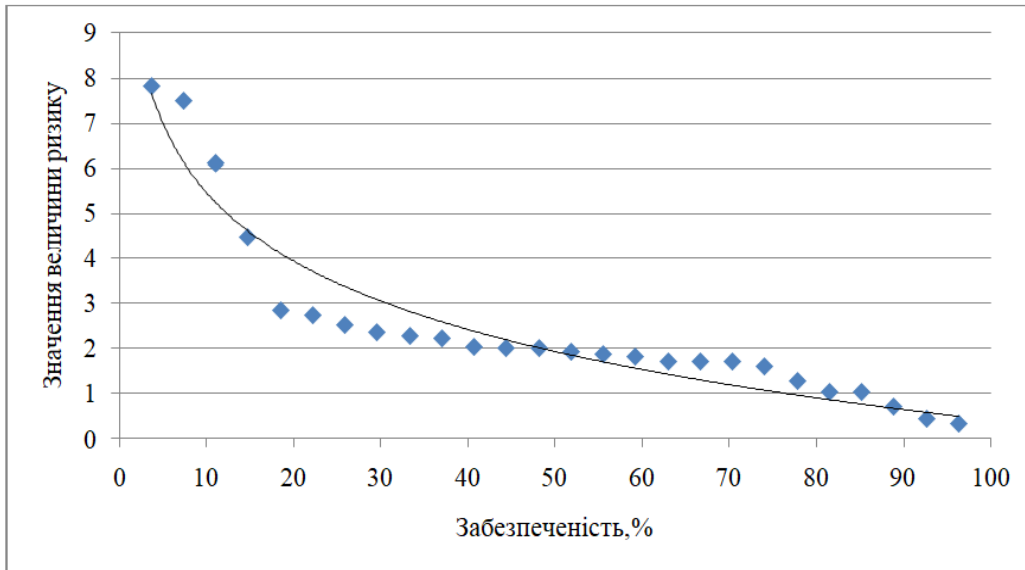


Рис. 2 – Графік емпіричної кривої забезпеченості ризику забруднення біогенними речовинами для річки Лопань
Fig. 2 – The graph of the empirical supply curve of the risk of pollution by biogenic substances for the Lopan River

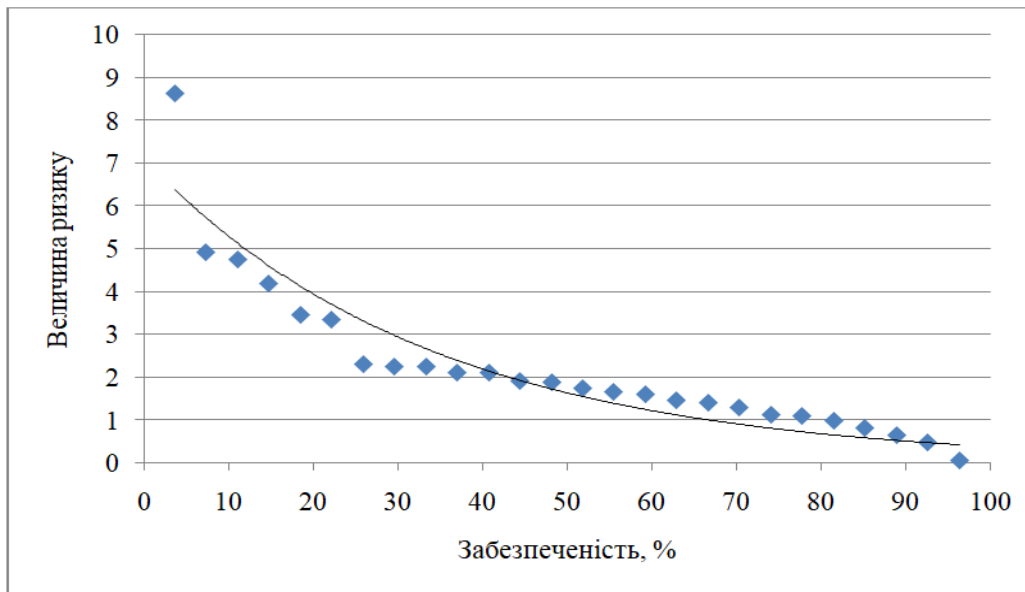


Рис. 3 – Графік емпіричної кривої забезпеченості ризику забруднення важкими металами для річки Лопань
Fig. 3 – The graph of the empirical supply curve of the risk of pollution by heavy metals for the Lopan River

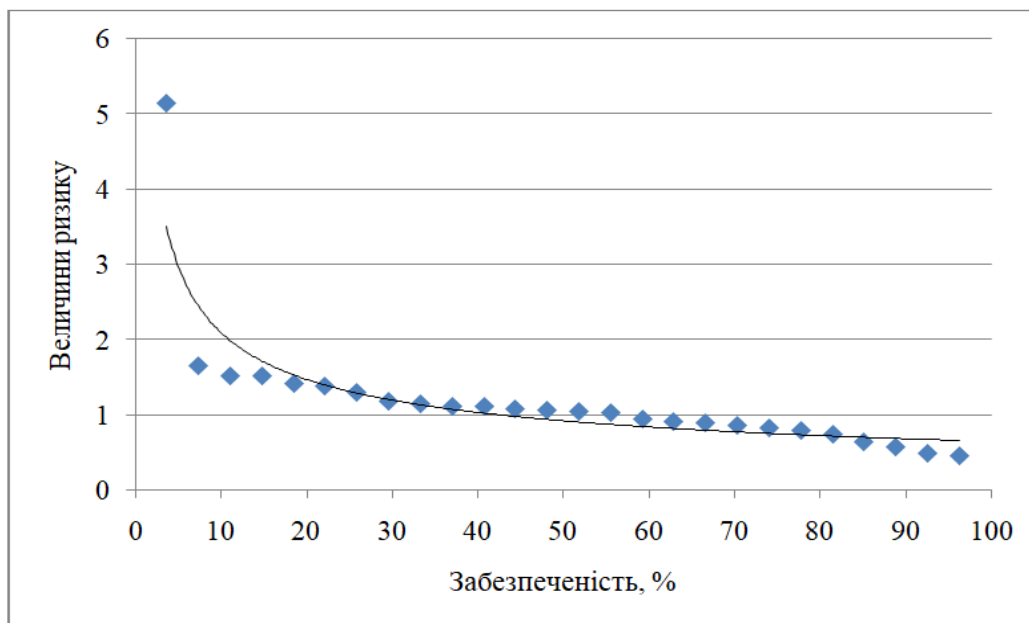


Рис. 4 – Графік емпіричної кривої забезпеченості ризику забруднення біогенними речовинами для річки Харків
Fig. 4 – The graph of the empirical supply curve of the risk of pollution by biogenic substances for the Kharkiv River

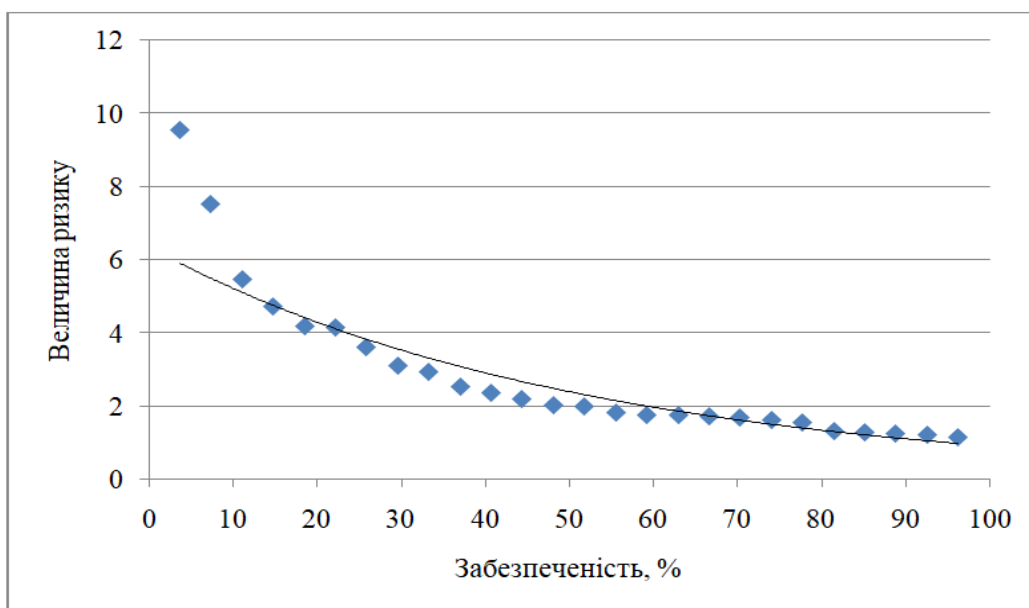


Рис. 5 – Графік емпіричної кривої забезпеченості ризику забруднення важкими металами для річки Харків
Fig. 5 – The graph of the empirical supply curve of the risk of pollution by heavy metals for the Kharkiv River

Таблиця 3 – Якісна та кількісна шкала екологічних ризиків забруднення для річки Лопань (за біогенними елементами)
Table 3 – Qualitative and quantitative scale of environmental pollution risks for the Lopan River (by biogenic elements)

Клас якості води	Характеристика класу	ІЗВ	Ризик	Діапазон забезпеченостей	Емпірична ймовірність попадання у діапазон, %	Зона ризику	Екологічна ситуація	Ймовірність рівня збитку	Якісна характеристика рівня збитку
I	Дуже чиста	≤ 0,30	≤0,351	≤94	3,85	Зона відсутності ризику	Сприятлива	0-0,10	Надзвичайно низький
II	Чиста	0,31 – 1,00	0,352-0,472	93,9-89,3	3,85	Зона відсутності ризику	Сприятлива	0,10-0,25	Дуже низький
III	Помірно забруднена	1,01 – 2,50	0,473-0,894	89,2-75,0	3,85	Зона прийнятного ризику	Задовільна	0,25-0,40	Низький
IV	Забруднена	2,51 – 4,00	0,895-1,68	74,9-53,9	15,4	Зона допустимого ризику	Напружена	0,40-0,60	Середній
V	Брудна	4,01 – 6,00	1,69-3,94	53,8-21,2	57,7	Зона критичного ризику	Критична	0,60-0,75	Високий
VI	Дуже брудна	6,01 – 10,0	3,95-21,5	21,1-0,02	15,4	Зона катастрофічного ризику	Катастрофічна	0,75-0,90	Дуже високий
VII	Надзвичайно брудна	> 10,0	>21,5	0,02	0	Зона незворотної втрати якості об'єкта	Поза межно катастрофічна	0,90-1,00	Надзвичайно високий

Таблиця 4 - Якісна та кількісна шкала екологічних ризиків забруднення для річки Лопань (за важкими металами)
Table 4 – Qualitative and quantitative scale of environmental risks of pollution for the Lopan River (by heavy metals)

Клас якості води	Характеристика класу	ІЗВ	Ризик	Діапазон забезпеченостей	Емпірична ймовірність попадання у діапазон, %	Зона ризику	Екологічна ситуація	Ймовірність рівня збитку	Якісна характеристика рівня збитку
I	Дуже чиста	≤ 0,30	≤0,505	≤85,7	7,69	Зона відсутності ризику	Сприятлива	0-0,1	Надзвичайно низький
II	Чиста	0,31 – 1,00	0,506-0,67	85,6-79,4	3,85	Зона відсутності ризику	Сприятлива	0,1-0,25	Дуже низький
III	Помірно забруднена	1,01 – 2,50	0,68-1,24	79,3-61,3	15,4	Зона прийнятного ризику	Задовільна	0,25-0,40	Низький
IV	Забруднена	2,51 – 4,00	1,25-2,3	61,2-38	46,2	Зона допустимого ризику	Напружена	0,40-0,60	Середній
V	Брудна	4,01 – 6,00	2,31-5,23	37,9-10,1	23,1	Зона критичного ризику	Критична	0,60-0,75	Високий
VI	Дуже брудна	6,01 – 10,0	5,24-26,9	10-0,00056	3,84	Зона катастрофічного ризику	Катастрофічна	0,75-0,9	Дуже високий
VII	Надзвичайно брудна	> 10,0	>26,9	>0,00056	0	Зона незворотної втрати якості об'єкта	Поза межно катастрофічна	0,9-1	Надзвичайно високий

Таблиця 5 – Якісна та кількісна шкала екологічних ризиків забруднення для річки Харків (за біогенними елементами)
Table 5 – Qualitative and quantitative scale of environmental risks of pollution for the Kharkiv River (by biogenic elements)

Клас якості води	Характеристика класу	ІЗВ	Ризик	Діапазон забезпеченостей	Емпірична ймовірність попадання у діапазон, %	Зона ризику	Екологічна ситуація	Ймовірність рівня збитку	Якісна характеристика рівня збитку
I	Дуже чиста	≤ 0,30	≤ 0,65	≤ 84,8	15,4	Зона відсутності ризику	Сприятлива	0-0,10	Надзвичайно низький
II	Чиста	0,31 – 1,00	0,651-0,89	84,7-49,8	15,4	Зона відсутності ризику	Сприятлива	0,1-0,25	Дуже низький
III	Помірно забруднена	1,01 – 2,50	0,9-1,79	49,7-15,9	65,4	Зона прийняттого ризику	Задовільна	0,25-0,40	Низький
IV	Забруднена	2,51 – 4,00	1,8-3,58	15,8-5,1	3,85	Зона допустимого ризику	Напружена	0,40-0,60	Середній
V	Брудна	4,01 – 6,00	3,59-9	5-1,11	0	Зона критичного ризику	Критична	0,60-0,75	Високий
VI	Дуже брудна	6,01 – 10,0	9,1-57,24	1,1-0,05	0	Зона катастрофічного ризику	Критична	0,75-0,9	Дуже високий
VII	Надзвичайно брудна	> 10,0	57,24	0,05	0	Зона незворотної втрати якості об'єкта	Катастрофічна	0,9-1	Надзвичайно високий

Таблиця 6 – Якісна та кількісна шкала екологічних ризиків забруднення для річки Харків (за важкими металами)
Table 6 – Qualitative and quantitative scale of environmental pollution risks for the Kharkiv River (by heavy metals)

Клас якості води	Характеристика класу	ІЗВ	Ризик	Діапазон забезпеченостей	Емпірична ймовірність попадання у діапазон, %	Зона ризику	Екологічна ситуація	Ймовірність рівня збитку	Якісна характеристика рівня збитку
I	Дуже чиста	≤ 0,30	≤ 1,02	≤ 81,5	0	Зона відсутності ризику	Сприятлива	0-0,1	Надзвичайно низький
II	Чиста	0,31 – 1,00	1,021-1,28	81,1-73,2	15,4	Зона відсутності ризику	Сприятлива	0,1-0,25	Дуже низький
III	Помірно забруднена	1,01 – 2,50	1,29-2,09	73,1-52,9	38,5	Зона прийняттого ризику	Задовільна	0,25-0,40	Низький
IV	Забруднена	2,51 – 4,00	2,10-3,42	52,8-31,1	19,2	Зона допустимого ризику	Напружена	0,40-0,60	Середній
V	Брудна	4,01 – 6,00	3,43-6,59	31,0-8,8	19,2	Зона критичного ризику	Критична	0,60-0,75	Високий
VI	Дуже брудна	6,01 – 10,0	6,6-24,34	8,7-0,007	7,69	Зона катастрофічного ризику	Катастрофічна	0,75-0,9	Дуже високий
VII	Надзвичайно брудна	> 10,0	> 24,34	> 0,007	0	Зона незворотної втрати якості об'єкта	Поза межно катастрофічна	0,9-1	Надзвичайно високий

6. ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Визначення екологічних ситуацій, які утворюються в результаті забруднення поверхневих вод було виконано наступним чином. Прийнято, що «сприятлива» екологічна ситуація спостерігається тоді, коли складові природних ресурсів практично не підлягають антропогенному впливу. Наприклад, така ситуація утворюється за умов наявності класів якості води «дуже чиста» і «чиста», яким відповідає «надзвичайно низький» та «дуже низький» рівні збитку та зона відсутності ризику. «Задовільна» екологічна ситуація характеризується незначними порушеннями екосистем, які в результаті проведення природоохоронних заходів можна усунути. Отже, водна екосистема буде зберігати свою стійкість. «Задовільній» стан екологічної ситуації може бути прийнятий як такий, що відповідає стан води класу III, «помірно забруднені» з «низьким» рівнем ризику. Підчас «напруженої» екологічної ситуації спостерігається суттєве забруднення води, яке призводить до погіршення умов проживання живих організмів, включаючи населення. «Напруженим» ситуаціям при розгляді якості води може відповідати такий стан вод, коли вони відносяться до класу IV, вода «забруднена» з «середнім» рівнем можливого збитку. Завдяки природоохоронним заходам напруженість ситуації може спадати, але не може виправитися повністю. «Критичні» ситуації виникають тоді, коли зростає загроза виснаження компонент природних ресурсів, через те, що антропогенні навантаження суттєво перевищують допустимі норми. Таким випадкам відповідає вода класів якості «брудна» та «дуже брудна» з «високим» та «дуже високим» рівнем збитку. «Катастрофічні» ситуації викликаються багаторазовим перевищенням нормативів антропогенного навантаження. У цьому випадку природні екосистеми руйнуються, що супроводжується різким погіршенням здоров'я людей, втратою унікальних природних об'єктів та генофонду біоти. Прийнято, що «катастрофічні» ситуації можуть спостерігатися, коли класи якості води відносяться до VII «надзвичайно брудна», рівень забруднення «надзвичайно високий».

Установлені за емпіричними кривими забезпеченостей ймовірності попадання показників ризиків у кожен із класів шкали

екологічних ризиків дозволило виявити найбільш вірогідні екологічні ситуації для річок Харків та Лопань. Виявлено, що на річці Лопань у разі забруднення біогенними речовинами (табл. 3) найбільш ймовірним (57,7%) є формування «критичної» екологічної ситуації з високим рівнем збитків. При розгляді забруднення річки Лопань важкими металами найбільш ймовірною (42,6%) є «напружена» екологічна ситуація з середнім рівнем збитку та утворенням зони допустимого ризику (табл. 4).

На річці Харків ймовірність створення «критичної» екологічної ситуації за рахунок біогенних речовин (табл. 5) наближається до 0. Виявлено, що найбільш ймовірним (65,4%) є формування «задовільної» екологічної ситуації з низьким рівнем збитку у зоні «прийнятної» екологічного ризику.

Під час розгляду забруднення важкими металами (табл. 6) установлено, що ймовірність формування критичної екологічної ситуації становить 19,2%, а зони напруженої ситуації також 19,2%, а зони задовільної екологічної ситуації – 38,5%. Критична екологічна ситуація за рахунок надходження у воду річки Харків була характерною для 90-тих років минулого сторіччя. Наприклад, у 1992 рік для річки Харків за значенням ризику забруднення важкими металами спостерігалася катастрофічна ситуація. За значенням показника ризику забруднення біогенними речовинами – сприятлива екологічна ситуація

ВИСНОВКИ

1. За даними спостережень установлено, що річки міста Харків (Лопань та Харків) підлягають як забрудненню важкими металами (в результаті розвитку промисловості ще з 19 сторіччя), так і забрудненню стічними водами комунально-побутових підприємств. За матеріалами про об'єми скидів виявлено, що річка Лопань у більшій мірі ніж річка Харків підпадає під дію біогенних речовин, які знаходяться у стічних водах внаслідок функціонування міської очисної споруди №1 (КБО «Диканьківський»). Об'єм стічних вод з очисних споруд на річці Лопань перевищує середній багаторічний об'єм річного стоку майже у 2 рази.

2. З метою роздільного визначення екологічного ризику забруднення важкими

металами та біогенними речовинами було запропоновано розраховувати модифіковані індекси забруднення води (ІЗВ) окремо для важких металів (розчинений кисень, БСК5, цинк, мідь, залізо, марганець) та біогенних речовин (розчинений кисень, БСК5, азот нітратний, азот нітритний, азот амонійний, фосфор загальний).

