

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Київський національний університет
будівництва і архітектури

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

Інститут телекомунікацій
і глобального інформаційного простору

Екологічна безпека та природокористування

Environmental safety and natural resources

Збірник наукових праць

ВИПУСК 41

2022

**Міністерство освіти і науки України
Київський національний університет будівництва і архітектури
Національна академія наук України
Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору**

**Ministry of Education and Science of Ukraine
Kyiv National University of Construction and Architecture
National Academy of Sciences of Ukraine
Institute of Telecommunications and Global Information Space**

**ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА
ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**

**ENVIRONMENTAL SAFETY AND
NATURAL RESOURCES**

Збірник наукових праць

Випуск 1 (41), січень-березень 2022 р.

Заснований у 2008 р.
Виходить 4 рази на рік

Academic journal

Issue 1 (41), January-March 2022

Founded in 2008
The journal is published 4 volume a year

КИЇВ 2022

KYIV 2022

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР:

О.М. ТРОФИМЧУК, д-р техн. наук, проф., чл.-кор. НАНУ

ЗАСТУПНИКИ ГОЛОВНОГО РЕДАКТОРА:

О.С. ВОЛОШКІНА, д-р техн. наук, проф.

Н. КАСАГЛІ, професор, Італія

Н. МАРГВЕЛАШВІЛІ, PhD, Австралія

ВИКОНАВЧИЙ РЕДАКТОР:

Ю.І. КАЛЮХ, д-р техн. наук, проф.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

С.О. ДОВГИЙ, д-р фіз.-мат. наук, проф., академік НАНУ

Г.М. КОЧЕТОВ, д-р техн. наук, проф.

Т.І. КРИВОМАЗ, д-р техн. наук, проф.

В.М. ТРИСНЮК, д-р техн. наук

МІЖНАРОДНА РЕДАКЦІЙНА РАДА

ПНГ Лу, проф., Китай

А. МІШО, дослідник, Франція

Д. МІНТЕР, проф., Великобританія

Я. ПЕКУТІН, проф., Польща

М.-Й. ВАЛЕРІ, проф., Польща

Рекомендовано до друку Вченою радою
Київського національного університету будівництва і архітектури
(протокол № 49 від 11.04.22)

Збірник наукових праць включено до Переліку наукових фахових видань України (категорія "Б"), в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук за напрямом «технічні науки» (Наказ Міністерства освіти і науки України від 02.07.2020 № 886)

ОСНОВНІ ТЕМАТИЧНІ РОЗДІЛИ ЗБІРНИКА

- Екологічна безпека
- Основи природокористування та цивільна безпека
- Інформаційні ресурси та системи
- Дискусійні повідомлення

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ

03186, м. Київ, Чоколівський бульв., 13,
Інститут телекомунікацій і глобального
інформаційного простору НАН України
Телефони: (044) 245-87-97

(044) 524-22-62

E-mail: e.voloshki@gmail.com

Свідоцтво про державну реєстрацію
КВ № 14146-3117 Р від 27.05.2008 р.

Електронна версія збірника в Інтернеті
<http://www.es-journal.in.ua> українською
та англійською мовами



Creative Commons «Attribution» 4.0 WorldWide

ЗМІСТ

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

- Піриков О.В., Чумаченко С.Н., Яковлев Є.А.**
Геоінформаційний системний підхід до аналізу впливу збройних конфліктів на екологічний стан навколишнього природного середовища.. 5
- Мітрясова О.П., Погребенник В.Д., Шибанова А.М., Джумеля Е.А.**
Оцінювання екологічного стану водного об'єкта за гідрохімічними показниками..... 18
- Савченко А.М., Ткаченко Т.М.**
Імплементація європейських норм зеленого будівництва в будівельну галузь України..... 31

ОСНОВИ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ТА ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА

- Кравець В.А., Міхєєнко В.М.**
Розробка технології утилізації твердих відходів у коксових печах..... 44
- Желновач Г.М., Внукова Н.В.**
Системний підхід до реалізації процедури стратегічної екологічної оцінки розвитку автотранспортного комплексу регіону..... 56
- Жуковський В.В., Сидор А.І., Шпак Г.М., Шатний С.В.**
Застосування методу аналізу ієрархій для оцінки Західного регіону України з метою розвитку органічного землекористування..... 69

ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ ТА СИСТЕМИ

- Вертегел С.Г., Вишняков В.Ю., Гуреля В.В., Сластін С.О., Піскун О.М., Харченко С.П., Мороз В.С.**
Розробка методики створення і оновлення картографічної основи з використанням космічних знімків від супутників «SUPER VIEW-1»..... 89
- Герасимов О.І., Сідлецька Л.М.**
Розповсюдження плоскої хвилі в неоднорідному одновимірному силовому ланцюжку: ефект прозорості 102
- Шундель О.І., Федосєєнков С.Г.**
Створення системи комплексного моніторингу стану водного середовища Чорного моря шляхом його математичного моделювання.... 111
- ДО ВІДОМА АВТОРІВ..... 121**