3. В результаті виконання розрахунків показників ризику забруднення важкими металами та біогенними речовинами було виявлено тісний зв'язок між цими показниками та відповідними модифікованими індексами забруднення води, що дозволило узгодити семантичну градацію шкал якості водного середовища та шкал ризиків та відобразити різні екологічні ситуації зміни якості водного середовища у зв'язку з формуванням ризикових подій.

4. Для практичного використання достатньо на основі даних спостережень визначити модифікований індекс забруднення важкими металами або біогенними речовинами та за шкалою ризиків установити зону ризику та відповідну екологічну ситуацію.

5. Запропоновані підходи рекомендуються до використання під час визначення екологічних ризиків забруднення річок у межах індустріально розвинутих територій різних країн.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Directive 20 00/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a frame work for Community action in the field of water policy. *Official Journal EU*. L 327. 22/12/2000. Pp. 0001-0073
- Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЄС. Основні терміни та їх визначення: Вид. офіційне. Київ: Твій формат, 2006. 240 с.
- Сіверський Донець: водний та екологічний атлас / Васенко О. Г., Гриценко А. В., Карабаш Г. О., Станкевич П. П. та ін.; за ред. А. В. Гриценка, О. Г. Васенка. Харків: ВД «Райдер», 2006. 188 с.
- Сучасний екологічний стан української частини річки Сіверський Донець (експедиційні дослідження) / Гриценко А. В., Васенко О. Г. та ін.; за ред. д-ра геогр. наук, проф. А. В. Гриценка; канд. біол. наук, доц. О. Г. Васенка. Харків: ВПП «Контраст», 2011. 340 с.
- Жук В. М. Особливості водогосподарських систем Харківської області. *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та техногенної безпеки: зб. наук. пр. УкрНДІЕП*. 2014. Вип. XXXVI. С. 152-164.
- Оцінка емісії біогенних елементів та органічних речовин у поверхневій воді басейну річки Сіверський Донець від дифузних джерел / Осадча Н. М., Ухань О. О., Чехній В. М., Голубцов О. Г. *Проблеми гідрології, гідрохімії, гідроекології* / за ред. чл.-кор.
- НАН України В. І. Осадчого та ін. Київ: Ніка-центр, 2019. С. 192–199.
- Антропогенний вплив на водні об'єкти та шляхи інтегрованого управління ними. Звіт про НДР. ДР № 0118U001220 / наук. керів. Н.С. Лобода; Одеський державний екологічний університет. Одеса, 2022. 261 с. <http://eprints.library.odku.edu.ua/id/eprint/11117>
- Хільчевський В. К., Осадчий В. І., Курило С. М. Регіональна гідрохімія України. Київ: ВПЦ "Київський університет", 2019. 343с.
- Жук В. М. Удосконалення моніторингу водогосподарських систем з урахуванням природного та антропогенного впливу (на прикладі р. Уди): Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 «Екологічна безпека». Харків, 2021. URL: http://Dissertation_Zhuk_2021.pdf (niiep.kharkov.ua)
- Федіна Н. О., Лобода Н. С. Оцінка змін якості води річок Харків та Лопань під дією антропогенного навантаження на початку 21 сторіччя. *XXI наукова конференція молодих вчених Одеського державного екологічного університету*: тези доповідей, 23-31 травня 2022. Одеса, 2022. С. 68-73.
- Вікіпедія*. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA>
- Рибалова О. В., Белан С. В. Екологічний ризик погіршення стану ґрунтів і земельних ресурсів України. *Екологія и промисленность*. 2013. № 3. С. 15 – 22. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ekolprom_2013_3_5. (дата звернення 05.01.2023)
- Serbov M., Hryb O., Pylypiuk V. (2021). Assessment of the ecological risk of pollution of soil and bottom sediments in the Ukrainian Danube region. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2021. 2. Pp. 137–144.
- Ingershal G. Ravindranath, Venugopal Thirukumar. Spatial mapping for Groundwater Vulnerability to Pollution Risk Assessment Using DRASTIC Model in Ponnaiyar River Basin, South India. *Journ. Geol. Geograph. Geology*. 2021. 30(2). Pp. 355–364.
- Shurda K. E. Basic risk assessment methods. *Annali d'Italia*. 2020. Vol.2. Pp. 51 – 53. <http://repository.vsau.org/getfile.php/26781.pdf>
- Шурда К. Е. Методи якісного та кількісного аналізу ризиків. *Збалансоване природокористування*. 2020. Вип. 4. С. 64 – 72. doi: 10.33730/2310-4678.4.2020.
- Evaluating the eutrophication risk of an artificial tidal lagoon / Margaret Kadiri, Holly Zhang, Athanasios Angeloudis, Matthew D. Piggott. *Ocean & Coastal Management*. 2021. 203. 105490.
- Юрасов С. М., Сафранов Т. А., Чугай А. В. Оцінка якості природних вод: навчальний посібник. Одеса: Екологія, 2012. 168 с.
- Spatial-temporal dynamics, ecological risk assessment, source identification and interactions with internal nutrients release of heavy metals in surface sediments from a large Chinese shallow lake / Ke Rao, Tao Tang, Xiang Zhang et al. *Chemosphere*. 2021. 282. 131041, 1-9.
- Muller G., Index of geoaccumulation in sediments of the rhine river. *Geojournal*. 1969. 2. Pp. 108–118.
- Оцінка ризиків для здоров'я людини та навколишнього середовища від джерел забруднення ґрунту та вод. Звіт "Інвентаризація, оцінка та зменшення впливу антропогенних джерел забруднення в Нижньодунайському регіоні України, Румунії,

- республіки Молдова, 2007-2013” (MIS ETC CODE 995) / під ред. Б.В. Буркинський, О.С. Рубель; НАН України, Інститут проблем ринку та еколого-економічних досліджень. Одеса, 2016. 84 с.
22. Loboda N., Daus M. Development of a method of assessment of ecological risk of surface water pollution by nitrogen compounds. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol.5. №10 (113): Ecology, Pp. 15-25. ISSN 1729-3774.
 23. Методика виділення зон, вразливих до забруднення поверхневих і підземних вод нітратними сполуками / Осадча Н. М. та ін. *Український географічний журнал*. 2017. № 4 (112). С. 38–48.
 24. Лобода Н. С., Кулачок К. В. Методичні підходи до оцінки екологічних ризиків на базі використання комплексних показників якості води. *VII-й Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю: збірник наукових праць 25-27 вересня (Екологія/Ecology -2019)*. Україна. Вінниця, 2019. С.75.
 25. Федіна Н. О., Лобода Н. С. Оцінка екологічних ризиків критичного та катастрофічного забруднення поверхневих вод річки Лопань біогенними речовинами. *Регіональні проблеми охорони довкілля та збалансованого природокористування: матеріали Міжнародної наукової конференції за участю молодих науковців*. Одеса: ОДЕКУ, 2022. С. 145- 148.
 26. Robert B. Asd. Basic Probability theory. Mineola, NewYork, 1970, 350 p.
 27. Finney D. Probit analysis: a statistical treatment of the sigmoid response curve. Cambridge University Press, Cambridge, 1952, 256p.
 28. Худякова М. В., Лобода Н. С. Оцінка ступеня забруднення річки Уди під впливом скидних вод міста Харків на початку XXI сторіччя. *XXI наукова конференція молодих вчених Одеського державного екологічного університету: тези доповідей*, 23-31 травня 2022. Одеса, 2022. С. 64-68.
 29. Методичні рекомендації щодо оцінки ймовірності ризикових подій внаслідок забруднення водних об'єктів та ґрунтів української частини Нижньодунайського регіону. Одеса: ФОП Шилів М.В., 2016.
 30. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. Москва: Высшая школа, 1999.
 31. Кулачок К. В., Лобода Н. С. Критерії ризику в гідрокології (на прикладі гідрохімічних даних річки Дністер - смт.Біляївка). *Матеріалами студентської наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ* : тези доповідей, 06-10 травня. Одеса: ТЕС, 2017. С. 113-115.
 32. Кулачок К. В., Лобода Н. С. Якісне і кількісне оцінювання екологічних ризиків загального та нітратного забруднення річки Ягорлик (с.Артирівка). *Матеріали міжнародної наукової конференції молодих вчених*. Одеса: ОДЕКУ, 2020. С.85-87
 33. Сніжко С. І. Оцінка та прогнозування якості природних вод. Київ: Ніка-Центр, 2001. 264с.
 34. Хільчевський В. К. Гідрохімічний словник. Київ: ДІА, 2022. 208 с.
 - Journal EU*, L 327, 22/12/2000, pp. 0001-0073
 2. *Vodna Ramkova Dyrektyva YeS 2000/60/JeS*. (2006). *Osnovni termini ta yikh vyznachenniaiu [EU Water Framework Directive 2000/60/EC. Basic terms and their definitions]*. (in Ukr).
 3. Vasenko, O.H. et al. (2006) *Siverskyi Donets: vodnyi ta ekolohichniy atlas [Siversky Donets: water and ecological atlas]*. Edited by A. V. Hrytsenko, O. H. Vasenko. Kharkiv: Ryder Publishing House (in Ukr).
 4. Hrytsenko, A.V. & Vasenko, O.H. (2011). *Suchasnyi ekolohichniy stan ukrainskoi chastyny richky Siverskyi Donets (ekspedyttsiini doslidzhennia) [Modern ecological state of the Ukrainian part of the Siverskyi Donets river (expeditionary studies)]*. Edited by A.V.Hrytsenko; O.H.Vasenko. Kharkiv: VPP «Kontrast». (in Ukr).
 5. Zhuk, V.M. (2014). Osoblyvosti vodohospodars'kykh system Kharkivs'koi oblasti [Problems of water supply systems of the Kharkiv region]. *Problemy okhorony navkolyshniogo pryrodnoho seredovyscha ta tekhnohennoi bezpeky [Problems of protection of the surrounding natural environment and man-made safety]*, XXXVI, pp. 152-164. (in Ukr).
 6. Osadcha, N.M., Ukhan, O.O., Chekhnii, V.M., Holubtsov, O.H. (2019). Otsinka emisii biogenykh elementiv ta orhanichnykh rechovyn u poverkhnevi vody baseinu richky Siverskyi Donets vid dyfuznykh dzhherel [Assessment of the emission of biogenic elements and organic substances into the surface waters of the Siverskyi Donets river basin from diffuse sources]. In: V.I. Osadchyi and others (eds). *Problemy hidrolohii, hidrokhimii, hidroekolohii [Problems of hydrology, hydrochemistry, hydroecology]*. Kyiv: Nika-tsentr, pp. 192–199. (in Ukr).
 7. Loboda, N.S. (scient. chief). (2022). *Antropohennyi vplyv na vodni obiekty ta shliakhy intehrovanoho upravlinnia nymy. Zvit pro NDR. DR № 0118U001220. [Anthropogenic impact on water bodies and ways to integrate them: Research report. RS 0118U001220]*. Odesa State Environmental University. Odesa. (in Ukr).
 8. Khilchevskiy, V.K., Osadchyi, V.I. & Kurylo, S.M. (2019). *Rehional'na hidrokhiimiya Ukrainy [Regional hydrochemistry of Ukraine]*. Kyiv: "Kyiv University". (in Ukr)
 9. Zhuk, V.M. (2021) *Udoskonalennia monitorynhu vodohospodars'kykh system z urakhuvanniam pryrodnoho ta antropohennoho vplyvu (na prykladi r. Udy) [Upgrading the monitoring of hydroeconomic systems taking into consideration natural and anthropogenic effects]*. Ph.D. Thesis. Research institution "Ukrainian Research Institute of Environmental Problems". (in Ukr). Available at: http://Dissertation_Zhuk_2021.pdf (niiep.kharkov.ua)
 10. Fedina, N.O. & Loboda, N.S. (2022). [Assessment of water quality changes of Kharkiv and Lopan rivers under the influence of anthropogenic load at the beginning of the 21st century]. *Tezy dopovidei XXI naukovoї konferentsii molodykh vchenykh Odeskoho derzhavnogo ekolohichnoho universytetu [Scientific Conference of Young Scientists of Odessa State Ecological University]*, 23-31 may. Odesa, pp. 68-73. (in Ukr).
 11. <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA> (in Ukr).
 12. Rybalova, O.V. & Bielan, S.V. (2013). Ekolohichniy ryzyk pohirshennia stanu ґрунтів i zemelnykh resursiv Ukrainy [Ecological risk of deterioration of soils and land resources of Ukraine]. *Ekolohiia s promyshlennost [Ecology and industry]*, 3, pp. 15 – 22. (in Ukr).

REFERENCES

1. Directive 20 00/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official*

13. Serbov, M., Hryb, O. & Pylypiuk, V. (2021). Assessment of the ecological risk of pollution of soil and bottom sediments in the Ukrainian Danube region. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2, pp. 137–144.
14. Ingershal, G. Ravindranath, Venugopal Thirukumarar (2021). Spatial mapping for Groundwater Vulnerability to Pollution Risk Assessment Using DRASTIC Model in Ponnaiyar River Basin, South India. *Journ. Geol. Geograph. Geology*, 30(2), pp. 355–364.
15. Shurda, K.E. (2020). Basic risk assessment methods. *Annali d'Italia*, 2, pp. 51 – 53. <http://repository.vsau.org/getfile.php/26781.pdf>
16. Shurda, K.E. (2020). [Methods of qualitative and quantitative risk analysis]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia [Balanced nature management]*, 4, pp. 64 – 72. (in Ukr).
17. Margaret Kadiri, Holly Zhang, Athanasios Angeloudis & Matthew D. Piggott (2021). Evaluating the eutrophication risk of an artificial tidal lagoon. *Ocean & Coastal Management*, 203, 105490.
18. Yurasov, S.M., Safranov, T.A. & Chuhai, A.V. (2012). *Otsinka yakosti pryrodnykh vod [Assessment of the quality of natural waters]*. Odesa: Ekology (in Ukr).
19. Ke Rao, Tao Tang, Xiang Zhang et al. (2021). Spatial-temporal dynamics, ecological risk assessment, source identification and interactions with internal nutrients release of heavy metals in surface sediments from a large Chinese shallow lake. *Chemosphere*, 282, 131041, 1-9.
20. Muller, G. (1969). Index of geoaccumulation in sediments of the rhine river. *Geojournal*, 2, pp. 108–118.
21. Burkynskyi, B.V., Rubel, O.Ye. (scient. chief). (2016). *Otsinka ryzykiv dlia zdorovia liudyny ta navkolyshnoho seredovyshcha vid dzhherel zabrudnennia gruntu ta vod. Zvit "Inventoryzatsiia, otsinka ta zmeshennia vplyvu antropohennykh dzhherel zabrudnennia v Nyzhnodunaiskomu rehioni Ukrainy, Rumunii, respubliky Mol-dova, 2007-2013" (MIS ETC CODE 995). [Assessment of risks to human health and the environment from sources of soil and water pollution. Report "Inventory, assessment and reduction of the impact of anthropogenic sources of pollution in the Lower Danube region of Ukraine, Romania, the Republic of Moldova] NAN Ukrainy, Instytut problem rynku ta ekoloho-ekonomichnykh doslidzhen. (in Ukr).*
22. Loboda, N. & Daus, M. (2021) Development of a method of assessment of ecological risk of surface water pollution by nitrogen compounds. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5, №10 (113): Ecology, pp. 15-25.
23. Osadcha, N.M. et.al. (2020). [Methodology for the nitrate vulnerable zones designation in surface and ground water]. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal [Ukrainian Geographical Journal]*, 4 (112), pp. 38–48. (in Ukr).
24. Loboda, N.S. & Kulachok, K.V. (2019) [Methodical approaches to the assessment of environmental risks based on the use of complex indicators of water quality] *Zbirnyk naukovykh prats "VII-i Vseukrainskyi z'ezd ekolohiv z mizhnarodnoiu uchastiu (Ekolohiia -2019) [Collection of scientific papers VII All-Ukrainian congress of ecologists with international participation (Ecology -2019)]*. 25-27 september. Vinnytsia, pp. 75. (in Ukr).
25. Fedina, N.O. & Loboda, N.S. (2022). [Assessment of ecological risks of critical and catastrophic pollution of surface waters of the Lopan River by biogenic substances] *Materyaly mizhnarodnoi konferentsii Rehionalni problemy okhorony dovkillia ta zbalansovanoho pryrodokorystuvannia: [Materials of the international conference Regional problems of environmental protection and balanced nature use]*. Odesa, pp. 145- 148. (in Ukr).
26. Robert, B. (1970). *Asd. Basic Probablity theory*. Mineola, New York.
27. Finney, D. (1952). *Probit analysis: a statistical treatment of the sigmoid response curve*. Cambridge University Press, Cambridge.
28. Khudiakova, M.V. & Loboda, N.S. (2022). [Assessment of the degree of pollution of the Uda River under the influence of discharge waters of the city of Kharkiv at the beginning of the 21st century]. *Tezy dopovidei XXI naukovi konferentsii molodykh vchenykh Odeskoho derzhavnoho ekolohichnoho universytetu [Abstracts of reports of the 21st Scientific Conference of Young Scientists of Odessa State Ecological University]*, 23-31 may. Odesa, pp. 64-68. (in Ukr).
29. *Metodychni rekomendatsii shchodo otsinky ymovirnosti ryzykovykh podii vnaslidok zabrudnennia vodnykh ob'ektiv ta gruntiv ukrainskoi chastyny Nyzhnodunaiskoho rehionu [Methodological recommendations for assessing the probability of risk events due to contamination of water bodies and soils of the Ukrainian part of the Lower Danube region]* (2016). Odesa: FOP Shylov M.V. (in Ukr).
30. Venttsel, E.S. (1999). *Teoriya veroyatnostey. [Probability Theory]*. Moscow: Vysshaya shkola. (in Russ).
31. Kulachok, K.V. & Loboda, N.S. (2019). [Risk criteria in hydroecology (on the example of hydrochemical data of the Dniester River - Bilyaivka settlement)]. *Tezy dopovidey za materialamy student-s'koyi naukoyi konferentsiyi molodykh vchenykh ODEKU [Theses of reports based on the materials of the student scientific conference of young scientists of ODEKU]*, 06-10 may. Odesa, pp. 113-115. (in Ukr).
32. Kulachok, K.V. & Loboda, N.S. (2020) [Qualitative and quantitative assessment of environmental risks of general and nitrate pollution of the Yagorlyk River (Artyrivka village)]. *Materialy mizhnarodnoi naukovi konferentsii molodykh vchenykh. ODEKU [Materials of the international scientific conference of young scientists of ODEKU]* Odesa, pp. 85-87. (in Ukr).
33. Snizhko, S.I. (2001). *Otsinka ta prohozuvannya yakosti pryrodnykh vod. [Assessment and forecasting of natural water quality]*. Kyiv: Nika-Centr Publ. (in Ukr.)
34. Khilchevskyi, V.K. (2022) *Hidrokhimichnyi slovnyk [Hydrochemical dictionary]*. Kyiv: DIA (in Ukr).

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGICAL APPROACH FOR DETERMINATION OF ENVIRONMENTAL RISKS OF WATER BODIES POLLUTION ACROSS INDUSTRIALLY DEVELOPED TERRITORIES (AS EXEMPLIFIED BY THE RIVERS OF CITY OF KHARKIV)

N. S. Loboda, N. D. Otchenash, N. O. Fedina

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

The study's relevance consists in the need to determine the prospects for achieving a good environmental condition of Ukrainian water bodies in accordance with the Water Framework Directive of the European Union on establishing the framework of the Community's activities in the field of water policies. The question on ability to achieve the set goals is related to assessment of the environmental risks of surface water pollution by chemical substances. The purpose of the research is to develop new approaches to identification of the risks of surface rivers' water pollution across industrially developed territories. The study was carried out using the data of hydrochemical observations of the Lopan and the Kharkiv rivers. The rivers are located inside City of Kharkiv and exposed to pollution both by industrial discharges and municipal wastes. The work is based on application of a probabilistic approach aimed at determining quantitative indicators of the environmental risks using statistical distribution of such indicators. The scientific novelty consists in offering a method to determine modified water pollution indices and pollution risk indicators specifically for biogenic substances and heavy metals. This allows evaluating the prospects of ensuring a good environmental condition despite surface water pollution from various sources. The research results in presenting a method of building a scale for qualitative and quantitative assessment of environmental risks and their consequences. It relies upon semantical match of the gradations of aquatic environment quality indicators and chemical contamination risk indicators. The study that covers the Kharkiv and the Lopan rivers showed a close relationship between environmental risk indicators and water pollution indices. The revealed dependencies made it possible to harmonize the semantic gradation of aquatic environment quality scales and risk scales. Practical application of the developed methodology implies only calculation of the modified index of pollution by heavy metals or biogenic substances based on the observation data and establishing a possible risk zone and a corresponding environmental situation according to the environmental risk scale. The proposed approaches are recommended for use when determining environmental pollution risks across industrially developed territories of different countries.

Key words: environmental risk; modified water pollution index; scale of qualitative and quantitative assessment of risk levels; environmental risk zone; environmental situation; rivers of City of Kharkiv.

*Подання до редакції : 24. 02. 2023
Надходження остаточної версії : 29. 03. 2023
Публікація статті : 29. 06. 2023*

УДК номер 556.531

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА АНТРОПОГЕННИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА НАСЛІДКІВ ЇХ ВПЛИВУ НА ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ (НА ПРИКЛАДІ РІЧКИ ГРУЗЬКА КІРОВОГРАДСЬКОЇ ОБЛАСТІ)

Н. С. Лобода, Я. С. Яров, А. М. Куза, І. В. Катинська

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

Актуальність роботи обумовлена необхідністю подальшого розроблення та удосконалення методів оцінки антропогенних навантажень та їх наслідків на річки. Робота виконана у рамках НДР кафедри гідроекології та водних досліджень ОДЕКУ за темою «Оцінка антропогенного впливу на водні екосистеми». Метою роботи є визначення екологічного статусу водних об'єктів на основі комплексного підходу, який передбачає розрахунки наслідків впливу антропогенних навантажень на водні ресурси та екологічний стан поверхневих вод, включаючи оцінки ризиків забруднення різного ступеня та ризиків недосягнення екологічних цілей. Методами досліджень є метод оцінки характеристик водних ресурсів невивчених у гідрологічному відношенні річок на базі використання метеорологічних даних (модель клімат-стік), методи оцінки впливу антропогенних навантажень на водні ресурси та на перспективи досягнення доброго екологічного стану водних об'єктів згідно із постановами Водної Рамкової Директиви, метод оцінки екологічних ризиків на основі використання функції Prob та створення шкали узгодження показників якості води та ризиків. Визначення комплексного показника використання водних ресурсів річки показало, що зменшення характеристик водності за рахунок змін клімату не суттєво впливає на екологічний стан річки, який залишається «незадовільним». Установлено, що основним джерелом забруднення річки Грузька, яка забезпечує водою резервне водосховище Лелеківське (місто Кропивницький Кіровоградської області) є господарсько-побутові стічні води. Виявлено, що майже за всіма критеріями виявлення наслідків антропогенних навантажень (скид стічних вод, рослинництво та тваринництво, хімічні та фізико-хімічні показники) на річці Грузька встановлено ризик недосягнення доброго екологічного стану. Отримано, що досліджуваний водотік характеризується як такий, що знаходиться під значним антропогенним впливом, рівень якого близький до межі стійкості екосистеми. Встановлено, що використання екологічного ризику ER, що базується на показнику Prob, доповнює інформацію щодо екологічного стану річки. Запропонований комплексний підхід до визначення антропогенних навантажень та їх наслідків може бути використаний для недостатньо вивчених, з точки зору гідролого-гідрохімічних спостережень, річок та водойм України та інших держав.

Ключові слова: антропогенні навантаження на водні ресурси; показники якості вод; екологічні ризики; ризики недосягнення доброго екологічного стану.

1. ВСТУП

Актуальність роботи обумовлена необхідністю подальшого розроблення та удосконалення методів оцінки антропогенних навантажень на річки та виявлення наслідків їх впливу з метою установавання перспектив приведення цих річок до доброго екологічного стану згідно із задачами, поставленими в рамках Угоди про асоціацію між Україною та ЄС у сфері охорони довкілля та сформульованих у постановах Водної Рамкової Директиви ЄС 2000/60/ЄС [1].

У роботі використані результати, які були отримані у межах науково-дослідної роботи

кафедри гідроекології та водних досліджень Одеського державного екологічного університету за темою «Оцінка антропогенного впливу на водні екосистеми», термін виконання проекту: 2018 – 2022 рр. № держ. реєстр. 0118U001220.

Постановка проблеми. Стан поверхневих вод визначається за екологічним та хімічним статусом [2]. Екологічний статус пов'язується із біологічними елементами, але в Україні біологічних спостережень на водних об'єктах вкрай недостатньо. Хімічний статус визначається за пріоритетними забруднювальними речовинами, які є

токсичними для живих організмів. Перспективи досягнення доброго екологічного стану водних об'єктів оцінюються за кількісними показниками, які розраховуються за допомогою різних методів та методик в залежності від наявності вихідної інформації (гідрологічні спостереження, дані водогосподарських балансів, гідрохімічні спостереження та інше).

До числа невирішених задач відноситься відсутність комплексного підходу під час установа екологічного стану водних об'єктів різними методами. Застосування різних підходів може призводити до різних висновків, що потребує процедури співставлення та аналізу.

Метою роботи є визначення екологічного статусу водних об'єктів на основі комплексного підходу, який передбачає розрахунки наслідків антропогенних навантажень на водні ресурси та екологічний стан поверхневих вод, включаючи оцінки ризиків забруднення різного ступеня та ризиків недосягнення екологічних цілей згідно із постановами Водної Рамкової Директиви.

Об'єктом досліджень є наслідки впливу антропогенного навантаження на водні ресурси та екологічний стан поверхневих вод.

Предметом досліджень є порівняльний аналіз оцінок впливу антропогенного навантаження на екологічний статус поверхневих вод (на прикладі річки Грузька).

Опис водного об'єкту. Річка Грузька є правою притокою річки Інгул, яка протікає в межах Кропивницького району і впадає в р. Інгул на північно-західній околиці міста Кропивницький (мікрорайон Лелеківка) [3]. Особливістю річки є те, що у її гирлі збудовано Лелеківське водосховище, яке слугує для рекреації, комунально-господарського використання та для зрошування. У воєнні часи важливість цього водосховища для міста Кропивницький зростає, тому що воно розглядається як резервне джерело прісної води для питного водопостачання [4]. На теперішній час, за діючою основною технологічною схемою водопостачання, місто Кропивницький отримує питну воду з Кременчуцького водосховища через водогін ОКВП “Дніпро-Кіровоград”. Підземними водами місто Кропивницький забезпечене на 16%. Річка Грузька має такі характеристики [5]: ухил – 2,4 м/км, довжина річки – 24 км, площа водозбірного басейну 252 км². Річка Грузька відноситься до малих річок України [6]. Вона знаходиться на межі Північного Степу з Лісостепом. Основними населеними пунктами

вздовж течії річки є такі села; Грузьке, Катеринівка, Обознівка. В басейні р. Грузька знаходиться один промисловий водозабір та три джерела скидів стічних та зворотних вод, які належать до категорії «забруднені, недостатньо очищені» [7]. Скидні води надходять від державного комунального підприємства «Теплоенергетик» (с. Нове), житлово-комунального підприємства «Обрій» (с. Катеринівка), Кіровоградської обласної психіатричної лікарні (с. Нове). Основним джерелом скидання стічних вод в р. Грузька є ДКП «Теплоенергетик» в с. Нове. Цей ДКП має власні очисні споруди потужністю 1800 м³/добу, які завантажені на 39% і мають протяжність каналізаційних мереж 16,7 км [8].

Важливою екологічною проблемою в області є стан якості поверхневого стоку малих і середніх річок, маловодність яких практично не може протистояти обсягам скиду недостатньо-очищених зворотних вод. Кількість цих стоків, особливо в маловодні періоди року, перевищує природні витрати річок водоприймачів. Однією з найважливіших проблем в області залишається охорона водних об'єктів від забруднення. Вона викликана значною диспропорцією між потужностями водозабірних і каналізаційних споруд, надмірною зношеністю очисних споруд каналізації і каналізаційних мереж. Занепокоєння викликає стан зливової каналізації та відсутність очистки зливових стічних вод у містах і населених пунктах, в т.ч. і в м. Кіровограді. Це зумовлює додаткове забруднення поверхневих вод зливом забруднюючих речовин із забудованих територій. Надходження у поверхневі водні об'єкти забруднювальних речовин із стічними та зливовими водами привели їх до стану, що відповідно до вимог діючих ДСТУ в галузі якості вод не дозволяє розглядати більшість річок області як джерела питного водопостачання.

Огляд літератури. Оцінка ризиків недосягнення екологічних цілей (доброго екологічного стану водного об'єкту) пов'язана, насамперед, із оцінкою антропогенних навантажень. Антропогенний вплив характеризується множиною чинників, кожен з яких створює певний напрям навантаження на кількісний та якісний стан водних об'єктів. Ступінь антропогенної трансформації можна охарактеризувати функціями (коефіцієнтами) антропогенного впливу, які показують зміни характеристик водних ресурсів в залежності від

кліматичних умов, включаючи дані кліматичних сценаріїв, та масштабів водогосподарської діяльності [9]. Антропогенні навантаження на природне (у даному випадку водне) середовище можуть характеризуватися кількісними показниками порушення водних ресурсів території, які являють собою відношення об'ємів водоспоживання та водовикористання до їх початкового об'єму, що формується у природних умовах [10]. Урахування скидів очищених та неочищених вод у річках надає можливість робити висновки щодо ступеня забруднення поверхневих вод та їх екологічного стану. Кількість такого роду показників обмежується наявністю даних моніторингу за використанням водних ресурсів. Окрім того, такі показники не враховують навантаження, пов'язані із забрудненням водних об'єктів в результаті надходження некондиційних вод від дифузних та антропогенних джерел різного походження (промисловість, рослинництво, тваринництво, розораність, комунальне виробництво та інше). Антропогенне навантаження на природне середовище можна також характеризувати кількістю забруднювальних речовин, які викидаються за певний період у поверхневі водотоки та підземні водоносні горизонти. Такі показники антропогенного навантаження описуються через модуль техногенного навантаження, який являє собою відношення кількості всіх видів забруднювальних речовин до площі виділеної адміністративної території. Модуль техногенного навантаження є інтегральною і дещо надмірно узагальнюючою характеристикою. У роботах [11] та [12] запропоновано виконувати такого роду розрахунки окремо для повітряного басейну, водних об'єктів, геологічного середовища. Більш детальну картину антропогенного впливу можуть дати комплексні показники якості вод, які фактично відображають вже наслідки антропогенного впливу. Серед існуючих методик найбільш поширена «Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод суші та естуаріїв України за відповідними категоріями» [13], яка викладена у міжвідомчому керівничому нормативному документі. Маючи значення блокових індексів якості води, легко визначити їхню приналежність до певного класу і категорії якості води за допомогою системи екологічної класифікації. Нормативна методика, розроблена в ОДЕКУ, також передбачає оцінку якості води за блоками та подальше визначення інтегрального показника [14]. На відміну від

нормативної, методика ОДЕКУ використовує не санітарно-гігієнічні, а рибогосподарські ГДК, які суттєво відрізняються від санітарно-гігієнічних, значно перевищуючи їх. Окрім того, нормативна методика не враховує ефект сумарної дії окремих речовин та виконує подвійне осереднення. При інших рівних умовах у ній проводиться подвійне згладжування вихідних даних. Головним недоліком існуючих методик є відсутність адекватної комплексної оцінки якості вод як середовища мешкання живих організмів.

З метою визначення основних антропогенних впливів на стан поверхневих вод в Україні була затверджена методика, яка розглядає «процес аналізу антропогенних навантажень як «процес оцінки ризику недосягнення екологічних цілей» у відповідності із задачами, поставленими Водною Рамковою Директивою [1]. В цій методиці пропонуються спеціально розроблені критерії для оцінки виникнення ризику недосягнення екологічних цілей для певного водного об'єкту на основі даних про гідроморфологічні зміни, об'єми вилучення вод з річок та водойм, а також даних про скиди забруднених вод. Втрати стоку розглядаються не тільки по відношенню до середніх багаторічних величин стоку, а і по відношенню до екологічного стоку річок, який визначається за характеристиками мінімального стоку. Методика передбачає надання інформації про точкове та дифузне забруднення поверхневих водотоків водами, які надходять з тваринницьких ферм та з сільськогосподарських полів. Окрім показників антропогенних навантажень у цій методиці рекомендується визначати екологічний ризик по фізико-хімічних показниках, серед яких значна увага приділяється біогенним речовинам. Детальний опис цієї методики та приклад її застосування надається в роботі авторів [15]. Зазначена методика оцінювання антропогенних навантажень призначена для первинного аналізу екологічного стану річок України з метою забезпечення досягнення всіма поверхневими водними об'єктами доброго екологічного та хімічного статусу згідно з угодою про асоціацію між Україною та Європейським Союзом. Її недолік полягає у тому, що вона розглядає обмежену кількість хімічних та фізико-хімічних речовин і не включає до себе, наприклад, такі забруднювальні речовини як важкі метали. Оцінювання наслідків антропогенного впливу на екологічний стан водних об'єктів можливо виконувати за допомогою інтерпретації комплексних індексів якості води, коли на їх

основі розраховується індекс якості оточуючого середовища *EQI* [16]. Градації індексу *EQI* відповідно до класів якості вод наводяться у керівному документі ЄС [17]. Методика оцінки антропогенного навантаження може базуватися на синтетичних формулах, які поєднують у вигляді добутку різні кількісні показники змін досліджуваного середовища [18]. При побудові таких формул часто використовується поняття рангу антропогенної перетвореності, який пов'язаний з бальними оцінками, і може носити дещо суб'єктивний характер [19]. Широкий розвиток отримав напрям визначення кількісних показників екологічного ризику, в яких застосовуються ряди гідрохімічних індексів з використанням перевищень концентрацій забруднювальних речовини їх нормативів та урахуванням їх ймовірності природи. Основна задача методик визначення екологічного стану річок за показниками ризику полягає у обґрунтуванні шкал якісного та кількісного оцінювання. Для вирішення цієї задачі необхідний сумісний аналіз характеристик якості води та показників ризику, що досягається шляхом семантичної диференціації [20, 21].

Якщо розглядати показники антропогенного впливу окремо, то кожен з них не може слугувати інтегральною характеристикою антропогенної трансформації водних об'єктів, оскільки перетворення багатогранні і залежать від виду водного об'єкту, географічного положення, термінів прояви наслідків, цільового призначення та інших чинників [22]. В даній роботі пропонується використовувати комплексний підхід, на основі якого можна приймати вірні рішення щодо висновків про екологічний стан об'єкту та заходів по його покращенню. Запропонований підхід включає до себе кількісну оцінку змін водних ресурсів, оцінку антропогенного навантаження за методикою Держводагенства, використання комплексних показників якості води та оцінку екологічного ризику забруднення води за гідрохімічними даними.

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Моніторинг якості води р. Грузька – Лелеківське водосховище, 4 км від гирла, Кіровоградська приміська ЗС (ЗС – зрошувальна станція) здійснює Лабораторія моніторингу вод та ґрунтів Регіонального офісу водних ресурсів у Кіровоградській області, дані розміщено на інтернет ресурсі Державного агентства водних ресурсів України (ДАВРУ) за посиланням: [23].

Для гідрохімічного дослідження були використані дані по посту р. Грузька – Лелеківське водосховище, 4 км від гирла, Кіровоградська приміська ЗС. Довжина ряду спостережень складає 22 роки (1996 р. – 2018 рр.) У дані спостережень входять 12 інгредієнтів: біохімічне споживання кисню за 5 діб, завислі речовини, розчинений кисень, сульфати, хлориди, азот амонійний, азот нітратний, азот нітритний, фосфати, СПАР, перманганатна окиснюваність, хімічне споживання кисню). За цими даними виконувались оцінка якості води різними методами.

У роботі використані такі розрахункові методи та методики: метод оцінки характеристик стоку невивчених у гідрологічному відношенні річок на основі моделі «клімат-стік»; метод оцінки антропогенних навантажень на водні ресурси; методичні рекомендації щодо визначення основних антропогенних навантажень та їхніх впливів на стан поверхневих вод; метод оцінки якості води за показником індексу забруднення вод (ІЗВ); методика екологічної оцінки якості вод за відповідними категоріями; метод оцінки екологічних ризиків.

Для оцінки характеристик природного (непорушеного водогосподарською діяльністю) річного стоку в умовах минулого та в сучасності була використана модель “клімат-стік”, яка дозволяє надавати оцінки водних ресурсів річок за метеорологічними даними в різних кліматичних умовах (минулих років, у сучасності та у майбутньому із використанням даних кліматичних сценаріїв) за наявності та відсутності антропогенного впливу [24]. Характеристик водних ресурсів у вигляді даних про середній багаторічний річний стік, надані за основі урахування лише кліматичних чинників формування стоку – опадів та температур повітря – отримали назву характеристик кліматичного стоку. Середня багаторічна величина річного кліматичного стоку для малих та середніх за розмірами водозборів може відрізнятися від розрахованої за даними гідрологічних спостережень через вплив підстильної поверхні. Цей вплив може бути урахованим при застосуванні коефіцієнтів переходу ($K_{ПЕР}$) від зонального природного (кліматичного) стоку до стоку малих та середніх водозборів. Коефіцієнти переходу визначаються через показники підстильної поверхні, серед яких інтегральним показником є площа водозбору [25]. Розраховані характеристики

річного стоку використовувались для розрахунків антропогенного навантаження на водні об'єкти.

Оцінка екологічного стану річок за ступенем використання їх водних ресурсів базується на 4 антропогенних показниках.

Показник використання стоку річок (g_{BC} , %) розраховується за формулою

$$g_{BC} = \frac{W_3 + W_B}{W_\phi + W_C} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де W_3 – об'єм води, що забирають з річки, W_B – об'єм втрат річкового стоку завдяки відбору підземних вод, які гідравлічно пов'язані з річковою мережею; W_ϕ – фактичний середньобагаторічний об'єм стоку головної річки; W_C – об'єм скиду води у річкову мережу.

Показник безповоротного водоспоживання (g_{BC} , %) визначається як різниця між вилученими об'ємами та скидами у річку, віднесеними до величини середнього багаторічного стоку річки W_ϕ

$$g_{BC} = \frac{W_3 + W_B - W_C}{W_\phi} \cdot 100\%. \quad (2)$$

Показник надходження стічних вод (g_{HC} , %) у річкову мережу обчислюється як відсоток скидних вод у величині загального стоку річки

$$g_{HC} = \frac{W_C}{W_\phi} \cdot 100\%. \quad (3)$$

Показник скиду забруднених вод у річку ($g_{CЗВ}$, %) ілюструє внесок об'ємів забруднених вод у величину загального стоку

$$g_{CЗВ} = \frac{W_{ЗВ}}{W_\phi} \cdot 100\%, \quad (4)$$

де $W_{ЗВ}$ – об'єм скиду забруднених вод.

Розглянуті первинні показники (g_i) трансформувались у прості оціночні бали за допомогою спеціальної шкали оцінки стану річки за ступенем використання її водних ресурсів та отримується показник Y_i . Розрахунки складного балу використання водних ресурсів визначається за формулою

$$K_{PC} = \sum_{i=1}^n f_i Y_i, \quad (5)$$

де K_{PC} – комплексний показник (складний бал, індекс) використання водних ресурсів річки; f_i – вагові коефіцієнти; Y_i – значення окремих показників (у балах) використання водних ресурсів стоку річок взятих зі шкали критеріїв оцінки стану малої річки за ступенем використання її водних ресурсів.