CONTENTS

ENVIRONMENTAL SAFETY

- Pyrykov O.V., Chumachenko S.M., Yakovlev Ye.O.**
 Geoinformation system approach to the analysis of the impact of armed conflicts on the ecological condition of the environment..... 5
- Mitryasova O., Pohrebennyk V., Shybanova A., Dzhumelia E.**
 Assessment of the environmental status of the water object by hydrochemical indicators..... 18
- Savchenko A.M., Tkachenko T.M.**
 Implementation of european regulations of green building in the construction industry of Ukraine..... 31

NATURAL RESOURCES AND CIVIL SAFETY

- Kravets V.A., Mikheyenko V.M.**
 Development of solid waste utilization technology in coke furnaces..... 44
- Zhelnovach G., Vnukova N.**
 System approach to implementation of the procedure of a strategic environmental assessment of the regional motor transportation complex development..... 56
- Zhukovskyy V.V., Sydor A.I., Shpak H.M., Shatnyi S.V.**
 Application of analytic hierarchy process for evaluation Western region of Ukraine with the purpose of organic land use development..... 69

INFORMATION RESOURCES AND SYSTEMS

- Vertehel S., Vyshniakov V., Hurelia V., Slastin S., Piskun O., Kharchenko S., Moroz V.**
 Development of a method for creating and updating the cartographic base using space images from «SUPER VIEW-1» satellites..... 89
- Gerasymov O.I., Sidletska L.M.**
 Diagnosis of inhomogeneous one-dimensional discrete chains by photon scattering..... 102
- Shundel A.I., Fedoseenkov S.G.**
 Creation of a system of comprehensive monitoring of the aquatic environment state of the black sea by its mathematical modeling..... 111
- INFORMATION FOR AUTHORS**..... 121

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ENVIRONMENTAL SAFETY

UDC 504.064.2

Oleksiy V. Pyrykov¹, PhD (Tech), Associate Professor
ORCID ID: 0000-0002-7077-3645 *e-mail*: 0506463222av@gmail.com

Sergiy M. Chumachenko², Dr.Sc. (Tech), Professor
ORCID ID: 0000-0002-8894-4262 *e-mail*: sergiy23.chumachenko@gmail.com

Yevhenii O. Yakovliev³, Dr.Sc. (Tech), Chief Research Scientist
ORCID ID: 0000-0001-6934-618X *e-mail*: yakovlevhydro@gmail.com

¹ The Foundation of development of environmental and energy markets NGO, Lviv, Ukraine

² National University of Food Technology, Kyiv, Ukraine

³ Institute of Telecommunication and Global Information Space of NASU, Kyiv, Ukraine

GEOINFORMATION SYSTEM APPROACH TO THE ANALYSIS OF THE IMPACT OF ARMED CONFLICTS ON THE ECOLOGICAL CONDITION OF THE ENVIRONMENT

Abstract. *The article considers the experience of solving problems in assessing the impact of armed conflict on the environment. An analysis of international approaches implemented in the framework of relevant UN resolutions to prevent critical changes in environmental parameters caused by direct and indirect effects of armed conflict. The analysis showed that in the conditions of the armed conflict on the territory of Donbass unbalanced military natural-technogenic geosystem MNTGS was formed, which is characterized by destruction and pollution of soils, deterioration of biodiversity, destruction of potentially dangerous objects due to fires and active hostilities. In addition, the decommissioning and flooding of a large number of coal mines increases the environmental and man-made impact of MNTGS on the natural environment and safety of life. Taking into account the above, the article presents the main results of the development of a generalized model for assessing the impact of factors of armed conflict on all components of the environment. Suggested to intensify environmental monitoring of the areas of the armed conflict and increase its information content through the use of GIS, remote sensing and mathematical modeling technologies; organize measures to increase the resilience and accelerate the restoration of critical infrastructure networks in Donbass; to begin research of the newest ecological-technogenic and ecological-resource factors of military-technogenic threats in Europe's largest man-made coal region.*

Key words: *environmental degradation; armed conflict; flooding of mines; ecological safety; military natural-technogenic geosystem*

О.В. Пиріков¹, С.М. Чумаченко², Є.О. Яковлєв³

¹ ГО «Фундація розвитку екологічних та енергетичних ринків», м. Львів, Україна

² Національний університет харчових технологій, м. Київ, Україна

³ Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ, Україна

ГЕОІНФОРМАЦІЙНИЙ СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО АНАЛІЗУ ВПЛИВУ ЗБРОЙНИХ КОНФЛІКТІВ НА ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН НАВКОЛИШНЬОГО ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА

***Анотація.** У статті розглядається досвід вирішення завдань щодо оцінювання впливу чинників збройного конфлікту на навколишнє середовище. Виконано аналіз міжнародних підходів, реалізованих в рамках відповідних резолюцій ООН для попередження критичних змін екологічних параметрів довкілля, викликаних прямим і непрямим впливом збройного конфлікту.*

Аналіз засвідчив, що в умовах збройного конфлікту на території Донбасу утворилася невірноважена військова природно-техногенна геосистема, яка характеризується руйнуванням і забрудненням ґрунтів, погіршенням біорізноманіття, руйнуванням потенційно небезпечних об'єктів внаслідок пожеж та активних бойових дій. Крім того, виведення із експлуатації та затоплення великої кількості вугільних шахт збільшує еколого-техногенний вплив ВПТГС на навколишнє природне середовище та безпеку життєдіяльності. Беручи вищенаведене до уваги, у статті наведено основні результати розробки узагальненої моделі для оцінювання впливу чинників збройного конфлікту на всі складові навколишнього середовища.

***Ключові слова:** деградація навколишнього середовища; збройний конфлікт; затоплення шахт; екологічна безпека; військова природно-техногенна геосистема*

DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.1.5-17>

Вступ

Актуальність. Збройні конфлікти найчастіше виникають через дефіцитні ресурси, такі як корисні копалини, вода і особливо територія. У сучасному світі існує думка, що деградація навколишнього середовища збільшить дефіцит невідновлюваних та відновлюваних ресурсів і, отже, сприятиме зростанню кількості збройних конфліктів [1, 2]. Однак, це питання є дискусійним і тому досі було багато суперечок і, на жаль, досить мало відповідних систематичних досліджень щодо цього суспільно-політичного явища.

Міжнародні підходи до даної проблематики реалізуються в рамках відповідних резолюцій ООН, таких як резолюція 50/70 Генеральної Асамблеї ООН «Загальне і повне роззброєння», резолюція 53/242 Генеральної Асамблеї ООН «Доповідь Генерального секретаря про навколишнє середовище та населені пункти», в якій підтверджується, що відповідно до її мандату «Програма Організації Об'єднаних Націй з навколишнього середовища» не бере участь у виявленні конфліктів, їх запобіганні або врегулюванні, і резолюція 57/337 Генеральної Асамблеї ООН «Запобігання збройних конфліктів», в якій визнається необхідність актуалізації та координації запобігання збройним конфліктам в рамках всієї системи Організації Об'єднаних Націй і міститься заклик до всіх її відповідних органів, організацій і установ розглянути згідно

з їхніми відповідними мандатами питання про те, яким чином вони могли б найкраще враховувати аспект, пов'язаний із запобіганням конфліктам та їх впливом на навколишнє природне середовище і безпеку життєдіяльності (БЖД) населення, в їх діяльності, там, де це можливо [2].

Необхідність пом'якшення екологічних наслідків діяльності транснаціональних та інших організованих злочинних груп, включаючи незаконні збройні угруповання, а також незаконну експлуатацію природних ресурсів та торгівлю ними в районах, вражених збройними конфліктами, є очевидною. Програма Організації Об'єднаних Націй з навколишнього середовища може відігравати провідну роль з вирішення цих проблем в межах свого мандата.

Для досягнення вказаної вище мети необхідно підвищити міжнародну обізнаність про проблему шкоди, яка завдається навколишньому середовищу під час збройних конфліктів, і необхідність належної охорони еколого-формуючих систем навколишнього середовища (ландшафтної, біотичної, поверхневої і підземної гідросфери, літосфери), коли вона порушується внаслідок впливу чинників збройних конфліктів (хімічне забруднення ландшафтів, водних об'єктів і джерел питно-господарчого водопостачання і ін.). Всі держави повинні вжити всіх належних заходів для забезпечення дотримання відповідних міжнародних зобов'язань в рамках міжнародного гуманітарного права щодо охорони навколишнього природного середовища (НПС) під час збройних конфліктів.

Аналіз публікацій. На сьогоднішній день більшість науковців у сфері наук про Землю та досліджень впливу збройного конфлікту на навколишнє природне середовище дотримуються думки, що взаємозв'язок між ресурсами, навколишнім середовищем та збройним конфліктом обумовлений наступними проблемами [1]:

- недостатньо чітко визначено, що означає збройний і екологічний конфлікт;
- дослідники більшою мірою займаються дефініційними та полемічними вправами, а не системним та факторним аналізом цих понять і їх взаємовпливу;
- важливими змінними нехтують, особливо коли це стосується політичних та економічних чинників, які мають сильний вплив на збройний конфлікт та опосередковано мають вплив ресурсних та екологічних чинників;
- деякі інформаційно-логічні та математичні моделі в цьому випадку стають настільки великими та складними, що їх практично не можна перевірити;
- дослідження не дозволяють розрізнити зовнішній та внутрішній збройні конфлікти за чинниками та параметрами впливу на НС та БЖД населення.

Хоча жодна публікація на сьогодні не характеризується усіма цими проблемами, у багатьох із них є декілька [2]. В резолюції 47/37 Генеральної Асамблеї ООН «Охорона навколишнього середовища в періоди збройних конфліктів», яка містить наполегливий заклик до держав вжити всіх заходів стосовно забезпечення дотримання існуючих положень міжнародного права, що застосовуються до охорони навколишнього середовища в періоди збройних конфліктів, розглянуті питання про те, щоб держави стали учасниками відповідних міжнародних конвенцій і зробили кроки зі включення цих положень до військових статутів національних Збройних Сил і в резолюцію 56/4

Генеральної Асамблеї ООН «Проведення Міжнародного дня запобігання експлуатації навколишнього середовища під час війни та збройних конфліктів».

Також держави повинні розглянути питання про відображення в національному законодавстві Керівних принципів для військових статутів та Інструкції з охорони навколишнього середовища під час збройних конфліктів Міжнародного комітету Червоного Хреста.

27 травня 2016 р. у Найробі в рамках засідання Асамблеї ООН з навколишнього середовища, яку ще називають "Парламентом довкілля", було ухвалено резолюцію «Захист довкілля в районах, вражених збройними конфліктами» UNEP/EA.2/Res.15, внесена Україною разом із ЄС і його 28 державами-членами, Канадою, Норвегією, Ліваном, Іраком, Південним Суданом, Йорданією та Демократичною Республікою Конго. За твердженнями неурядових організацій, цей документ став найбільш значущою резолюцією ООН такого роду з 1992 року. "Резолюція встановлює подальші завдання ЮНЕП щодо надання посиленої допомоги країнам, ураженим збройними конфліктами, зокрема у пост-конфліктній оцінці і відновленні; взаємодії з Комісією міжнародного права; співпраці з ЮНЕСКО в питаннях захисту природних пам'яток Світової спадщини; визначає взаємозалежність захисту довкілля та дотримання прав людини, необхідність зменшення негативного впливу на довкілля нелегальних збройних угруповань, зокрема транснаціональних, нелегальної експлуатації ними природних ресурсів та торгівлі цими ресурсами; наголошує на необхідності захисту довкілля в районах збройних конфліктів, міжнародного співробітництва у цьому зв'язку, імплементації необхідних положень міжнародного права, а також врахування рекомендацій Червоного Хреста у військових статутах, інструкціях тощо".

Мета статті – аналіз вітчизняних і міжнародних публікацій та існуючих підходів, що присвячені проблематиці оцінювання впливу збройного конфлікту на навколишнє середовище, та розробка системного підходу щодо його оцінювання.

Основний зміст

Збройні конфлікти на тлі будь-яких протиріч різних географічних масштабів, тривалістю і складом конфліктних сторін були, є та, на жаль, будуть в майбутньому. Причинами збройних конфліктів може бути вирішення економічних, еколого-ресурсних, політичних, військових, територіальних, національно-релігійних та низки інших протиріч, для розв'язання яких частіше всього вдаються до застосування зброї та військової сили. Це – збройне зіткнення між державами (міжнародний збройний конфлікт, збройний конфлікт на державному кордоні) або між ворогуючими сторонами в межах території однієї держави, як правило, за підтримки ззовні (внутрішній збройний конфлікт) [2].

За п'ять з половиною тисяч років на земній кулі збройних конфліктів сталося близько 15 тис., а за останні 50 років – понад 260. Загальні людські втрати від них склали більше, ніж 3,5 млрд осіб [3]. Починаючи з 1990 по 2000 р., у світі зареєстровано 56 збройних конфліктів. Найбільша їх кількість була зареєстрована в період 1990–1993 рр., коли на 1 рік припадало до 30-33 конфлікти. Найнижча – у 1996–1997 рр. Після 1997 р. кількість конфліктів знову почала зростати і у 1999 р. досягла середнього значення 27 [4].

Вирішення конфліктів із застосуванням сучасної зброї створює серйозні загрози для БЖД населення та НПС. В результаті ескалації, характеру та масштабів збройного конфлікту можливим є виникнення каскадного розвитку екологічних та техногенних надзвичайних ситуацій внаслідок аварій на ПНО та об'єктах критичної інфраструктури (ОКІ).

Під час збройного конфлікту відбувається застосування різних видів зброї, в тому числі зброї масового ураження: хімічної, ядерної та біологічної (бактеріологічної). Як наслідок створюються передумови виникнення надзвичайних ситуацій (НС) воєнно-техногенного характеру з подальшим розвитком вторинних чинників ураження населення, зокрема, у зв'язку із руйнуванням ОКІ (атомних, теплових і гідроелектричних станцій; складів та сховищ хімічних, радіоактивних і токсичних речовин та відходів, нафтопродуктів, вибухівки; транспортних та інженерних комунікацій тощо).