За комплексним показником надають характеристику стану водних ресурсів за ступенем їх використання.

Згідно із положеннями Водної Рамкової Директиви [26] критерієм оцінки впливу основних антропогенних навантажень на стан поверхневих вод або масивів поверхневих вод (МПВ) є визначення ризику недосягнення екологічних цілей [27]. Показники основних антропогенних навантажень для оцінки забруднення з точкових та дифузних джерел базуються на використанні даних про внесок того чи іншого виду забруднення у формування якості води. Зокрема показник P_{CB} урахує скиди комунальних вод в залежності від кількості населення, під'єднаної до каналізаційної мережі та можливі промислові скиди у каналізаційну мережу

$$P_{CB} = EH / Q_{\min}, \quad (6)$$

де P_{CB} – обсяг скидання стічних вод у масив поверхневих вод; EH – (безрозмірний) еквівалент навантаження, який урахує скид комунальних вод і залежить від кількості населення ($E_{комунал}$) та який спричиняється скиданням стічних вод промислових підприємств ($EH_{пром}$ – органічні речовини (біологічне або хімічне споживання кисню); поживні речовини (нітроген загальний або фосфор загальний) [28].

Еквівалент навантаження ($EH_{комунал}$) – є безрозмірним показником, який розраховується на підставі даних про кількість жителів, під'єднаних до каналізаційної мережі. У випадку, коли у каналізаційну мережу надходять стічні води промислових користувачів, $EH_{пром}$ розраховується з використанням наступних коефіцієнтів: $EH_{БСК5} = 0,06$ кг/добу; $EH_{ХСК} = 0,12$ кг/добу; $EH_{НЗЗ} = 0,011$ кг/добу; $EH_{РЗД} = 0,002$ кг/добу.

Показник I_{CB} описує загальну частку стічних вод, що скидаються до масиву та дає загальну оцінку потенційного забруднення. Індикатор I_{CB} розраховується для аналізу тиску за формулою

$$I_{CB} = \sum Q_{CB} / MQ_r, \quad (7)$$

де I_{CB} - загальна частка стічних вод, що скидаються у масив; $\sum Q_{CB}$ - загальна кількість усіх (поточних / майбутніх) скидів стічних вод у даному масиві поверхневих вод; MQ_r - середньорічна витрата води в масиві поверхневих вод.

Показники I_{CF} та I_{TB} відображають вплив дифузного забруднення, яке надходить з сільськогосподарських масивів (I_{CF}) та тваринницьких ферм (I_{TB}), відповідно.

Розрахунки показника I_{CF} виконуються за формулою

$$I_{CF} = S_{CF} / S_{МПВ}, \quad (8)$$

де I_{CF} - частка сільськогосподарських угідь в даному масиві; S_{CF} - площа, що використовується для інтенсивного сільського господарства у водозборі відповідного масиву; $S_{МПВ}$ - площа водозбору відповідного масиву поверхневих вод.

Показник впливу тваринництва також характеризує дифузне забруднення поживними речовинами, які можуть впливати на біологічні показники, та органічними речовинами, що негативно впливають на кисневий режим. Цей показник розраховується за формулою

$$I_{TB} = U_{II} / S_{МПВ}, \quad (9)$$

де I_{TB} - показник для тваринницької худоби, поголів'я / га або км²; U_{II} - тваринницька одиниця (кількість поголів'я); $S_{МПВ}$ - площа водозбору відповідного масиву поверхневих вод, га або км².

Точковими джерелами забруднення є постійні місця скиду комунально-побутових та

промислових вод. За наявності точкових джерел забруднення у воді переважають амонійні сполуки, які накопичуються у ґрунтах через їх сорбцію на поверхні глинистих мінералів. Дифузні джерела забруднення є розподіленими по території водозбору. Такого роду забруднення виникає через змивання забруднювальних речовин з поверхні водозбору та через ерозію. При дифузному забрудненні переважають нітратні форми сполук азоту, які є добре розчинними і легко вимиваються під час танення снігу та випадіння інтенсивних дощових опадів. Дифузні джерела забруднення мають сільськогосподарське походження. Нітратне забруднення зростає із площею орних земель. Фосфатне забруднення у більшій мірі залежить від ерозії ґрунтів (57 %) і у меншій від сільського господарства (36 %). Для оцінок антропогенного навантаження за хімічними та фізико-хімічними показниками рекомендовано використовувати таблицю 1.

В залежності від якісних або кількісних показників антропогенних навантажень для кожного виду розрахунків виділяється 3 категорії наслідків антропогенного впливу: «без ризику»; «можливо під ризиком»; «під ризиком». Детальний опис розрахунків можна знайти у роботі [15].

Результати оцінки основних антропогенних навантажень та їхніх впливів є основою для розроблення та виконання програми заходів для досягнення екологічних цілей [27, 28].

Метод оцінки якості вод за показником індексу забруднення води (ІЗВ) належить до групи комплексних оцінок [29, 30]. За даними фактичних та нормативних концентрацій 6 гідрохімічних показників (азот амонійний, азот нітритний, нафтопродукти, феноли, розчинений кисень, БСК₅) здійснюється оцінка рівня забруднення води згідно семи класів якості (від «дуже чиста» до «надзвичайно брудна»). Віднесення стану водного об'єкта до І класу

Таблиця 1 – Критерії ризику для хімічних та фізико-хімічних показників
Table 1 - Risk criteria for chemical and physico-chemical indicators

Річки	Оксиген* (%насичення)	БСК ₅ ** мг/дм ³	NH ₄ ** мг/дм ³	NH ₄ *** мг/дм ³	PO ₄ *** мг/дм ³	pH
Малі	75	5	0,4	0,15	0,2	6,8-8,5
Середні	70	6	0,6	0,2	0,3	
Великі	60	7	0,8	0,3	0,4	

Примітка: *10% процентиль – всі сезони, порівняльні умови вимірювання, щонайменше 12 вимірювань; **90% процентиль – всі сезони, репрезентативні умови, щонайменше 12 вимірювань; *** - середньорічне значення.

свідчить про те, що його води перебувають під мінімальним антропогенним навантаженням, їх гідроекологічні показники близькі до природних значень для даного регіону; II клас – це води з певними змінами щодо природного стану, однак зміни поки що не порушили екологічної рівноваги; III клас – води зі значним антропогенним впливом, рівень якого близький до межі стійкості екосистем; води вищих класів (IV – VII) – це води з порушеними екологічними параметрами, їх екологічний стан оцінюється як «екологічний регрес».

Комплексна оцінка якості води за наявними гідрохімічними даними на давалася за показником ІЗВ (Індекса Забруднення Води), який розраховується за формулою

$$ІЗВ = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{ГДК_i}, \quad (10)$$

де C_i - концентрація гідрохімічних показників; $ГДК_i$ - норматив вмісту показника у воді; n - кількість показників [30, 31, 32].

Для обчислення «класичного» ІЗВ використовують 6 показників; для «модифікованого» ІЗВ – максимально доступну кількість показників. За показником встановлюється сім класів якості: 1 – дуже чиста; 2 – чиста; 3 – помірно брудна; 4 – забруднена; 5 – брудна; 6 – дуже брудна; 7 – надзвичайно брудна.

Оцінка якості води надавалася за методикою екологічної оцінки якості води за відповідними категоріями застосовується в Україні офіційно з січня 1999 р. [13]. Методика є міжвідомчим керівним нормативним документом, який ґрунтується на вітчизняному, європейському та світовому досвіді класифікації та оцінки якості поверхневих вод в екологічному аспекті, а також враховує нові вимоги ЄС та ООН стосовно водної політики, зокрема стосовно поліпшення якості води. Методика призначена для спеціалістів центральних, басейнових, обласних і низових ланок та науково-дослідних і проектних установ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, Гідрометцентру України, Державного агентства водних ресурсів України та інших. Зазначена методика має позитивні і негативні сторони. Перевагою методу є широкий перелік гідрохімічних і гідробіологічних показників, що дає змогу (залежно від обсягу наявної

інформації) здійснювати повну чи орієнтовну екологічну оцінку якості води на основі єдиних екологічних критеріїв, порівнювати якість води на окремих ділянках водних об'єктів, у водних об'єктах в різних регіонах і в країні загалом. Серед недоліків методу виділяють те, що широкий перелік закладених в методику показників рідко вимірюється на широкій мережі постів моніторингу стану водного середовища, також – при розрахунку екологічного індексу в блоці критеріїв вмісту специфічних речовин токсичної та радіаційної дії I_3 виникає небезпека ефекту синергізму.

Метод включає до себе такі групи показників: сольові, гідрофізичні, гідрохімічні, бактеріологічні, гідробіологічні, токсичні, радіологічні. Кількість показників дорівнює 45. За даним методом виконується співставлення вмісту (значень) окремих показників з інтервалами концентрацій (значень), встановленими для кожного класу (категорії) якості з екологічних позицій. Класифікація якості проводиться поетапно за певними критеріями: критерій мінералізації, критерій іонного складу, критерій забруднення компонентами сольового складу (індекс I_1), за трофо-сапробіологічними (еколого-санітарними) критеріями (індекс I_2), за критерієм вмісту специфічних речовин токсичної та радіаційної дії (індекс I_3). В результаті надається інтегральна оцінка (індекс I_e) якості води.

Ризик порушення благополуччя водної екосистеми [33] оцінювався шляхом визначення пробіт-функції за таким рівнянням

$$P_{rob} = -2,3 + 2,2 \lg \sum \frac{C_i}{C_{EH_i}}, \quad (11)$$

де P_{rob} - показник пробіт, який є функцією квантіля, що пов'язаний із стандартним нормальним законом розподілу [33]; C_i - концентрація i -ї речовини у водоймі, мг/дм³; C_{EH_i} – екологічний стандарт (ГДК) для i -ої речовини у водоймі, мг/дм³.

Для визначення показника екологічного ризику ER розроблені спеціальні таблиці [34].

В залежності від значення встановленого показника ER надається оцінка ступеня екологічного ризику (табл. 2).

Таблиця 2 – Оцінка ступеня екологічного ризику за показником *ER*
Table 2 - Assessment of the degree of environmental risk according to the *ER* indicator

Клас якості води	<i>ER</i>	Якісна оцінка екологічного ризику	Трофічність
I відмінний	0,01-0,19	Незначний ризик	Оліготрофний
II добрий	0,20-0,39	Підвищений ризик	Мезотрофний
III задовільний	0,40-0,59	Значний ризик	Евтрофний
IV незадовільний	0,60-0,79	Високий ризик	Політрофічний
V поганий	0,80-1,00	Критичний ризик	Гіпертрофічний

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

На річці Грузька не ведуться гідрологічні спостереження, тому оцінка характеристик стоку цієї річки була виконана за моделлю «клімат-стік», яка використовує для розрахунків річного стоку метеорологічні дані [35], згідно із розробленими на основі цієї математичної моделі методиками [36].

Статистичні параметри природного (непорушеного водогосподарською діяльністю) річного стоку були розраховані для кліматичних умов минулого сторіччя (до початку значущого впливу глобального потепління на

метеорологічні характеристики України, тобто до 1990 року [37]) та у сучасних умовах (табл. 3). Розрахунки стоку в сучасних умовах спираються на результати досліджень змін водних ресурсів України на початку XXI сторіччя, згідно з якими зменшення водних ресурсів у степовій зоні України за рахунок змін клімату становить у середньому 25 % [38, 39].

З таблиці 4 видно, що для сучасних кліматичних умов у маловодні роки зменшення водності річки Грузька за рахунок змін клімату досягає 40 %, а у дуже маловодні роки може досягнути 100 %, що вказує на можливе пересихання річки.

Таблиця 3 – Статистичні параметри природного річного стоку річки Грузька, визначені за моделлю «клімат-стік» в кліматичних умовах минулого сторіччя

Table 3 - Statistical parameters of the natural annual flow of the Gruzka River, determined according to the "climate-flow" model in the climatic conditions of the 20th century

Період	Норма кліматичного стоку, \bar{Y}_K , мм	Площа водозбору, F , км ²	Перехідний коефіцієнт, $K_{ПЕР,1}$	Статистичні параметри природного річного стоку			
				$\bar{Y}_{ПР}$, мм	$\bar{W}_{ПР}$, м ³ 10 ⁶	C_V	C_S
Кліматичні умови минулого сторіччя (до 1990 року)	38	252	1,42	54	13,6	0,54	0,80
Сучасні кліматичні умови (починаючи з 1990 року)	29	252	1,42	41	10,4	0,64	0,96

Таблиця 4 – Характеристики природного річного стоку (об'єми) річки Грузька у роки різної водності для кліматичних сторіччя

Table 4 - Characteristics (volumes) of the ensured (natural) annual flow of the Gruzka River in years of characteristic water content for different climatic periods

Період	Природний річний стік заданої забезпеченості W_p , млн. м ³								
	$W_{0,01\%}$	$W_{0,1\%}$	$W_{1\%}$	$W_{5\%}$	$W_{25\%}$	$W_{50\%}$	$W_{75\%}$	$W_{95\%}$	$W_{99\%}$
Кліматичні умови минулого сторіччя (до 1990 року)	54	45	35	27	18	13	8	3	0,82
Сучасні кліматичні умови (починаючи з 1990 року)	50	40,1	30,2	22,7	14,0	9,2	5	1,60	0
Зменшення водності річок, %	7,41	10,9	13,7	15,9	22,2	29,2	37,5	46,7	100

Оцінка екологічного стану малої річки за ступенем використання її водних ресурсів [5] показала, що найбільш впливовими чинниками антропогенної діяльності є відбір води з річки g_{BC} та надходження стічних вод. З таблиці 5 видно, що вплив цих чинників посилюється, починаючи з 1990 року.

Балові оцінки стану використання водних ресурсів (табл. 6) дозволили встановити, що під впливом змін клімату стан використання стоку річок від змінився від «дуже незадовільного» до «катастрофічного», а за рахунок скидів стічних вод – від «задовільного» до «незадовільного».

За шкалою складних балів установлений клас використання водних ресурсів та надана якісна характеристика його стану (табл. 7). З таблиці 7 видно, що за розрахунковий період після 1990 року стан водних ресурсів погіршився. Комплексний показник зменшився з 0,6 до (-1,0), якісний стан характеризується як незадовільний за обидва періоди.

Згідно із методикою розрахунків антропогенного навантаження на масиви поверхневих вод, розробленою на основі положень Водної Рамкової Директиви [12], показник впливу неочищених стічних вод до річки Грузька визначається по відношенню до мінімального річного стоку за формулою (6). Обсяг скидання забруднюючих речовин становить 0,24 тис.тон [40]. Як мінімальний річний стік розглядався стік річки Грузька

забезпеченістю 95 % , значення якого, виражені у m^3/c , становили відповідно до двох розглянутих періодів 0,0951 m^3/c та 0,0507 m^3/c . Загальний об'єм стічних вод приймався рівним 2,089 млн. m^3 .

Безрозмірний показник еквіваленту навантаження ($EH_{комунал}$) розраховувався на підставі кількості жителів. Річка Грузька бере початок з водойми в селі Овсяниківка. Вона тече переважно на північний схід через села Грузьке, Катеринівка та Обознівка. На північно-західній околиці Кропивницького річка Грузька впадає в річку Інгул, ліву притоку Південного Бугу.

Таблиця 5 – Показники використання водних ресурсів річки Грузька до та після значущого впливу змін клімату на формування водних ресурсів

Table 5 - Indicators of the use of water resources of the Gruzka River before and after the significant impact of climate change on the formation of water resources

Середній багаторічний об'єм річного стоку $\bar{W}_{пр}$, млн. m^3	g_{BC} , %	g_{BC} , %	g_{HC} , %	$g_{СЗВ}$, %
до 1990 року				
13,6	17,7	5,01	15,4	2,26
після 1990 року				
10,4	22,2	6,55	20,1	2,95

Таблиця 6 – Оцінка стану використання водних ресурсів річки Грузька до та після початку значущого впливу змін клімату на формування водних ресурсів

Table 6 - Assessment of the use of water resources of the Gruzka River before and after the significant impact of climate change on the formation of water resources

Характеристики використання водних ресурсів	Кількісна та якісна характеристика стану			Вагові коефіцієнти f_i
	g_i , %	Y_i , бали	Стан	
для кліматичних умов до 1990 р.				
Використання стоку річок	17,7	-3	«дуже незадовільний»	0,2
Безповоротне водопостачання	5,01	3	«добрий»	0,2
Надходження стічних вод	15,4	1	«задовільний»	0,3
Скид забруднених вод	2,26	1	«задовільний»	0,3

Таблиця 7 – Комплексний показник K_{PC} використання водних ресурсів річки Грузька

Table 7 - Comprehensive indicator K_{PC} of the use of water resources of the Gruzka River

Комплексний показник	Клас стану використання	Якісна характеристика стану використання
до 1990 року		
0,6	3	В) «незадовільний».
Після 1990 року		
-1,0	3	В) «незадовільний».

Кількість населення по селах становить: Овсяниківка – 480 осіб; Грузьке – 1295 осіб; Катеринівка – 889 особи; Обознівка – 851 особа [41]. Відповідно середня кількість населення складає всього 3515 осіб.

З таблиці 8 витікає, що значення показника P_{CB} після 1990 року зростають за рахунок зменшення мінімального стоку. Річка Грузька і до, і після 1990 року постійно знаходиться під ризиком недосягнення екологічних цілей.

Загальна частка стічних вод у масиві поверхневих вод р. Грузики була розрахована за формулою 7 (табл. 9). Загальний об'єм стічних вод ΣQ_{CB} становить 2,089 млн.м³, або 0,032 м³/с. Середня річна витрата води до 1990 року становила 0,431 м³/с та після 1990 р. - 0,330 м³/с.

На наступному етапі за формулами 8-9 були розраховані два індикатори антропогенного навантаження, яке ілюструють вплив сільськогосподарства I_{CG} та тваринництва I_{TB} (табл. 10). Незначне скорочення масштабів сільського господарства та тваринництва залишає екологічний стан річки Грузька під ризиком «недосягнення доброго екологічного стану».

Отримані результати дозволяють зробити висновок, що ризик недосягнення екологічних цілей (доброго екологічного стану) для річки Грузька у незначній мірі залежить від змін кліматичних умов. Великий вплив антропогенної діяльності, який обумовлений скиданням

Таблиця 8 – Оцінка ризику недосягнення екологічних цілей за показником «неочищені стічні води» (P_{CB})
Table 8 - Assessment of the risk of not achieving environmental goals according to the indicator "untreated wastewater" (P_{CB})

Показник	Значення показника		Оцінка ризику
	до 1990 р.	після 1990 р.	
Еквівалент населення ($EH_{комунал}$)	3,52		«під ризиком»
Показник неочищені стічні води (P_{CB}) для комунальних потреб	37	69,4	
Еквівалент стічних вод $EH_{пром}$	5,32		«під ризиком»
Показник неочищені стічні води (P_{CB}) для промисловості	56	105	

Таблиця 9 – Оцінка ризику недосягнення екологічних цілей за показником I_{CB} (оцінка впливу скидів)

Table 9 - Assessment of the risk of not achieving environmental goals according to the indicator I_{CB} (assessment of the impact of wastewater discharges)

Показник	Значення показника	
	до 1990 р.	після 1990 р.
Об'єм скидів стічних вод (ΣQ_{CB}), м ³ /с	0,032	
Середньорічний об'єм стоку води в річці (MQ_r), м ³ /с	0,431	0,330
Загальна частка стічних вод (I_{CB})	0,07	0,10
Оцінка ризику	«можливо під ризиком»	«під ризиком»

Таблиця 10 – Оцінка ризику недосягнення екологічних цілей за рахунок надходження забруднення з сільськогосподарських масивів (I_{CG}) і тваринницьких ферм (I_{TB}) з використанням даних роботи [42]

Table 10 – Assessment of the risk of non-achievement of environmental goals due to the inflow of pollution from agricultural areas (зиту недосягнення екологічних цілей за рахунок надходження забруднення з сільськогосподарських масивів (I_{CG}) and livestock farms (I_{TB}) with using data from source [42]

Показник	Значення показника		Оцінка ризику
	до 1990 р.	після 1990 р.	
Площа водозбору р. Грузька ($S_{МПВ}$), км ²	252		«під ризиком»
Площа території інтенсивного с/г (S_{CG}), км ²	194	162	
Показник с/г частки водозбору (I_{CG})	0,77	0,64	
Площа Кропивницької області, км ²	24588		«під ризиком»
Кількість голів (U_{II}), шт.	204300	146800	
Показник для тваринництва (I_{TB})	8,3	6	

стічних вод (показники P_{CB} та I_{CB}) від точкових джерел та за впливом рослинництва (індикатор I_{CG}) і тваринництва (індикатор I_{TB}) обумовлює існування ризику недосягнення доброго екологічного статусу як до 1990 року, так і після. Установлено, що за рахунок зменшення водності річки більшість показників антропогенного впливу зростає. Виключення становить показник I_{TB} , який дещо зменшується за рахунок зменшення поголів'я худоби.