Агенція ООН з навколишнього середовища разом із залученими експертами (більше тисячі фахівців та 223 дослідницькі організації) зробили для Ради Безпеки ООН аналіз глобальної статистики і дійшли до наступних висновків [5, 6]:

- впродовж останніх 60 років до 40% збройних конфліктів були пов'язані із навколишнім середовищем або спровоковані природними ресурсами як рушієм протистоянь;
- протягом останніх двох десятиліть кожен конфлікт мав відношення до еколого-ресурсних та соціально-економічних параметрів навколишнього середовища та природних ресурсів;
- питання природних ресурсів та навколишнього середовища зрідка є єдиною причиною конфлікту, але, лишаючись невирішеними, завжди є перешкодою для встановлення миру. Більше того, неналежне управління природними ресурсами може стрімко знизити здатність країни протистояти новому витку ескалації конфлікту.

Експерти ділять весь спектр на дві великі групи впливу: прямий та непрямий (опосередкований). Важливим різновидом непрямого впливу є інституційна криза. Війна може спровокувати екологічну катастрофу, але не обов'язково. Водночас, війна неодмінно призводить до колапсу захисних механізмів: екологічного моніторингу навколишнього середовища, систем реагування на надзвичайні ситуації, систем захисту критичної інфраструктури та ін.

Прямий вплив. Один з найбільш відомих випадків — це катастрофа у Панчево (Косово). До 20 ракет, випущених з літаків НАТО, влучили у промислові об'єкти в цьому місті. В результаті вилилося більше 80 000 тонн палаючої нафти та до 3000 тонн інших хімікатів. Отруйні речовини потрапили у воду та повітря. Сусідні країни також постраждали, зокрема Болгарія та Румунія. В Панчево обидві сторони погодилися на незалежну оцінку наслідків техногенної катастрофи. Дві групи німецьких експертів з пересувними лабораторіями здійснили відбір проб та поклали на стіл всім зацікавленим звіт про реальну ситуацію. Цей акт зупинив взаємні політичні звинувачення та розпочав конструктивну співпрацю щодо ліквідації наслідків воєнно-техногенної катастрофи.

Непрямий вплив. Наприклад, це трапилося в Газі. Палестинські урядовці були не в змозі належним чином керувати системою водовідведення та каналізації, але в той же час постійно відмовлялися від міжнародної допомоги.

Врешті, у березні 2007 р. дамба каналізаційного відстійника впала і стічні води затопили велику площу, в тому числі кілька населених пунктів. Чотири людини загинули внаслідок цієї катастрофи і тисячі були змушені переїхати, а також втратили свої домівки та іншу власність.

До джерел небезпеки, що можуть призвести до надзвичайної ситуації воєнного характеру, відносяться такі складові, що допускають важкопередбачувані зміни своїх станів та за яких виникає або явна загроза, або безпосереднє ураження людей чи об'єктів життєзабезпечення (виробничих і природних об'єктів).