Дані гідрохімічних спостережень обмежені у часі. Початок спостережень припадає на 1996 рік. Однак, попередні результати указують на те, що рівень антропогенного навантаження на досліджуваній річці зберігається приблизно постійним як до 1990 року, так і після. Ця обставина дозволяє оцінити наслідки впливу антропогенного навантаження на якість води у річці.

Аналіз багаторічних даних за гідрохімічними показниками якості води, наведеними в табл. 11 показав, що ризик недосягнення екологічних цілей виникає через високий вміст у воді р. Грузька азоту амонійного і фосфатів. Забруднення води цими речовинами свідчить про наявність точкових джерел неочищених комунальних стічних вод, що може бути спричинено відсутністю та неналежною роботою очисних споруд в досліджуваних МПВ.

За показниками pH та кисень (%) МПВ річка Грузька знаходиться в категорії «можливо під ризиком» антропогенного навантаження (бо дані фактичних вимірювань відсутні). За показником BCK_5 ризиків нема.

За методом ІЗВ було обчислено якість вод річки Грузька – Лелеківське водосховище, 4 км від гирла, Кіровоградська ЗС за 1996 – 2018 рр. З наявних 64 проб до розрахунку було взято всі проби, зважаючи на кількість фактично виміряних показників. Розрахунок проводився за показниками розчиненого кисню, біохімічного споживання кисню за 5 діб, сульфатами, азотом нітритним і амонійним, хімічним споживанням кисню за рибогосподарськими нормами ГДК (табл. 12).

Як показав аналіз отриманих результатів по кожній пробі, повторюваність класів забруднення складала: II клас якості («чиста») – 23,4 % випадків, III клас якості («помірно забруднена») – 76,6 % випадків (рис. 1). Отже, як свідчать отримані результати, домінування III класу якості води («помірно забруднена») характеризує досліджуваний водотік як такий, що знаходиться під значним антропогенним впливом, рівень якого близький до межі стійкості екосистеми. Фіксуються випадки критичного забруднення вод в окремі періоди, епізодично великі перевищення ГДК за сульфатами, азотом нітритним, ХСК.

Орієнтовна екологічна оцінка якості води р. Грузька за відповідними показниками за період 1996-2018 рр. за даними ДАВРУ здійснювалась на основі обмеженої кількості гідрохімічних показників (12), тому блокові індекси не обчислювались. По кожному року розрахунок проводився для середніх і найгірших значень показників (табл. 13).

Таблиця 11 – Оцінка ризику щодо антропогенного навантаження для хімічних та фізико-хімічних показників за даними моніторингу у створі р. Грузька – Лелеківське водосховище за 1996-2018 рр.

Table 11 - Risk assessment of anthropogenic load for chemical and physico-chemical parameters based on monitoring data in the cross line Gruzka River - Lelekiv reservoir for 1996-2018

Показник	Фактичні значення	Критичні значення	Оцінка ризику
Розчинений кисень* (% насичення)	-	75	«можливо під ризиком»
BCK_5^{**} , мг/дм ³	4,22	5	«без ризику»
NH_4^{**} , мг/дм ³	0,48	0,4	«під ризиком»
NH_4^{***} , мг/дм ³	0,6	0,15	«під ризиком»
PO_4^{***} , мг/дм ³	0,25	0,2	«під ризиком»
pH	-	6,5-8,5	«можливо під ризиком»

Таблиця 12 – Середньорічні показники ІЗВ за 1996-2018 роки по посту р. Грузька – Лелеківське водосховище, 4 км від гирла, Кіровоградська ЗС

Table 12 – Average annual indicators of IWP for 1996-2018 on the gauge Gruzka River – Lelektiv reservoir, 4 km from the mouth, Kirovohrads IS

Роки	ІЗВ	Клас якості
1996	0,9	II – «чиста»
1997	0,8	II – «чиста»
1996	-	-
1999	0,8	II – «чиста»
2000	1,1	III – «помірно забруднена»
2001	1,3	III – «помірно забруднена»
2002	0,9	II – «чиста»
2003	1,5	III – «помірно забруднена»
2004	1,1	III – «помірно забруднена»
2005	1,2	III – «помірно забруднена»
2006	1,4	III – «помірно забруднена»
2007	1,4	III – «помірно забруднена»
2008	1,5	III – «помірно забруднена»
2009	1,4	III – «помірно забруднена»
2010	1,2	III – «помірно забруднена»
2011	1,2	III – «помірно забруднена»
2012	1,3	III – «помірно забруднена»
2013	1,2	III – «помірно забруднена»
2014	1,1	III – «помірно забруднена»
2015	1,1	III – «помірно забруднена»
2016	1,2	III – «помірно забруднена»
2017	1,2	III – «помірно забруднена»
2018	1,1	III – «помірно забруднена»



Рис. 1 – Гістограма повторюваності різних класів забрудненості води р. Грузька – Лелеківське водосховище, 4 км від гирла, Кіровоградська ЗС за період 1996 – 2018 рр. по кожній пробі за методом ІЗВ

Fig. 1 – Histogram of repeatability of different classes of water pollution of the Gruzka River – Lelektiv reservoir, 4 km from the mouth, Kirovohrads IS for 1996 – 2018 for each sample by the IWP method

Таблиця 13 – Значення екологічних індексів якості води за середніми і найгіршими значеннями показників складу води р. Грузька – Лелеківське водосховище, 4 км від гирла, Кіровоградська приміська ЗС за даними ДАВРУ за 1996-2018 рр.

Table 13 – Values of ecological indexes of water quality according to the average and worst values of water composition indicators of the Gruzka River - Lelekiv reservoir, 4 km from the mouth, Kirovohrads suburb IS according to SAWRU data for 1996-2018

Роки	$I_{e\text{ макс}}$	$I_{e\text{ сер}}$
1996	2,88	2,50
1997	2,63	2,50
1998	-	-
1999	2,88	2,50
2000	3,63	2,88
2001	3,75	3,13
2002	3,88	3,00
2003	4,67	4,11
2004	4,00	3,89
2005	4,33	3,89
2006	4,89	4,22
2007	4,44	4,22
2008	4,58	3,50
2009	3,83	3,58
2010	4,17	3,92
2011	4,25	3,58
2012	4,67	4,00
2013	4,17	3,58
2014	4,00	3,50
2015	3,83	3,42
2016	4,17	3,58
2017	4,17	3,50
2018	3,92	3,50

Як видно з таблиці 13, за період 1996 – 2018 рр. значення екологічного індексу якості вод р. Грузька по середнім концентраціям показників змінювалось від 2,5 до 4,22 балів і відповідало перехідному стану між II та III класами якості (за станом води «добри-задовільні», за чистотою «досить чисті-слабо забруднені»). За найгіршими значеннями показників екологічний індекс змінювався від 2,63 до 4,89 балів і відповідав III класу 4-5 категорії (стан вод «посередній», чистота «помірно забруднені»). Тобто, можна говорити про незмінність класу якості вод за період 1996-2018 рр.

Виконані оцінки ризику забруднення води річки Грузька за показником ER (табл. 14) показали, що на початку XXI сторіччя якість

води погіршується з відмінної на задовільну а ризик та трофність зростають з незначного до підвищеного та значного.

Порівняння показників ризику ER із показниками якості води дозволили виявити тісний зв'язок між ними (рис. 2, табл. 15). З екологічних позицій [43] за трофічним статусом стан р. Грузька (Лелеківське водосховище) за період 1996 – 2018 рр. характеризується як перехідний від мезотрофного до евтрофного: донні відклади збагачені органікою; вода має високий вміст головних іонів і біогенних сполук, низьку прозорість і велику кольоровість; відзначається значний ступінь заростання водного об'єкта макрофітами та їх велике видове різноманіття; влітку відбуваються спалахи розвитку планктону

при невисокому його видовому різноманітті; режим розчиненого у воді кисню – задовільний, але в окремі сезони (взимку при льодоставі,

влітку при перегріві води) відзначаються заморні явища внаслідок його дефіциту; риби багато, домінуючі види – окунь, плотва.

Таблиця 14 – Оцінка якості води, ступеня ризику та трофності р. Грузька за показником *Probit*

Table 14 – Assessment of water quality, degree of risk and trophicity of the Gruzka River according to the *Probit* indicator

Роки	Prob _{річн}	ER _{річн}	Клас якості води	Якісна оцінка ризику	Трофність
1996	-0,860	0,195	I - відмінний	незначний	оліготрофний
1997	-0,877	0,190	I – відмінний	незначний	оліготрофний
1999	-0,893	0,187	I – відмінний	незначний	оліготрофний
2000	-0,631	0,264	II – добрий	підвищений	мезотрофний
2001	-0,475	0,316	II – добрий	підвищений	мезотрофний
2002	-0,702	0,242	II – добрий	підвищений	мезотрофний
2003	-0,208	0,417	III – задовільний	значний	евтрофний
2004	-0,507	0,306	II – добрий	підвищений	мезотрофний
2005	-0,461	0,323	II – добрий	підвищений	мезотрофний
2006	-0,286	0,385	II – добрий	підвищений	мезотрофний
2007	-0,221	0,413	III – задовільний	значний	евтрофний
2008	0,021	0,508	III – задовільний	значний	евтрофний
2009	0,138	0,556	III – задовільний	значний	евтрофний
2010	0,114	0,544	III – задовільний	значний	евтрофний
2011	-0,055	0,480	III – задовільний	значний	евтрофний
2012	0,035	0,516	III – задовільний	значний	евтрофний
2013	-0,046	0,480	III – задовільний	значний	евтрофний
2014	-0,132	0,448	III – задовільний	значний	евтрофний
2015	-0,112	0,456	III – задовільний	значний	евтрофний
2016	-0,032	0,488	III – задовільний	значний	евтрофний
2017	-0,099	0,460	III – задовільний	значний	евтрофний
2018	-0,347	0,363	II – добрий	підвищений	мезотрофний

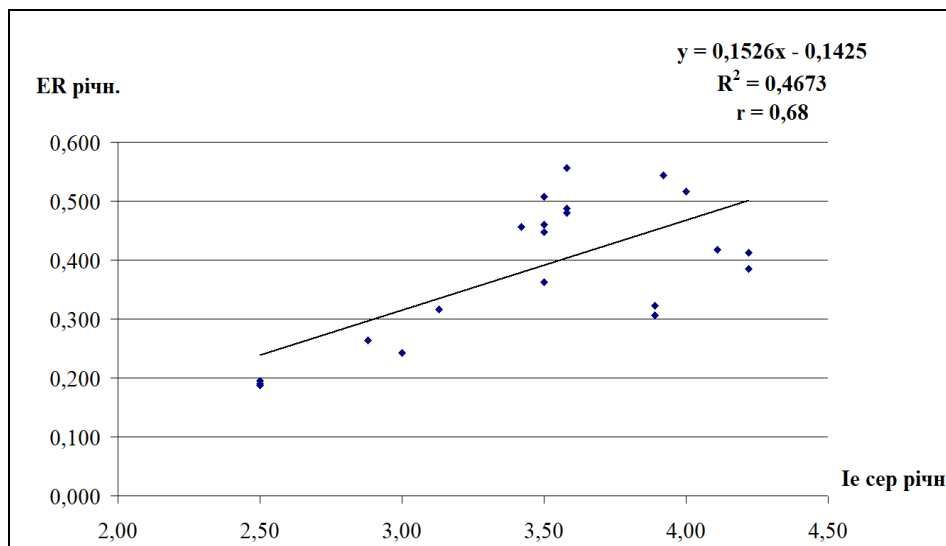


Рис. 2 – Залежність показників ризику *ER* від екологічних індексів якості води (середньорічних)
Fig. 2 - Dependence of *ER* risk indicators on ecological indices of water quality (annual average)

Таблиця 15 – Рівняння лінійної парної регресії для опису зв'язків між показниками ризику Probit та якістю води р. Грузька

Table 15 – Linear pairwise regression equation for describing the relationship between Probit risk indicators and water quality of the Gruzka River

Вид рівняння	Коефіцієнт кореляції	Вихідні дані
$ER = 0,702 \cdot I_{3B} - 0,197$	0,89	Річні значення
$ER = 0,591 \cdot I_{3B} - 0,104$	0,81	Добові значення
$ER = 0,153 I_{e,сеп} - 0,142$	0,68	Річні значення
$ER = 0,141 \cdot I_{e,макс} - 0,175$	0,70	Річні значення

4. ВИСНОВКИ

1. На основі оцінок водних ресурсів річки до початку значущого впливу змін клімату (до 1990 р.) та у наступний період (після 1990 р.), яка надавалася за моделлю “клімат-стік”, визначені характеристики річного стоку за середній багаторічний період та за роки різної водності. Виявлено, що після 1990 року відбулося значне зменшення стоку маловодних років (від 37 % до 100 %).

2. Оцінки антропогенних навантажень на водні ресурси річки Грузька показали, що найбільший вплив чинять безповоротне вилучення поверхневих вод та скид забруднених вод. Визначення комплексного показника використання водних ресурсів річки показало, що зменшення характеристик водності за рахунок змін клімату не суттєво впливає на екологічний стан річки який у обидва розрахункові періоди залишається «незадовільним».

3. Установлено, що основним джерелом забруднення річки Грузька, яка забезпечує водою резервне водосховище Лелеківське (місто Кропивницький Кіровоградської області) є господарсько-побутові стічні води. Вони утворюються внаслідок використання населенням водопровідної води для побутових і господарських цілей з наступним скиданням використаної води до каналізаційних мереж.

4. Оскільки використання та скиди забруднених вод відбуваються не тільки через каналізаційні мережі, а і стихійним чином, оцінки антропогенного навантаження на річку були виконані на основі «Методики визначення антропогенних навантажень та їх впливів на стан поверхневих вод» в рамках реалізації Проекту технічної допомоги ЄС «Підтримка України в апроксимації законодавства ЄС у сфері навколишнього середовища». Виявлено, що майже за всіма критеріями виявлення наслідків

антропогенних навантажень (скид стічних вод, рослинництво та тваринництво, хімічні та фізико-хімічні показники) на річці Грузька установлений ризик недосягнення доброго екологічного стану. Суттєвого внеску змін водності річки через зміни клімату на екологічний стан річки не виявлено.

5. Оцінювання наслідків впливу стічних вод виконано за допомогою комплексних показників якості вод (індекс забруднення води та екологічний індекс якості води). Отримано, що досліджуваний водотік характеризується як такий, що знаходиться під значним антропогенним впливом, рівень якого близький до межі стійкості екосистеми. Фіксуються випадки критичного забруднення вод в окремі періоди, епізодично великі перевищення ГДК за сульфатами, азотом нітритним, ХСК.

6. Установлено, що використання екологічного ризику ER, що базується на показнику Prob, доповнює інформацію щодо екологічного стану річки, оскільки дозволяє установити клас якості води, ступінь ризику та рівень трофності.

7. Виявлено, що між комплексними показниками якості води та показниками екологічного ризику існують тісні кореляційні зв'язки, що підтверджує достовірність отриманої інформації.

8. Запропонований комплексний підхід до визначення антропогенних навантажень та їх наслідків може бути використаний для недостатньо вивчених з точки зору гідрохімічних спостережень річок та водойм України та інших держав.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. Official Journal of the European Communities. 22.12.2000. L. 327, vol. 43. 72 p.

2. Пінчук О. Л., Герасімов Є. Г., Куницький С. О. Директиви ЄС у сфері управління водними ресурсами. Довідник. Рівне: Волинські береги. 2019. 232с.
3. Інформація про р. Грузька. URL : <https://uk.wikipedia.org/wiki/Грузька> (дата звернення 21.09.2022)
4. Центральноукраїнське бюро новин. URL : <https://cbn.com.ua/2020/03/18/v-ukrayini-mozhut-obme-zhyty-vykorystannya-vody-chy-vidchuyut-defitsyt-zhyteli-kirovogradshhyny/> (дата звернення 12.08.2022)
5. Швєбс Г. І., Ігошин М. І. Каталог річок і водойм України : навчально-методичний довідник. Одеса : Астропринт, 2003. 390 с.
6. Водний кодекс України від 06.06.1995 р. № 213/95-ВР. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95> (дата звернення 17.08.2022)
7. Екологічний атлас басейну річки Південний Буг / Басейн. упр. водними ресурсами річки Південний Буг, Чорномор. прогр. Ветландс Інтернешнл; підгот. В. Б. Мокін та інш. Вінниця, 2009. 19 с.
8. Доповідь про стан навколишнього природного середовища в Кіровоградській області за 2009 р. Державне управління охорони навколишнього природного середовища в Кіровоградській області. Кіровоград, 2010. 163 с. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2022/10/Regionalna-dopovid-Kirovogradska-ODA-2021.pdf>
9. Лобода Н. С. Прогноз змін водних ресурсів України за сценаріями змін клімату (RCP4.5, RCP8.5) та оцінка ризиків для водного господарства. *Кліматичні ризики функціонування галузей економіки України в умовах зміни клімату*: колективна монографія / за ред. С. М. Степаненка, А. М. Польового. Одеса: ТЕС, 2018. Розділ 8. С. 98-521.
10. Chugai A., Safranov T., Holik Yu. Analysis of the state of the air basin of industrial-urban agglomerations in the North-Western Black Sea. *International Journal of Engineering & Technology (UAE)*. 2018. Vol. 7 (4.8). Pp. 783–789.
11. Чугай А. В., Сафранов Т. А. Методи оцінки техногенного впливу на довкілля : навч. посіб. Одеса : Видавець Букаєв В. В., 2021. 118 с.
12. Чугай А. В. Оцінка техногенного навантаження на складові довкілля Одеської області. *Науково-практичний журнал, Екологічні науки*. 2020. № 1(28). С. 102-110.
13. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / В. Д. Романенко, В. М. Жукинський, О. П. Оксіюк та ін. Київ: СИМВОЛ–Т, 1998. 28 с.
14. Юрасов С. М., Кур'янова С. О., Юрасов М. С. Комплексна оцінка якості вод за різними методиками та шляхи її вдосконалення. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2009. № 5. С. 42–53.
15. Лобода Н. С., Катинська І. В. Визначення антропогенних навантажень та екологічних ризиків в басейні р. Кривий Торець (за програмою підтримки ЄС Водної політики України). *Український гідрометеорологічний журнал*. 2020. №25. С.81-92. <https://doi.org/10.31481/uhmj.25.2020.08>
16. Інтегральні та комплексні оцінки стану навколишнього природного середовища: монографія / О. Г. Васенко, О. В. Рибалова, С. Р. Артем'єв та ін. Харків: НУГЗУ, 2015. 419 с.
17. European Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC), Guidance document № 10. River and lakes: Typology, reference conditions and classification systems. Luxembourg, 2003. 87 p.
18. Гродзинський М. Д. Основи ландшафтної екології: підручник. Київ: Либідь, 1993. 224 с. ISBN 5-325-00377-1.
19. Шищенко П. Г. Прикладная физическая география. Киев : Вища школа, 1988. 192 с.
20. Loboda N., Daus M. Development of a method of assessment of ecological risk of surface water pollution by nitrogen compounds. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol.5 (10(113)).Pp. 15-25. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.243058>.
21. Лобода Н. С., Кулачок К. В. Методичні підходи до оцінки екологічних ризиків на базі використання комплексних показників якості води. *Збірник наукових праць VII –й всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю (Екологія/Ecology 2019)*. Вінниця, 25-27 вересня, 2019. С. 75.
22. Гродзинський М. Д. Ландшафтна екологія: підручник. Київ:Знання, 2014. 550 с ISBN: 978-617-07-0163-3; 978-617-07-0078-0.
23. Інтерактивна карта забрудненості річок України на основі даних Державного агентства водних ресурсів. URL: <https://texty.org.ua/water/> (дата звернення : 26.09.2022).
24. Лобода Н. С. Расчеты и обобщения характеристик годового стока рек Украины в условиях антропогенного влияния : монографія. Одесса : Экология, 2005. 208 с.
25. Лобода Н. С. Моделювання впливу змін клімату на характеристики стоку річок України. *Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України* : колективна монографія / за ред. С. М. Степаненка, А. М. Польового. Одеса: ТЕС, 2015. Розділ 8. С. 451-482.
26. Директива 2000 / 60/ ЄС Європейського Парламенту і ради від 23 жовтня 2000 року про встановлення рамок діяльності Співтовариства у сфері водної політики. 2000. URL: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/371-2015-p> (дата звернення : 18.10.2020).
27. Методичні рекомендації щодо визначення основних антропогенних навантажень та їхніх впливів на стан поверхневих вод / Вихрист С., Мудра К., Осійський Е., та ін.; Держводагенство, 2018. 21 с.
28. Осійський Е., Скоблей М. Аналіз основних антропогенних навантажень та їх вплив, проект національної методики. Івано-Франківськ, 2018. 61 с.
29. Сніжко С. І. Оцінка та прогнозування якості природних вод. Київ: Ніка-Центр, 2001. 264 с.
30. Юрасов С. М., Сафранов Т. А., Чугай А. В. Оцінка якості природних вод: навчальний посібник. Одеса: Екологія, 2012. 168 с.
31. Хільчевський В. К., Забокрицька М. Р. Хімічний аналіз та оцінка якості природних вод: навчальний посібник. Луцьк: Вежа друк, 2021. 76 с.
32. Основні засади управління якістю водних ресурсів та їхня охорона: навч. посібник / В. К. Хільчевський, М. Р. Забокрицька, Р. Л. Кравчинський, О. В. Чунарьов. Київ: ВПЦ Київський університет, 2015. 172 с.
33. Finney D. Probit analysis: a statistical treatment of the

- sigmoid response curve. Cambridge University Press, Cambridge, 1952. 256 p.
34. Rybalova O., Artemiev S. Development of a procedure for assessing the ecological risk of the surface water status deterioration. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. 5(10-89). pp. 67-76. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.112211>.
 35. Гопченко Е. Д., Лобода Н. С. Водные ресурсы северо-западного Причерноморья (в естественных и нарушенных хозяйственной деятельностью условиях): монография. Київ: КНТ, 2005. 188 с.
 36. CP D.01.05: Определение гидрологических характеристик для условий республики Молдова / Министерство строительного и регионального развития республики Молдова. Кишинев, 2012. 180 с.
 37. Гребінь В. В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз): навчальний посібник. Київ: Ніка-Центр, 2010. 316 с.
 38. Loboda N., Bozhok Y. Impact of Climate Change on Water Resources of North-Western Black Sea Region. *International Journal of Research In Earth and Environmental Sciences*. 2015. Vol 02 (9). pp. 1-6.
 39. Лобода Н. С., Куза А. М., Козлов О. М. Оцінка можливих змін водних ресурсів річок водозбору Куяльницького лиману на початку XXI сторіччя (2021-2050 pp.) за моделями кліматичного сценарію RCP4.5. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2019. №23. С. 42 -53. <https://doi.org/10.31481/uhmj.23.2019.05>
 40. Державний Водний Кадастр. Розділ «Водокористування» Щорічник Водокористування. 2018 рік. Басейн Південного Бугу. 2019. 85 с. URL: https://www.davr.gov.ua/fls18/pivd_bug_2018.pdf (дата звернення 15.03.2023).
 41. Вікіпедія - вільна онлайн-енциклопедія. Інформація про населення в селищах Оленівка, Грузьке, Обознівка (Кропівницький район) URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/> (дата звернення : 05.10.2022).
 42. Статистичний щорічник України за 2007 рік / за ред. О. Г. Осауленка; Державний комітет статистики України. Київ, 2008. 572 с. ISBN 966-8459-25-2
 43. Біоіндикація та біотестування / Никифоров В. В., Дігтяр С. В., Мазницька О. В., Козловська Т. Ф. Кременчук: Вид-во ПП Щенбатих О. В., 2016. 76 с.
- ## REFERENCES
1. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities*. 22.12.2000.L. 327, vol. 43.
 2. Pinchuk, O.L., Herasimov, Ye.H. & Kunytskyi, S.O. (2019) *Dyrektyvy EC u sferi upravlinnia vodnymy resursamy [The EU Water Framework Directive in the field of water resources]*. Rivne: Volynskyi berehy. (in Ukr.)
 3. *Informatsiia pro r. Hruzka [Information about Hruzka River]*. Available at: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Hruzka> (Accessed: 21 September 2022) (in Ukr.)
 4. *Tsentrlnoukrainske biuro novyn [Central Ukrainian news bureau]*. Available at: <https://cbn.com.ua/2020/03/18/v-ukrayini-mozhut-obmezhyty-vykorystannya-vody-chy-vidchuyut-defitsyt-zhyteli-kirovogradshhyny/> (Accessed: 12 August 2022) (in Ukr.)
 5. Shvebs, H.I. & Ihoshyn, M.I. (2003) *Kataloh richok i vodoim Ukrainy: navchalno-metodychnyi dovidnyk. [Catalog of rivers and reservoirs of Ukraine: educational and methodological reference book]* Odesa: Astroprint. (in Ukr.)
 6. *Vodnyi kodeks Ukrainy vid 06.06.1995 r. № 213/95-VR. [Water Code of Ukraine from 06 June 1995. № 213/95-VR]*. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95> (Accessed: 17 August 2022) (in Ukr.)
 7. Mokin, V.B. et al. (2009). *Ekolohichniy atlas baseinu richky Pivdennyi Buh. [Ecological atlas of the basin of the river Yuzhny Bug]*. Basin Management of Water Resources of the Yuzhny Bug River; Chornomor. prohr. Vetlands Interneshnl. Vinnytsia (in Ukr.)
 8. *Dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha v Kirovohradskii oblasti za 2009 [Update on the camp of the most important natural environment in the Kirovohrad region for 2009]* (2010). State Administration for the Protection of the Natural Environment in the Kirovohrad Region. Kirovohrad. (in Ukr.) Available at: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2022/10/Regionalna-dopovid-Kirovogradska-ODA-2021.pdf> (Accessed: 22 August 2022)
 9. Loboda, N. (2014). Prohnoz zmin vodnykh resursiv Ukrainy za stsenariiamy zmin klimatu (RCP4.5, RCP8.5) ta otsinka ryzykiv dlia vodnoho hospodarstva [Prediction of change in water resources of Ukraine throughout the 21st century under the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios and assessment of risks for water management]. In: Stepanenko, S. M., Polovoi, A. M. (eds). *Klimatychni ryzyky funktsionuvannia haluzei ekonomiky Ukrainy v umovakh zminy klimatu [Climate risks of the functioning of the branches of the economy of Ukraine in the languages of climate change]*. Odesa: TES, chapter 8, pp. 98-521. (in Ukr.)
 10. Chugai, A., Safranov, T. & Holik, Yu. (2018). Analysis of the state of the air basin of industrial-urban agglomerations in the North-Western Black Sea. *International Journal of Engineering & Technology (UAE)*, vol. 7 (4.8), pp. 783–789.
 11. Chuhai, A.V. & Safranov, T.A. (2021). *Metody otsinky tekhnohennoho vplyvu na dovkillia. [Methods for assessing the anthropogenic impact on the environment]*. Odesa: Vydavets Bukaiev V. V. (in Ukr.)
 12. Chuhai, A.V. (2020). [Evaluation of technogeneous load on the environmental components of the Odessa region]. *Naukovo-praktychnyi zhurnal, Ekolohichni nauky [Scientific and practical journal, Ecological Sciences]*, 1(28), pp. 102-110. (in Ukr.)
 13. Romanenko, V.D., Zhukynskyi, V.M., Oksiuk, O.P. et al. (1998). *Metodyka ekolohichnoi otsinky yakosti poverkhnevyykh vod za vidpovidnymi katehoriiamy [Methodology of ecological assessment of the quality of surface water according to the relevant categories]*. Kyiv: SYMVOL–T. (in Ukr.)
 14. Urasov, S., Kurjanova, S. & Urasov, M. (2009) [Complex estimation of quality of waters on different methods and the ways of its perfection]. *Ukr. gidrometeorol. ž. [Ukrainian hydrometeorological journal]*, 5, pp. 42-53. (in Ukr.)
 15. Loboda, N.S. & Katynska, I.V. (2020). [Determination of main anthropogenic impacts and environmental risks for the Kryvyi Torets River basin (based on the EU support program for Ukrainian water policy)]. *Ukr.*

- gidrometeorol. ž. [Ukrainian hydrometeorological journal], 25, pp.81-92. (in Ukr.) <https://doi.org/10.31481/uhmj.25.2020.08>
16. Vasenko, O. H., Rybalova, O. V., Artem'iev, S. R. et al (2015). *Intehrlni ta kompleksni otsinky stanu navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha [Integral and comprehensive assessments of the state of the natural environment]*. Kharkiv: NUHZU. (in Ukr.)
 17. *European Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC), Guidance document № 10. River and lakes: Typology, reference conditions and classification systems*. Luxembourg, 2003.
 18. Hrodzynskiy, M.D. (1993) *Osnovy landshaftnoi ekolohii. [Basics of landscape ecology]*. Kyiv: Lybid. ISBN 5-325-00377-1. (in Ukr.)
 19. Shyshchenko, P.H. (1998). *Prikladnaya fizicheskaya geografyya [Applied physical geography]*. Kiev: Vyscha shkola. (in Russ.)
 20. Loboda, N. & Daus, M. (2021). Development of a method of assessment of ecological risk of surface water pollution by nitrogen compounds. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol.5, №10(113): Ecology, pp. 15-25. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.243058>.
 21. Loboda, N.S. & Kulachok, K.V. (2019). [Methodological approaches to the assessment of environmental risks based on the use of integrated indicators of water quality]. *Zbirnyk naukovykh prats VII –i vseukrainskyi zizd ekolohiv z mizhnarodnoiu uchastiu (Ekolohiia/Ecology)*. [Collection of scientific papers of the VII All-Ukrainian Congress of Ecologists with International Participation (Ecology/Ecology)], 25-27 September. Vinnytsia, p. 75. (in Ukr.)
 22. Hrodzynskiy, M.D. (2014) *Landshaftna ekolohiia. [Landscape ecology]*. Kyiv: Znannia. ISBN: 978-617-07-0163-3; 978-617-07-0078-0 (in Ukr.)
 23. *Interaktyvna karta zabrudnenosti richok Ukraini na osnovi danykh Derzhavnoho ahenstva vodnykh resursiv. [Interactive map of river pollution in Ukraine based on data from the State Water Resources Agency]*. Available at: <https://texty.org.ua/water/> (Accessed: 26 September 2022). (in Ukr.)
 24. Loboda, N.S. (2005). *Rascheti i obobshcheniya kharakteristik godovogo stoka rek Ukrainy v usloviyakh antropogennogo vliyaniya. [Calculations and generalizations of the characteristics of the annual runoff of rivers in Ukraine under the conditions of anthropogenic influence]*. Odessa: Ekologiya. (in Russ.)
 25. Loboda, N.S. (2015). Modeliuvannya vplyvu zmin klimatu na kharakterystyky stoku richok Ukrainy [Modelling impact of climate changes on river runoff characteristics]. In: Stepanenko, S. M., Polovoi, A. M. (eds). *Klimatychni zminy ta yikh vplyv na sfery ekonomiky Ukrainy [Climate changes and their impact on spheres Economy of Ukraine]*. Odessa: TES, chapter 8, pp. 451-482. (in Ukr.)
 26. *Dyrektyva 2000 / 60 / YeS Yevropeiskoho Parlamentu i rady vid 23 zhovnia 2000 roku pro vstanovlennia ramok diialnosti Spivtovarystva u sferi vodnoi polityky. 2000 [Directive 2000 / 60 / EU of the European Parliament and of the Council about establishing a scope of activities in the field of water policy from 23 October 2000]*. The Verkhovna Rada of Ukraine. Available at: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/371-2015-p>
 - (Accessed: 18 October 2020) (in Ukr.)
 27. Vykhryst, S., Mudra, K., Osiiskiy, E. et al. (2018) *Metodychni rekomendatsii shchodo vyznachennia osnovnykh antropohennykh navantazhen ta yikhnykh vplyviv na stan poverkhnevyykh vod. [Methodological recommendations for determining the main anthropogenic loads and their effects on the state of surface waters]*. State Water Agency. (in Ukr.)
 28. Osiiskiy, E. & Skoblei, M. (2018) *Analiz osnovnykh antropohennykh navantazhen ta yikh vplyv, projekt natsionalnoi metodyky. [Analysis of the main anthropogenic loads and their impact, draft of the national methodology]*. Ivano-Frankivsk. (in Ukr.)
 29. Snizhko, S.I. (2001). *Otsinka ta prohozuvannia yakosti pryrodnykh vod. [Evaluation and forecasting of the quality of natural waters]*. Kyiv: Nika-Tsentr. (in Ukr.)
 30. Iurasov, S.M., Safranov, T.A. & Chuha, A.V.(2012) *Otsinka yakosti pryrodnykh vod [Assessment of the quality of natural waters]*. Odessa: Ekolohiia. (in Ukr.)
 31. Khilchevskiy, V.K. & Zabokrytska, M.R. (2021). *Khimichniy analiz ta otsinka yakosti pryrodnykh vod. [Chemical analysis and assessment of the quality of natural waters]*. Lutsk: Vezha druk. (in Ukr.)
 32. Khilchevskiy, V.K., Zabokrytska, M.R., Kravchynskiy, R.L. et al. (2015). *Osnovni zasady upravlinnia yakistiu vodnykh resursiv ta yikhnia okhorona. [Basic principles of water resources quality management and their protection]*. Kyiv: VPTs Kyivskiy universytet. (in Ukr.)
 33. Finney, D. (1952) *Probit analysis: a statistical treatment of the sigmoid response curve*. Cambridge University Press, Cambridge.
 34. Rybalova, O. & Artemiev, S. (2017). Development of a procedure for assessing the ecological risk of the surface water status deterioration. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, 5(10-89), pp. 67-76. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.112211>.
 35. Hopchenko, E.D. & Loboda, N.S.(2005) *Vodni resursy pivnichno-zakhidnoho Prychornomia (u pryrodnykh ta porushenykh hospodarskoii diialnistiu umovakh). [Water resources of the northwestern Black Sea region (in natural and disturbed economic activity conditions)]*. Kyiv: KNT. (in Russ.)
 36. Ministry of Construction and Regional Development of the Republic Moldova (2012). *CP D.01.05 Opredelenie gidrologicheskikh kharakteristik dlya usloviy respubliki Moldova [Determination of hydrological characteristics for the conditions of the Republic of Moldova]*. Kyshyniv. (in Russ.)
 37. Hrebin, V.V. (2010) *Suchasnyi vodnyi rezhym richok Ukrainy (landshaftno-hidrolohichniy analiz). [Modern water regime of rivers of Ukraine (landscape and hydrological analysis)]*. Kyiv: Nika-Tsentr. (in Ukr.)
 38. Loboda, N. & Bozhok, Y. (2015) Impact of Climate Change on Water Resources of North-Western Black Sea Region. *International Journal of Research In Earth and Enviornmental Sciences*, vol 02 (9), pp. 1-6.
 39. 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]. *Ukr. gidrometeorol. ž. [Ukrainian hydrometeorological journal]*, 23, pp.42-53. (in Ukr.)

- <https://doi.org/10.31481/uhmj.23.2019.05>
40. State Water Cadastre (2019). *Rozdil «Vodokorystuvannia» Shchorichnyk Vodokorystuvannia. Basein Pivdennoho Buhu. [Section "Water use" Yearbook of water use. 2018 year. South Bug basin].* Available at: https://www.davr.gov.ua/fls18/pivd_bug_2018.pdf (Accessed: 17 May 2023). (in Ukr.)
41. *Wikipedia - free online encyclopedia. Information about the population in the villages Olenivka, Hruzke, Oboznivka (Kropivnytskyi district).* Available at <https://uk.wikipedia.org/wiki/> (Accessed: 05 October 2022) (in Ukr.)
42. Osaulenka, O.H. (2008). *Statystychnyi shchorichnyk Ukrainy za 2007 year [Statistical Yearbook of Ukraine for 2007].* State Statistics Committee of Ukraine. Kyiv. (in Ukr.)
43. Nykyforov, V.V., Dihtiar, S.V., Maznytska, O.V. & Kozlovska, T.F. (2016) *Bioindykatsiia ta biotestuvannia. [Bioindication and biotesting].* Kremenchuk: Vyd-vo PP Shchenbatykh O. V. (in Ukr.)

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF ANTHROPOGENIC LOADS AND CONSEQUENCES OF THEIR INFLUENCE ON THE ENVIRONMENTAL STATE OF WATER BODIES (AS EXEMPLIFIED BY THE GRUZKA RIVER, KIROVOHRAD REGION)

N. S. Loboda., Y. S. Yarov, A. M. Kuza, I. V. Katynska

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

The relevance of the research is determined by the need of developing and improving the methods for assessing the extent and consequences of anthropogenic loads' impact on water bodies.

The research was carried out as part of the study and research activities conducted by the Department of Hydroecology and Water Research of OSENU. It is dedicated to the topic "Assessment of Anthropogenic Impact on Aquatic Ecosystems".

The purpose of the work is to determine the environmental status of water bodies based on the comprehensive approach (calculations related to the consequences of anthropogenic loads' impact on water resources and the environmental state of surface waters, including assessment of pollution risks and failure to achieve environmental objectives).

Research methods include assessment of the characteristics of unstudied rivers' water resources in terms of hydrology based on the used meteorological data (climate-runoff model); assessment of anthropogenic loads' impact on water resources and on prospects of achieving a good environmental state of water bodies in accordance with the requirements of the EU's WFD; assessment of environmental risks based on the Prob function application and creation of a scale of water quality indicators and risks correspondence.

Determination of a comprehensive indicator of the Gruzka River's water resources use showed that reduction of water flow characteristics due to climate changes does not significantly affect the river's environmental condition that remains "unsatisfactory".

It was also established that household wastewater is the main pollutant of the Gruzka River that supplies water to reserve water reservoir Lelekivske (City of Kropivnytskyi, Kirovohrad Region). Almost all criteria related to assessment of the consequences of anthropogenic loads (wastewater discharge, plant and animal husbandry, chemical and physico-chemical parameters) indicate a risk of not achieving a good ecological state. During the modern period, the river continues suffering from significant anthropogenic influence whose level is close to the limit of ecosystem sustainability.