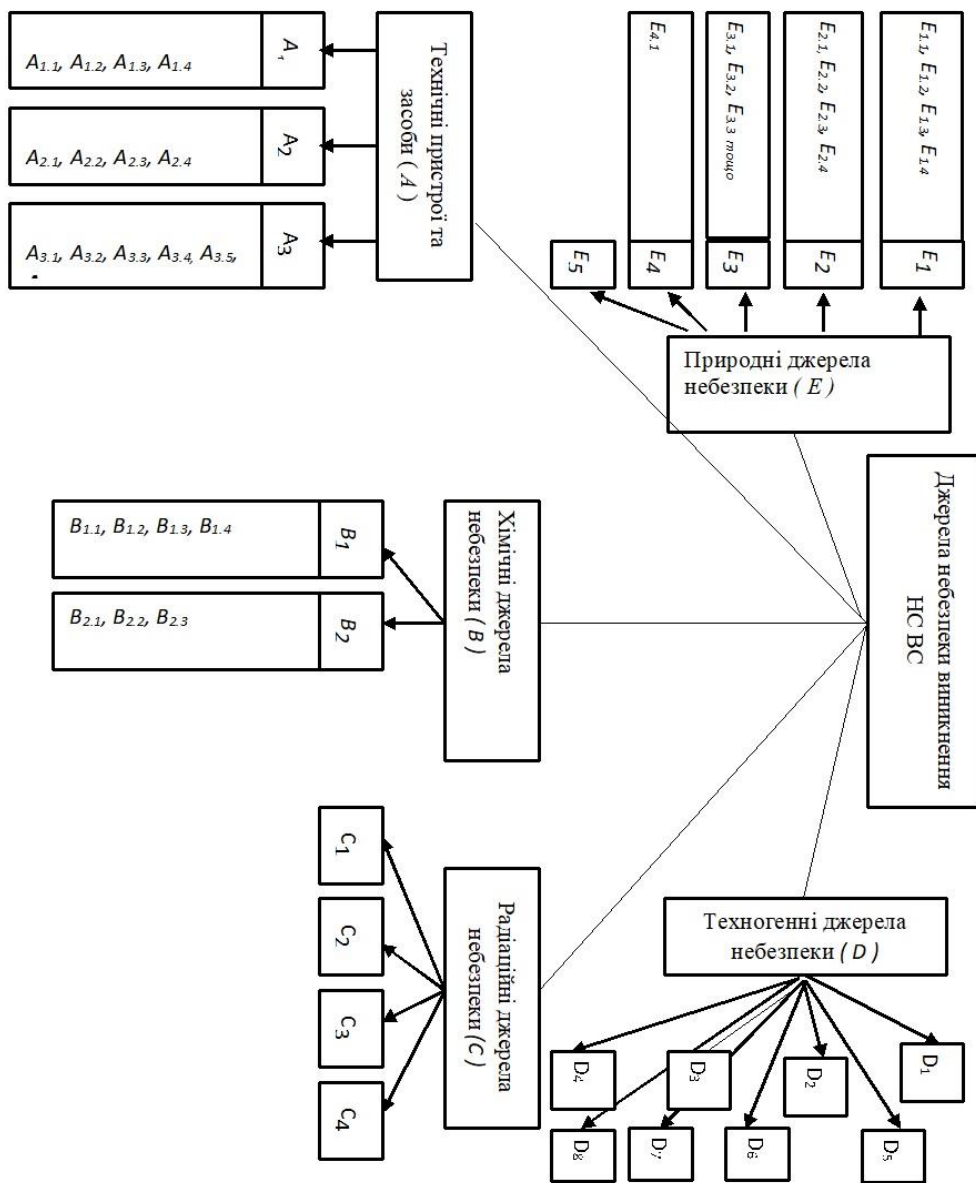


Рис. 1. Класифікація джерел небезпеки виникнення надзвичайних ситуацій воєнного характеру

На рис. 1 представлено класифікацію джерел небезпеки, що можуть призвести до надзвичайної ситуації воєнно-техногенного характеру. Джерела небезпеки можуть знаходитись не тільки всередині, але й поза даним регіоном, утворюючи його несприятливе оточуюче середовище. Проаналізувавши інформацію [7–11], до джерел небезпеки, що призводять до НС воєнно-техногенного характеру, можна віднести:

1. Технічні пристрої та засоби А, які в свою чергу поділяються на: зброю A_1 (бойова $A_{1.2}$, службова $A_{1.3}$, цивільна $A_{1.4}$, зброя масового ураження $A_{1.5}$), військову техніку A_2 (наземна $A_{2.1}$, наводна $A_{2.2}$, підводна $A_{2.3}$, повітряна $A_{2.4}$) та боєприпаси A_3 (артилерійські та стрілецькі боєприпаси $A_{3.1}$, бомби $A_{3.2}$, гранати $A_{3.3}$, боєголовки та компоненти ракет і снарядів $A_{3.4}$, піротехнічні засоби $A_{3.5}$, торпеди $A_{3.6}$);

2. Хімічні джерела небезпеки В, до яких відносяться хімічно небезпечні об'єкти B_1 (заводи і комбінати хімічної і нафтопереробної галузі $B_{1.1}$, підприємства з виготовлення хімічно небезпечних речовин $B_{1.2}$, водонапірні станції та очисні споруди, де застосовують хімічно небезпечні речовини, склади і бази з ядохімікатами $B_{1.3}$, транспортні засоби, що перевозять сильнодіючі отруйні речовини $B_{1.4}$) та хімічні речовини B_2 (промислові отрути $B_{2.1}$, лікарські препарати $B_{2.2}$, хімічні речовини побуту $B_{2.3}$);

3. Радіаційні джерела небезпеки С, до яких належать такі радіаційно-небезпечні об'єкти, як АЕС C_1 , підприємства радіохімічної промисловості, що займаються збагаченням та регенерацією ядерного палива і переробкою та похованням радіоактивних відходів C_2 , науково-дослідні та дослідно-конструкторські організації, які працюють з ядерними реакторами або використовують радіоактивні речовини для проведення наукових досліджень C_3 , транспортні засоби, які мають ядерні енергетичні установки або перевозять радіаційно-небезпечний вантаж C_4 ;

4. Техногенні джерела небезпеки D: гідротехнічні об'єкти D_1 , сховища газу, нафти і нафтопродуктів D_2 , об'єкти водопостачання та водовідведення D_3 , склади небезпечних і шкідливих речовин та заправні станції D_4 , ТЕС D_5 , трубопроводи і споруди на них D_6 , військові об'єкти та виробництва вибухових речовин D_7 , гірничо-добувні територіальні комплекси та об'єкти D_8 ;

5. Природні джерела небезпеки E: геологічні E_1 (землетруси $E_{1.1}$, зсуви $E_{1.2}$, провали $E_{1.3}$ і карсти $E_{1.4}$), гідрологічні E_2 (селі $E_{2.1}$, підтоплення $E_{2.2}$, паводки $E_{2.3}$, повені $E_{2.4}$), метеорологічні E_3 (циклони $E_{3.1}$, урагани та штормові зливи $E_{3.2}$, смерчі $E_{3.3}$ тощо), геліофізичні E_4 (природні пожежі $E_{4.1}$), астрофізичні E_5 .