It was established that the use of ER environmental risk that is based on the Prob indicator complements the information about the river's environmental state.

The proposed comprehensive approach can be used for water bodies that remain insufficiently studied in terms of hydrology and hydrochemistry.

Key words: anthropogenic loads on water resources; water quality indicators; environmental risks; risks of a failure to achieve a good ecological state.

*Подання до редакції : 09. 05. 2023
Надходження остаточної версії : 01. 06. 2023
Публікація статті : 29. 06. 2023*

УДК: 504.064.4

ВІДХОДИ ПЛАСТИКОВИХ МАТЕРІАЛІВ: ОЦІНКА УТВОРЕННЯ ТА ПОВОДЖЕННЯ В РЕГІОНАХ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО ПРИЧОРНОМОР'Я

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

Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, vks26@ua.fm

Відходи пластикових матеріалів є специфічним потоком у структурі твердих побутових відходів через особливості утворення, можливості повторного використання та екологічні наслідки забруднення довкілля. Зокрема, зростаюче споживання пластику супроводжується сталим рівнем рециклінгу на рівні 4-8%. Це призводить до накопичення пластикових відходів у довкіллі. В статті наведені дані щодо вмісту пластикових відходів у складі побутових відходів українських міст, на основі яких можна дійти висновку про 10-12% пластикових відходів у масі твердих побутових відходів. В основному, це поліетилен та поліетилентерефталат (більше 60%). З'ясовано, що підприємства з переробки пластику імпортують майже третину вторинної сировини з Європи, в той самий час як майже 84% пластику надходить до звалищ і полігонів. Аналіз ситуації з роздільним збиранням ТПВ в розрізі регіонів Північно-Західного Причорномор'я (Одеська, Миколаївська та Херсонська області) говорить про низький рівень вилучення вторинної сировини, що посилюється 75% охопленням населення послугами з централізованого збору твердих побутових відходів. Підраховано, що майже 160 тис. т пластикових відходів видалені за полігони і звалища Одеської області в 2019 р., і цей обсяг можна порівняти із завантаженістю діючих підприємств з переробки пластику в Україні. На прикладі Одеської області оцінено ресурсний потенціал відходів пластикових матеріалів за основними категоріями та в розрізі кластеризації регіону відповідно до проекту Регіонального плану управління відходами. Описані екологічні наслідки розміщення відходів пластикових матеріалів у довкіллі – забруднення мікропластиком та утворення стійких органічних полуютантів. Показано, що пластикові відходи у складі побутових є суттєвим джерелом утворення цих речовин при термічній та механічній деструкції в тілі полігону або в морському середовищі. Проаналізовані основні причини низького рівня використання ресурсу пластикових відходів в регіоні. Це, насамперед, відсутність умов для роздільного збирання пластикових відходів населенням.

Ключові слова: відходи пластикових матеріалів; тверді побутові відходи; повторне використання; роздільний збір.

1. ВСТУП

За даними Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року [1], обсяги генерації твердих побутових відходів (ТПВ) збільшуються, незважаючи на те, що протягом останніх 20 років чисельність населення України постійно скорочується. Основним способом поводження з ТПВ залишається їх видалення та захоронення на звалищах та полігонах (а це 95% від загальної маси утворених ТПВ). Тому Національною стратегією управління відходами в Україні до 2030 року передбачається зменшення обсягів захоронення ТПВ на звалищах та полігонах з 95% до 30%, а також налагодження обліку відомостей про номенклатуру та обсяги ТПВ на стадіях утворення, переробки, утилізації та захоронення. В Україні на звалищах та полігонах втрачаються

тонні цінної сировини та матеріалів, при цьому 40% з них припадає на ТПВ. Відсутність ефективної системи поводження з ТПВ зумовлює збитки, які оцінюються близько 5 млрд. грн. щороку. В даній статті розглядається окрема група ресурсоцінних компонентів ТПВ – відходи пластикових матеріалів (ВІМ), які утворюються у виробничій сфері та сфері обслуговування населення. Основними сферами споживання пластикових матеріалів в Україні є: будівництво (27%), тара і упаковка (27%), автомобілебудування (8%), виробництво меблів (8%), електроніка (7%), товари широкого вжитку (4%), агропромисловість (2%), інші галузі (17%) [2].

Виробництво пластику щорічно зростає. Наприклад, за даними American Chemistry Council Plastics Industry Producers' Statistics, Північна Америка збільшила виробництво на

1,3% протягом 2021 р. В той же час країни ЄС збільшили виробництво пластику на 6,1% (дані Plastics Europe). Але за зростанням виробництва не встигає переробка пластику. Так, у 2021 р. в країнах ЄС доля рециклінгу склала 8,3% від загального виробництва, у США – 8,7%. За різними оцінками, в Україні лише 4-7% полімерів з ТПВ піддають переробці і повторному використанню, в основному, це пакування (10-12%) [3].

Враховуючи сучасні зміни в сфері управління та поводження з ТПВ, запущені, насамперед, законодавчими реформами, а також екологічні наслідки пластикового забруднення довкілля, що посилюються внаслідок зростання питомого утворення відходів, можна стверджувати про необхідність дослідження ресурсного потенціалу ВПМ в регіонах України як елементу загальнодержавної системи управління відходами.

Метою дослідження є характеристика ресурсного потенціалу ВПМ в регіонах Північно-Західного Причорномор'я (ПЗП), зокрема, в Одеській області.

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Вихідними даними дослідження є інформація щодо кількісних показників та якісних характеристик потоку ТПВ в південно-західних регіонах України за період 2015-2021 рр. Методологія дослідження пов'язана з обробкою, аналізом та узагальненням даних, синтезом та інтерпретацією отриманої інформації в розрізі ВПМ.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

3.1 Оцінка вмісту пластикових відходів

Відомо, що структура ТПВ є домінуючим фактором для розвитку системи управління та поводження з ними, оскільки саме їх морфологічний склад визначає вимоги до їх збирання, переробки та утилізації. Роль цього фактору істотно зростає при обґрунтуванні моделі поводження з складовими ТПВ. На жаль, до сьогодні в Україні не здійснювалися систематичні дослідження структури ТПВ. Єдиними джерелами статистичних даних можуть слугувати окремі дослідження, які проводилися операторами ТПВ та відповідними асоціаціями в той чи інший час у тих чи інших регіонах. Їх результати суттєво різняться між собою. Наприклад, за даними Шостого

національного повідомлення України з питань зміни клімату до структури ТПВ входять 9-13% ВПМ [4], а за іншими даними по п'яти містам України [5] вміст ВПМ у складі ТПВ коливається в межах 8,7-16,6% (середній вміст 12,9%). Для порівняння в розвинених країнах на ВПМ приходить, в середньому, 11% від обсягу ТПВ. За даними ЦА «Хімкур'єр» [6], 27% ВПМ, які містяться у ТПВ – це пакування. 42% ВПМ – це транспортувальне пакування. У морфологічному складі ВПМ переважають поліетилен (ПЕ), причому 35%, з них 22% – ПЕ низького тиску, поліетилентерефлатат (ПЕТФ) – 28%), поліпропілен (ПП) – 12%. Найбільш розповсюджені пакувальні матеріали. Проаналізовані по окремих містах дані (2005-2010 рр.) свідчать про вміст полімерного пакування на рівні 6-10% [7]. Дослідження морфологічного складу ТПВ м. Хмельницький (2017 р.) дали змогу оцінити вміст ВПМ на рівні 10,04-10,35% (в основному, це ПЕТ-пляшки та HDPE-контейнери).

Враховуючи дані, наведені у [6, 8], нами визначена структура полімерних відходів України в розрізі 2018-2019 рр. (рис. 1). ВПМ, в основному, складаються з: поліетилену (ПЕ), поліетилентерефлатату (ПЕТФ), полівінілхлориду (ПВХ), поліпропілену (ПП), полістиролу (ПС).

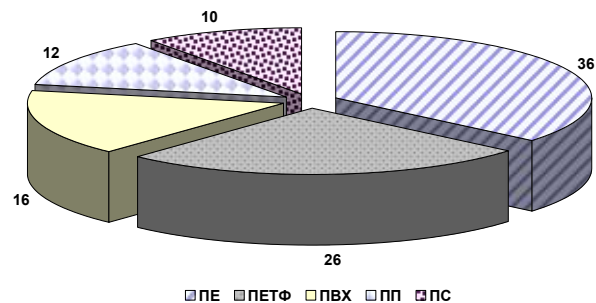


Рис. 1 – Структура ВПМ України (2018-2019 рр.)

Fig. 1 – Structure of plastic waste of Ukraine, 2018-2019

3.2 Особливості поводження з ВПМ

За даними Держстату України, в 2020 році утворилося 40,8 тис. т ВПМ, утилізовано 15,1 тис. т, спалено 0,3 тис. т. Обсяги накопичених ВПМ у спеціальних місцях та об'єктах становлять 110,4 тис. т. Обсяг експорту пластикових відходів склав 0,8 тис. т, а імпорту – 1,2 тис. т. За даними Укрвторма [9], у 2018 р. переробкою ВПМ зайнято 39 підприємств з виробничою потужністю 260 тис. т при

завантаженості 170 тис. т (в т. ч. 53,4 за рахунок імпорту ВПМ). Крім того, 19 підприємств потужністю 77 тис. т при завантаженості 50 тис. т складають підприємства по переробці пляшок із ПЕТФ.

В Україні склалася ситуація, коли підприємства з переробки ВПМ недовантажені на 35% і працюють частково на імпортній сировині, в той час, як щорічно на звалищах та полігонах ТПВ розміщується велика кількість ВПМ (рис. 2).

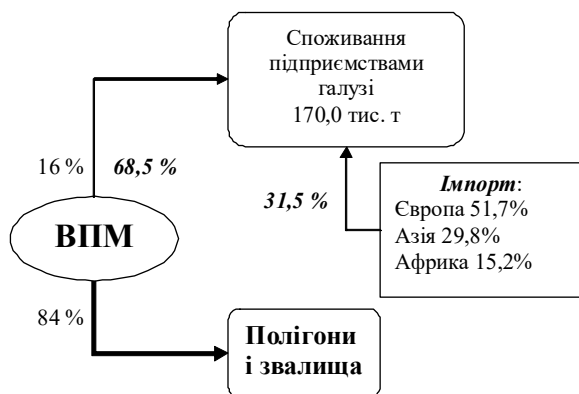


Рис. 2 – Схема масового балансу поводження з ВПМ в Україні за 2018 р. (на основі даних Укрворма [9])
 Fig. 2 – Scheme of the mass balance of plastic waste management in Ukraine, 2018 (based on Ukrvorma data [9])

Якщо імпорт ВПМ у 2015-2019 рр. варіював в діапазоні 16,1-68,4 тис. т/рік при вартості \$ 7,6 млн. – \$ 89,8 млн., то експорт ВПМ у ці роки коливався лише в діапазоні 0,5-1,0 тис. т при вартості \$ 0,3 млн. – \$ 1,4 млн. [7], причому імпорт, в порівнянні з 2008 р., збільшився у 15-25 разів. Тому проблема відокремлення ВПМ із загального потоку ТПВ України є вкрай актуальною задачею. Експерти [10] також вказують на порівняно низьку якість української вторинної сировини у порівнянні із закордонними аналогами.

В Україні активно розвивався ринок

вторинної переробки полімерів. Серед найбільших переробників ПЕ – корпорація «Біосфера», яка у 2020 р. переробила близько 860 т вторинного ПЕ. Вартість ПЕ виробів з вторинної сировини на 20-30% нижча за виробництво з первинної сировини (до речі, в Україні цим займається єдине підприємство ТОВ «Карпатнафтохім» у Калуші) [10].

3.3 Оцінка ресурсного потенціалу ВПМ для регіонів Північно-Західного Причорномор'я

Проаналізуємо інформацію щодо роздільного збирання ТПВ в розрізі трьох областей ПЗП на основі офіційної інформації «Про стан сфери поводження з побутовими відходами в Україні» (за різні роки), опублікованої Міністерством розвитку громад та територій України (табл. 1, табл. 2).

Як бачимо, є недоліки в системі збору інформації щодо управління ТПВ по регіонах України, що ускладнює її аналіз (наприклад, однакові дані за різні роки). Обсяги збирання ТПВ зменшувалися в Одеській області, але зростали в Миколаївській та Херсонській областях. Також відмітимо, що, в цілому, обсяги відібраної вторсировини мали тенденцію до збільшення.

Аналіз табл. 2 показав, що, попри збільшення кількості населених пунктів, охоплених роздільним збиранням, обсяги відібраної вторсировини зменшуються (Одеська область) або незначно зростають (Миколаївська область). Відсоток відібраної вторсировини у населених пунктах Одеської та Миколаївської областей за період 2019-2021 рр. зменшився. Зауважимо, що у переліку видів вторсировини, які підпадають під роздільний збір, найчастіше зустрічається пластик, особливо ПЕТФ пляшка.

Таблиця 1 – Роздільний збір ТПВ в регіонах ПЗП (2019-2021 рр.)
 Table 1 – Separate waste collection in NBW regions, 2019-2021

Область	Обсяги збирання ТПВ, тис. т			Обсяги перевезення на пункти заготівлі вторсировини, тис. т			Частка відходів, що збираються роздільно, %	
	2019	2021	динаміка	2019	2021	динаміка	2019	2021
Одеська	846,741	520,653	↓39%	16,94	16,94	0	2,0	3,2
Миколаївська	219,751	276,426	↑21%	37,35	41,84	↑11%	17,0	15,1
Херсонська	177,316	196,436	↑10%	0,003	0,048	↑94%	0	0,02

Таблиця 2 – Роздільний збір ТПВ в регіонах ПЗП, 2019-2021 рр. (продовження)
Table 2 – Separate waste collection in NBW regions, 2019-2021 (continuation)

Область	Обсяги роздільно зібраних відходів						Населені пункти, охоплені роздільним збиранням,	
	тис.м ³			у % до утворених у нп				
	2019	2021	динаміка	2019	2021	динаміка	кількість 2019/2021	динаміка 2019-2021
Одеська	67,745	49,08	↓27,6%	20,0	1,12	↓94,4%	28/37	↑32%
Миколаївська	217,02	232,36	↑7,1%	17,1	16,2	↓5,3%	20/23	↑15%
Херсонська	3,5	н/д	-	0,5	н/д	-	26	-

Якщо вважати, що частка ВПМ у загальному потоці ТПВ складає 12,9% [5], то на території регіонів ПЗП, наприклад, лише протягом 2019 року у складі зібраних ТПВ видалено на звалища та полігони майже 160 тис. т ВПМ, а з урахуванням неповного охоплення системою збирання ТПВ населених пунктів території дослідження (особливо в Одеській області) і наявності численних несанкціонованих звалищ, щорічні обсяги утворення ВПМ можуть досягати приблизно 200 тис. т. З урахуванням середнього вмісту ПВХ (14%) і інших полімерних відходів (17%), які не переробляються, загальна кількість ВПМ, придатних для переробки буде складати приблизно 140 тис. т, що можна порівняти з рівнем завантаженості діючих підприємств по переробці ВПМ в Україні [5]. Вартість цієї невикористаної вторинної сировини складає 600 тис. грн. (із рахунку 1 кг ВПМ – 3 грн.). Слід зазначити, що компанія «Вторресурси» в межах Одеського регіону здійснює прийом пластикових пляшок від 5 кг (від 100 кг – 5,5 грн./кг, від 150 кг – 6,0 грн./кг), а тому з урахуванням значної частки ПЕТФ вартість цієї вторинної сировини може бути значно більшою.

3.4 Оцінка ресурсного потенціалу ВПМ для Одеської області

Кількість ТПВ, утворених населенням Одеської області (2 337 191 осіб), складає 668 548,81 т, а загальна кількість – 724 467,05 т. Якщо орієнтуватися на морфологічний склад ТПВ Одеси, то середній вміст ПЕТФ складає 3,95% за масою, ПЕ низького тиску та ПЕ у високого тиску – 4,77%, інших видів ВПМ – 4,36%, скла – 12,39%, паперу і картону – 4,82%. Кількість ПЕТФ (тара для напоїв) в потоці ТПВ Одеської області сягає 2 811,27 т, LDPE та PELD (плівка, пакети) – 32 600,92 т, інших ВПМ (полівінілхлорид, полістирол тощо) – 27 274,94 т, тобто загальна кількість ВПМ –

62 687,13 т, що складає понад 24% виробничої потужності підприємств країни з переробки ВПМ. Крім того, маса скла в потоці ТПВ складає 115 930,11 т, а паперу і картону – 29 054,69 т, тобто кількість окремих ресурсоцінних компонентів у потоці ТПВ достатня для промислової переборки.

Розробка Регіонального плану управління відходами в Одеській області передбачає поділ території регіону на кластери, в межах яких передбачається створення регіональних комплексів управління відходами (РКУВ). Одним із можливих сценаріїв кластеризації є поділ на 5 кластерів (рис. 3).

За даними картографічного Інтернет-сервісу «Google Earth Pro» на території Одеської області налічується 1 243 місця розташування ТПВ (у т. ч. несанкціонованих та стихійних звалищ), які охоплюють площу 1 274 га. Їх розподіл за кластерами наведений в табл. 3.

Таблиця 3 – Розподіл обсягів відходів пластикових матеріалів і кількості звалищ твердих побутових відходів на території Одеської області

Table 3 – Distribution of volumes of plastic waste and the number of landfills of municipal solid waste in the Odesa region

Кластер	Кількість звалищ ТПВ	Площа звалищ ТПВ, га	ВПМ, т	Частка від суми ВПМ, %
I	148	60,4	6 498,99	7,38
II	259	166,5	5 507,19	6,25
III	314	452,0	60 383,12	68,55
IV	360	399,4	7 330,87	8,32
V	162	196,0	8 367,22	9,50
Усього	1 243	1 274,3	88 087,39	100

Як бачимо з табл. 3, максимальна кількість (314) і площа (452 га) звалищ ТПВ припадає на кластер III, що охоплює Одеську промислово-миську агломерацію і прилеглу територію, а також на південно-західні райони Одеської області (кластери IV та V), де зафіксована найбільша кількість (522) звалищ ТПВ площею майже 600 га.

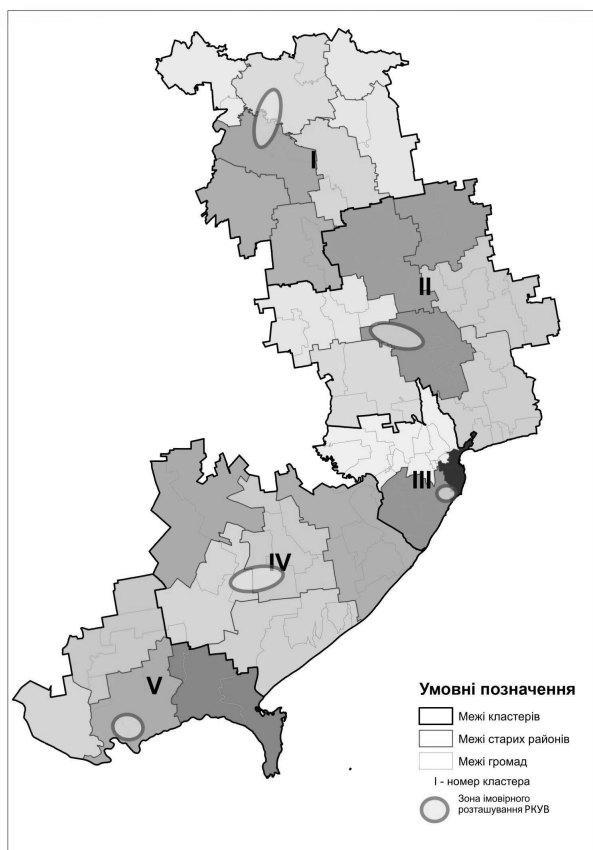


Рис. 3 – Розподіл території Одеської області на кластери за можливим сценарієм (з проєкту Регіонального плану управління відходами в Одеській області до 2030 року).

Fig. 3 – Distribution of the territory of Odessa region into clusters according to a possible scenario from the Regional Waste Management Plan in Odessa region by 2030 (project)

Основна кількість ВПМ також припадає на III (60 383,12 т – 68,55%), IV (7 330,87 т – 8,32%) та V (8 367,22 т – 9,50%) кластери. Найменші кількості звалищ ТПВ, а також площі, які вони охоплюють, з мінімальними кількостями ВПМ в потоці ТПВ характерні для північних і північно-східних районів Одеської області (кластери I та II) – див. табл. 4.

Враховуючи морфологічний склад ВПМ в потоці ТПВ на території Одеської області, проведемо приблизну оцінку вторинних ресурсів за видами пластику (табл. 4). Отже, кількість ПЕТФ в потоці ТПВ Одеської області сягає 28 211,27 т, ПЕ низького тиску – 32 601,02 т, ПЕ високого тиску, ПВХ та ПС – 27 275,00 т.

Незважаючи на те, що абсолютна більшість цих ВПМ (за винятком окремих видів ПЕТФ та упаковки з ПС) піддається переробці, а їх сумарна кількість складає майже 25% виробничої потужності підприємств України з переробки ВПМ [9], вони розміщуються на

численних звалищах ТПВ та забруднюють навколишнє природне середовище.

Таблиця 4 – Розподіл обсягів відходів пластикових матеріалів і кількості звалищ твердих побутових відходів на території Одеської області

Table 4 – Distribution of volumes of plastic waste and the number of landfills of municipal solid waste in Odessa region

Кластер	ПЕТФ	ПЕ низького тиску	ПЕ високого тиску, ПВХ, ПС
I	2 277,78	2 341,82	1 879,35
II	1 924,31	2 020,08	1 562,87
III	18 509,19	22 572,29	19 301,68
IV	2 562,47	2 682,50	2 085,94
V	2 937,78	2 984,33	2 445,16
Усього	28 211,37	32 601,02	27 275,00

Пандемія COVID-19 спровокувала генерацію великої кількості медичних відходів (МВ) – використаних масок, шприців, медичних рукавичок, контейнерів тощо), які вмістять ВПМ. У існуючих реаліях в регіонах України, коли абсолютна більшість ТПВ розміщуються на звалищах, а інфраструктура окремого збирання МВ від населення відсутня, на контейнерних майданчиках відсутні ємностей для депонування використаних захисних масок, рукавичок та інших МВ, залишаються лише такі шляхи поводження з відходами засобів індивідуального захисту: використання міцних поліетиленових пакетів, забезпечення їх герметичності перед викиданням у контейнери ТПВ; порожні флакони з-під дезінфікуючих засобів повинні бути викинуті в контейнери для упаковки, або розміщати в окремі пакети; одноразові рукавички, наприклад, використовувані при покупках в магазинах і т.п., слід викидати в контейнери для змішаних побутових відходів, переважно в зав'язаному пластиковому мішку для сміття.

3.5 Екологічні наслідки

Як бачимо, 84% ВПМ з ТПВ спрямовується на звалища і полігони (рис. 2). Якщо врахувати охоплення населення системою централізованого збору і вивозу ТПВ (72 і 75% в Одеській та Херсонській областях), то стає зрозумілим, що значна кількість пластику поповнює існуючі звалища чи засмічує довкілля регіону. Забруднення довкілля пластиком є однією з ключових екологічних проблем світу.

Споживчі якості пластику – інертність і довговічність – зумовлюють стійкість до розкладання в природних умовах та виключно механічну руйнацію з утворенням мікропластику. Окремі аспекти проблеми пластикового забруднення довкілля висвітлені, наприклад, в роботі Є.О. Михайлової [3]. Звертаємо увагу, що ВПМ є джерелом утворення стійких органічних полютантів (СОП), тобто вторинного забруднення довкілля надзвичайно небезпечними речовинами. Спалювання пластику (як стихійне, так і в установках) утворює багато токсичних хлорованих сполук, таких як поліхлоровані дибензо-п-діоксини та поліхлоровані дибензофурані (ПХДД/Ф), особливо при низькоконтрольованому спалюванні в присутності джерел хлору та відповідних каталізаторів (наприклад, важких металів). Ця обставина змусила окремі країни, де поширене сміттєспалювання ТПВ, посилити вимоги щодо вилучення пластику із загального потоку відходів, які спалюються [11].

Окремої уваги заслуговує пластикове сміття, яке накопичується на березі. Деградація пластмаси на пляжах під впливом погодних умов призводить до крихкості поверхні цього сміття та мікротріщин, утворюючи мікрочастинки, які переносяться у воду вітром або хвилями. На відміну від неорганічних дрібних частинок, присутніх у морській воді, мікропластик концентрує СОП шляхом перерозподілу між середовищами. Відповідні коефіцієнти розподілу для СОП складають кілька порядків на користь пластикового середовища. Частинки мікропластику з високим рівнем СОП можуть бути проковтнуті морською біотою та мігрувати по трофічним ланцюгам [12]. Таким чином, навіть при невисокій концентрації СОП у морській воді, маса цих речовин, яка сорбована на мікропластику, може набувати високих значень і становити реальну загрозу здоров'ю людини при потрапленні у організм. Особливо це актуально для ділянок морського середовища, у які здійснюється скид стічних вод зі станцій біологічної очистки води, які не забезпечують повної очистки води від СОП і є регулярним джерелом надходження цих речовин у морське середовище Північно-західної частини Чорного моря [13]. Переміщення СОП по трофічним ланцюгам знаходиться на стадії вивчення і вимагає ґрунтовних досліджень. Зокрема,

приклад кумуляції ПХБ у трофічних морських ланцюгах та дослідження їх вмісту у морській біоті Північно-західної частини Чорного моря наведено у роботі [14].

3.6 Передумови підвищення ефективності використання ВПМ

Серед основних завдань Національної стратегії (2019) [1], які стосуються ВПМ, є зменшення обсягів використання первинної сировини (на 20% та повторне використання і переробка відходів пластикової упаковки (60%) до 2030 р. Як зазначалося, на пластикову вторсировину є попит та потужності для переробки. Але необхідною умовою для підвищення ступеню вилучення такої сировини із загального потоку ТПВ є організація роздільного збирання з виокремленням пластику в момент утворення ТПВ або із сухої фракції ТПВ на сміттєсортувальних лініях. Відносно регіону ПЗП, це є вкрай актуальною природоохоронною задачею. Елементи системи роздільного збирання, вочевидь, не спроможні підвищити рівень вилучення пластику. Серед основних збирачів відходів пластику – пункти прийому вторинної сировини. Це «сірий» ринок, через роботу якого не працюють окремі ініціативи з відбору певних видів пластику (наприклад, ПЕТФ пляшок). Громадські ініціативи працюють лише шляхом адресного збору вторинної сировини (наприклад, «Місто майбутнього»). Через низький рівень громадської обізнаності погіршується якість пластику, зібраного через пункти прийому вторсировини біля супермаркетів «Сільпо» та «Метро». Хоча це чи не єдиний спосіб здати пластикові відходи. Отже, неодмінною умовою для вирішення проблеми ВПМ є створення системи роздільного збирання, яка має складатися з таких елементів, як населення, пункти збору, досортовування, транспортування.

4. ВИСНОВКИ

Проблема ВПМ є однією з актуальних екологічних проблем через зростання споживання пластикових виробів при майже усталеному рівні рециклінгу пластикових відходів, який не перевищує 10%. Реалізація завдань Національної стратегії (2019) неможлива

без залучення у загальну систему управління відходами ВПМ. Попри нестачу даних, можна оцінити вміст ВПМ у ТПВ в середньому на рівні 10-12% за масою. Основна частина ВПМ представлена ПЕ та ПЕТФ (63%). ВПМ – це, в основному, відходи пакування. Попри низький рівень роздільного збирання ТПВ, 84% ВПМ потрапляють на полігони та звалища, в той самий час як українські переробники імпортують до 30% вторинної сировини. Аналіз ситуації з роздільним збиранням ТПВ в областях ПЗП показав, що, за винятком Миколаївської області, для Одеської та Херсонської областей характерний вкрай низький рівень вилучення вторинної сировини (0-2%). З іншого боку, регіон має значний потенціал: на розрахунках, лише Одеська область може забезпечити виробничі потужності з переробки вторинної пластикової сировини на рівні 24%. Але на сьогодні ВПМ в основному опиняються на полігонах і звалищах, засмічують водойми та земельні ресурси. Внаслідок стихійної термічної деструкції, що може мати місце в тілі полігону, а також деструкції у морському середовищі ВПМ стають джерелом вторинного забруднення довкілля СОП.

На сьогодні основною проблемою невикористання ресурсу ВПМ є відсутність умов для роздільного збирання таких відходів, а існуючі елементи відбору (в т.ч. пункти збору вторинної сировини) не спроможні забезпечити більш високий рівень вилучення пластику.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року. (схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. No 820). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80> (дата звернення: 25.04.2023).
2. Тверді побутові відходи в Україні: потенціал розвитку. Сценарії розвитку галузі поводження з твердими побутовими відходами. Підсумковий звіт Міжнародної фінансової корпорації (IFC, Група Світового банку). URL: https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/region_ext_content/ifc_external_corporate_site/europe+and+central+asia/resources/2015ukrmunicipalsolidwastedevelopmentpotential (дата звернення: 25.04.2023).
3. Михайлова С. О. Пластикове забруднення – одна з головних екологічних проблем людства. *Комунальне господарство міст*. 2020. Том 4, № 157. С. 109–121. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2020-4-157-109-121>.
4. Шосте національне повідомлення України з питань зміни клімату. URL: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/01/position-paper-uabio-22-ua.pdf> (дата звернення: 25.04.2023).
5. Семко П. П. Реалії співробітництва бізнесу та органів місцевого самоврядування в галузі поводження з твердими побутовими відходами в Україні та напрями покращення ситуації. URL: <http://greenchamber.org.ua/files/files/2019/TBO/BUSINESS%20REALITIES.pdf> (дата звернення: 09.05.2023).
6. Лаптева Ю. Рынок вторичного ПЭ в Украине // Презентації доповідей Waste Management – 2019. URL: <https://drive.google.com/file/d/1zE7Y9FwTJHqnsr142cD-Wpco3-awMjab/view?usp=sharing> (дата звернення 20.10.2019)
7. Приходько В. Ю., Сафранов Т. А., Манасарян А. Б. Класифікація відходів упаковки у складі твердих побутових відходів та передумови ефективного поводження з ними в регіонах України. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2020. Вип. 34. С.153-161. doi: 10.26565/1992-4224-2020-34-15
8. Аналіз ринку полімерів ПЕ України. 2018. URL: <https://pro-consulting.ua/ua/issledovanie-rynka/analiz-rynka-polimerov-pe-ukrainy-2018-god> (дата звернення: 25.04.2023).
9. Семко П.П. Сучасні тенденції утворення і переробки вторинної сировини в Україні // Презентації доповідей Waste Management – 2019. URL: <https://drive.google.com/file/d/1aaSkLW8JIV9VWXT4C9-zpvdRj7rIcJWJ/view?usp=sharing> (дата звернення 20.10.2019)
10. Україна імпортує відходи з інших країн. Чому так та як у нас працює бізнес з переробки сміття. *Економічна правда*. 2021. URL: <https://www.epravda.com.ua/publications/2021/06/18/675131/> (дата звернення: 25.04.2023).
11. Suppressing effect of goethite on PCDD/F and HCB emissions from plastic materials incineration / Guang-Zhu Jin et al. *Chemosphere*. 2008. Volume 70 (9). Pp. 1568-1576. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.08.059>.
12. Anthony L. Andrady. Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*. 2011. Volume 62, Issue 8. Pp. 1596-1605. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>.
13. 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>
14. Особливості забруднення деякими стійкими органічними полутантами морського середовища північно-західної частини Чорного моря / Деньга Ю., Михайленко В., Олейнік Ю., Сафранов Т. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія «Екологія»*. 2020. 23. С. 8-20. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-23-01>

REFERENCES

1. *Natsionalna stratehiia upravlinnia vidkhodamy v Ukraini do 2030 roku [National Waste Management Strategy in Ukraine until 2030]*. Available at:

- <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80> (Accessed 20 August 2021) (in Ukr.)
2. Tverdi pobutovi vidkhody v Ukraini: potentsial rozvytku. Stsenarii rozvytku haluzi povodzhennia z tverdymi pobutovymi vidkhodamy. Pidsumkovi zvit Mizhnarodnoi finansovoi korporatsii [Municipal solid waste in Ukraine: development potential. Scenarios of the development of the field of municipal solid waste management]. Final Report of the International Finance Corporation]. Available at: https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/region_ext_content/ifc_external_corporate_site/europe+and+central+asia/resources/2015ukrmunicipalsolidwastedevelopmentpotential (Accessed 25 April 2023). (in Ukr.)
 3. Mykhailova, E. (2020). [Plastic pollution is one of the main environmental problem of humanity]. *Komunalne hospodarstvo mist [Municipal economy of cities]*, 4, pp. 109-121. (in Ukr.)
 4. Shoste natsionalne povidomlennia Ukrainy z pytan zminy klimatu [The sixth national message of Ukraine on climate change]. Available at: [URL:https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/01/position-paper-uabio-22-ua.pdf](https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/01/position-paper-uabio-22-ua.pdf) (Accessed 25 April 2023). (in Ukr.)
 5. Semko, P.P. *Realii spivrobitnystva biznesu ta orhaniv mistsevoho samovriaduvannia v haluzi povodzhennia z tverdymi pobutovymi vidkhodamy v Ukraini ta napriamy pokrashchennia sytuatsii [The realities of cooperation between business and local self-government bodies in the field of municipal solid waste management in Ukraine and directions for improving the situation]*. Available at: <http://greenchamber.org.ua/files/files/2019/TBO/BUSINESS%20REALITIES.pdf> (Accessed 9 May 2023). (in Ukr.)
 6. Lapteva, Yu. (2019). *Rynok vtorichnogo PE v Ukraine [Secondary PE market in Ukraine]*. Waste Management – 2019: presentation of reports. Available at: <https://drive.google.com/file/d/1zE7Y9FwTJHqnsr142cDWpco3-awMjab/view?usp=sharing> (accessed 20 October 2019). (in Russ.)
 7. Prykhodko, V.Yu., Safranov, T.A. & Manasaryan, A.B. (2020). [Classification of packaging waste in the municipal solid waste and precondition of its effective treatment in regions of Ukraine]. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, 34, pp. 153-161. (in Ukr.)
 8. *Analiz rynku polimeriv PE Ukrainy [Analysis of the PE polymer market of Ukraine]*. 2018. Available at: <https://pro-consulting.ua/ua/issledovanie-rynka/analiz-rynka-polimerov-pe-ukrainy-2018-god> (Accessed 25 April 2023). (in Ukr.)
 9. Semko, P.P. (2019). *Suchasni tendentsii utvorennia i pererobky vtorynnoi syrovyny v Ukraini. [Current trends in the generation and treatment of secondary raw materials in Ukraine]*. Waste Management – 2019: presentation of reports. Available at: <https://drive.google.com/drive/folders/1EqbyNbtvacTRYRXTS6dE8D9rdF9EXbZb> (accessed 20 October 2019). (in Ukr.)
 10. *Ukraina importuie vidkhody z inshykh krain. Chomu tak ta yak u nas pratsiue biznes z pererobky smittia [Ukraine imports waste from other countries. Why is it so and how does our waste recycling business work]*. *Ekonomichna pravda [Economic truth]*. Available at: <https://www.epravda.com.ua/publications/2021/06/18/675131/> (Accessed 25 April 2023). (in Ukr.)
 11. Guang-Zhu, Jin, et al. (2008). Suppressing effect of goethite on PCDD/F and HCB emissions from plastic materials incineration. *Chemosphere*, 70 (9), pp. 1568-1576. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.08.059>.
 12. Anthony, L. Andrady. Microplastics in the marine environment. (2011). *Marine Pollution Bulletin*, 62 (8), pp. 1596-1605. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>.
 13. 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>
 14. Denha, Yu. et al. (2020). [Peculiarities of pollution by some persistent organic pollutants of the marine environment of the Northwestern part of the Black Sea]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V.N. Karazina. Serii «Ekolohiia» [Bulletin of KhNU named after VN Karazina. Ecology series]*, 23, pp. 8-20. (in Ukr.)

PLASTIC WASTE: ASSESSMENT OF THE PROSESSES OF ITS FORMATION AND MANAGEMENT IN THE NORTH-WESTERN BLACK SEA COAST REGIONS

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

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

Plastic waste represents a specific component within the municipal solid waste structure because of the peculiarities of its formation, possibility of reuse and ecological consequences of environmental pollution. In particular, growing consumption of plastic is accompanied by a constant level of recycling (4-8%). This leads to accumulation of plastic waste in the environment. The article presents

data on the content of plastic waste in the municipal solid waste of Ukrainian cities. According to the data the content of plastic waste within the municipal solid waste amounts to 10-12%. Plastic waste is mainly represented by polyethylene and polyethylene terephthalate (more than 60%). It was discovered that plastic recycling companies import almost a third of recycled materials from Europe, while almost 84% of plastic is still ends brought to landfills. The analysis of the situation with separate collection of the municipal solid waste in the North-Western Black Sea Coast Region (namely Odesa, Mykolaiv and Kherson Regions) indicates a low level of secondary raw materials extraction. It is also exacerbated by the fact that only 75% of the population receives services for centralized collection of the municipal solid waste. It is estimated that almost 160,000 tons of plastic waste were brought to the landfills of Odesa Region in 2019. This volume is equal to the workload of existing plastic processing enterprises of Ukraine. So, as exemplified by Odesa Region, the research aimed at assessing the resource potential of plastic waste by main categories and in terms of clustering of the region, in accordance with the Regional Waste Management Plan project. It also describes the environmental consequences of leaving waste plastic materials in the environment – contamination with microplastics and formation of persistent organic pollutants. Moreover, it indicates that the municipal plastic waste is a significant source for such substances formation during thermal and mechanical destruction processes taking place within a landfill's body or marine environment. The research analyzes the main reasons for a low level of plastic waste use in the region. One of them is a lack of conditions allowing the citizens to collect plastic waste separately from the rest of their waste.

Keywords: plastic waste; municipal solid waste; reuse; separate collection

Подання до редакції : 30. 05. 2023

Надходження остаточної версії : 09. 06. 2023

Публікація статті : 29. 06. 2023

Видання зареєстровано в Державному комітеті інформаційної політики, телебачення та радіомовлення України. Реєстраційне свідоцтво серія **КВ 23515-13355ПР** від 25.07.2018

The state registration of print media is **КВ 23515-13355ПР**, originating date is 25.07.2018

Рекомендовано до друку вченою радою Одеського державного екологічного університету, протокол № 5, 29. 06. 2023 р.

Recommendations from Science Council of Odessa State Environmental University, Protocol no.5, 29. 06. 2023

Адреса редакційної колегії:
65016, м. Одеса, вул. Львівська, 15,
Одеський державний екологічний університет,
redactor@odeku.edu.ua

Editorial board address:
65016, Odesa, 15 Lvivska st.
Odessa State Environmental University
redactor@odeku.edu.ua

Видавець і виготовлювач
Одеський державний екологічний університет
вул. Львівська, 15, м. Одеса, 65016
тел./факс: (0482) 32-67-35
E-mail: info@odeku.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 5242 від 08.11.2016

ISSN 2311-0902 (print). Український гідрометеорологічний журнал. 2023. № 31. 1 – 131.
ISSN 2616-7271 (online). Ukraïns'kij gidrometeorologičnij žurnal. 2023. № 31. 1 – 131.
Український гідрометеорологічний журнал
Ukrainian Hydrometeorological Journal