Згідно із [2], надзвичайною ситуацією воєнно-техногенного характеру є порушення нормальних умов життя та діяльності людей на окремій території чи об'єкті або на водному об'єкті, спричинене застосуванням звичайної зброї або зброї масового ураження, під час якого виникають вторинні чинники ураження населення.

Таким чином, математична модель виникнення надзвичайної ситуації воєнно-техногенного характеру може бути представлена у вигляді наступного рівняння:

$$\Sigma = (A, B, C, D, E), \quad (1)$$

$$\text{де } A = \bigcup_{\gamma} A_{\gamma}; \quad B = \bigcup_{\alpha} B_{\alpha}; \quad C = \bigcup_{\beta} C_{\beta}; \quad D = \bigcup_{i} D_i; \quad E = \bigcup_{J} E_J.$$

Таким чином, розглядаючи далі надзвичайну ситуацію воєнно-техногенного характеру, будемо вважати, що вона зумовлена стохастичними зв'язками між джерелами небезпек, які були зазначені вище.

Застосування озброєння та військової техніки (ОВТ) під час ведення бойових дій спричиняє негативний вплив на військову природно-техногенну геосистему (ВПТГС) в зоні збройного конфлікту, що складається з компонентів біотопу, біоценозу та існуючої інженерної інфраструктури (рис. 2).



Рис. 2. Принципова схема формування взаємодії між складовими компонентами військової природно-техногенної геосистеми

При такому підході зрозуміло, що еколого-формуючі складові воєнно-техногенного навантаження на елементи ВПТГС, які безпосередньо пов'язані з впливом чинників ВТН в результаті застосування та експлуатації систем зброї і військової техніки на території районів ведення БД, підлягають оцінці і прогнозуванню в першу чергу. Як правило, умови застосування в значній мірі залежать від типових способів ведення БД, які виконуються військовослужбовцями, військовими підрозділами і частинами.

При виконанні всіх цих заходів під час ведення БД військові підрозділи здійснюють негативний вплив на складові компоненти ВПТГС [8, 9]. Основним джерелом ВТН є озброєння й військова техніка (ОВТ). Її номенклатура досить різноманітна, тому доцільним є поєднання ОВТ у наступні групи, з огляду на характерні ознаки: транспортна база – колісна або гусенична; вид зброї – стрілецьке, артилерійське, танкове, зенітне, ракетне, інженерне озброєння; вид забруднення середовища – електромагнітне (засоби зв'язку й РЛС), акустичне (танки, артилерійські гармати, міномети й інша техніка), хімічне (машини й обладнання спецобробки, паливозаправники й т. ін.); призначення технічних засобів – димове маскування, регенерація повітря. Якщо виокремити джерела і фактори впливу бойових дій, то ієрархічне дерево ВТН матиме вигляд, наведений на рис. 3.

На сьогодні формулювання проблеми забруднення еколого-формуючих складових навколишнього середовища (приземне повітря, гідросфера, ландшафти, літосфера, біосфера) в умовах військового конфлікту на Донбасі обумовлюється наступними тезами [13]:

- поступове зменшення скиду мінералізованих забруднених шахтних вод з 800 до 120-150 млн м³/рік з розвитком ділянок підтоплення і затоплення житлових і промислових будівель, військової фортифікаційної інфраструктури (окопів, бліндажів), руйнівних деформацій ОКІ та ін.;
- до АТО в цьому регіоні було до 59 000 км водопровідно-каналізаційних тепломереж з втратами від (50-60) до (90-100)% вод та рідких комунальних відходів;
- щорічний викид до 6 млрд м³/рік вибухонебезпечних і токсичних газів (метан, радон, оксиди вуглецю та ін.);
- із 113 водозаборів підземних вод, що діють (1.8 млн м³/добу), 48 є забрудненими;
- шахта Юнком з підземним атомним вибухом на глибині 860 м;
- забруднення токсикантами Горлівського хімзаводу підземного простору шахти “Олександр-Захід”;
- загроза некерованого витоку забруднених шахтних вод Микитівського родовища ртуті у відкритий канал водоводу “Дніпро-Донбас”;
- наявність в межах вуглепромислової техногенно небезпечної зони більше 2 500 "копанок" (стихійних шахт), як джерел неконтрольованого витоку забруднень на денну поверхню;
- відсутність екологічної рекультивациі більшості із 1,5 тисячі фільтруючих накопичувачів промислових стоків, в т.ч. токсичних.

В умовах ведення бойових дій на території Донбасу утворилася неврівноважена військова природно-техногенна геосистема, яка характеризується застосуванням всіх видів стрілецької та артилерійської зброї, ураженням верхнього шару ґрунтового покриву від утворення великої

кількості воронк, окопів, фортифікаційних споруд, знищення рослинності та біорізноманіття внаслідок пожеж та активних бойових дій.

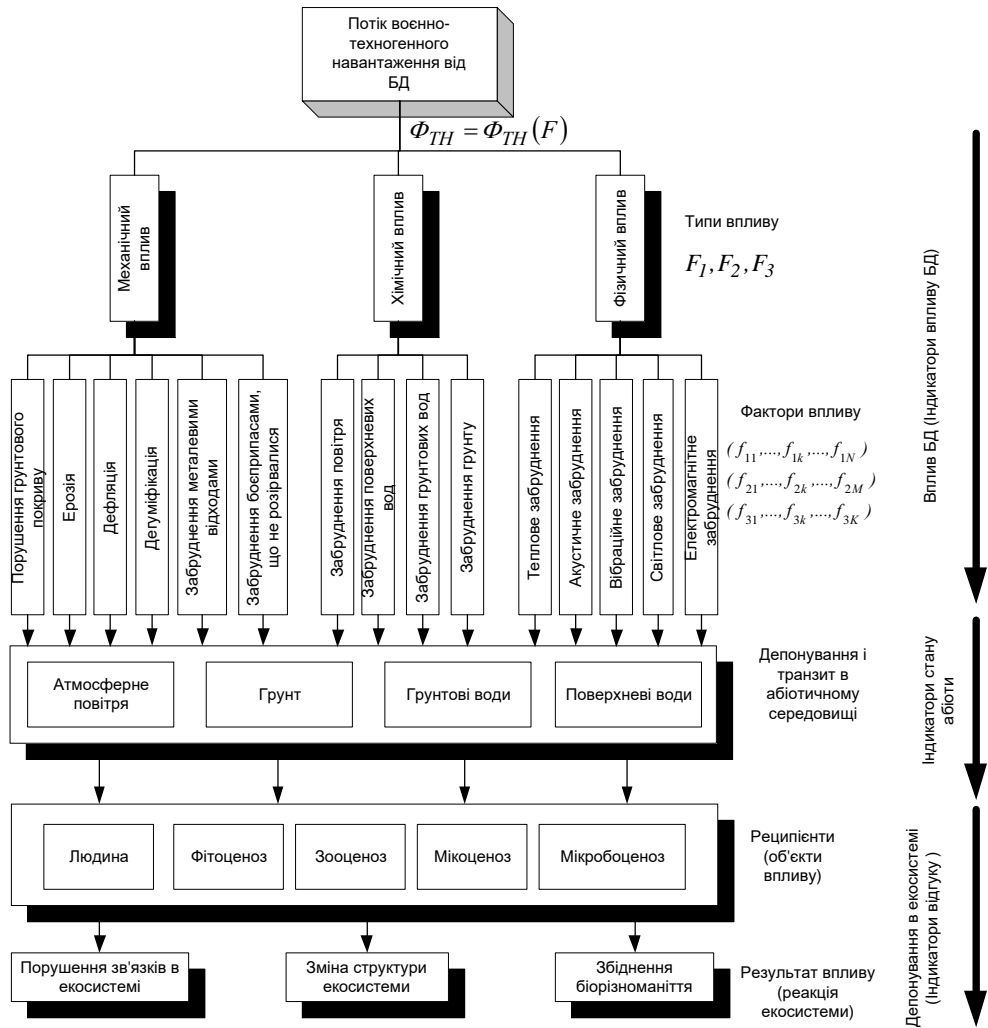


Рис. 3. Ієрархічна модель чинників ВТН від БД на навколишнє середовище [12]

Висновки

Розглянуто геоінформаційні особливості впливу чинників збройного конфлікту на екологічні параметри та еколого-формуючі системи навколишнього середовища в районі ведення бойових дій, в т.ч. в умовах вуглепромислового комплексу Донбасу.

Запропоновано:

1. Активізувати екологічний моніторинг навколишнього середовища в районах екологічного впливу збройного конфлікту на екологічний стан навколишнього середовища та його еколого-формуючу систему та підвищити його інформаційну повноту на основі впровадження технологій ГІС, ДЗЗ і математичного моделювання.

2. Організувати заходи з підвищення стійкості та прискореного відновлення на Донбасі функціонування мереж критичної інфраструктури: водопровідних та каналізаційних мереж, систем тепло- енергопостачання, транспортних коридорів.

3. Розпочати дослідження новітніх еколого-техногенних та еколого-ресурсних чинників воєнно-техногенних загроз за умов проведення ООС в найбільшому в Європі техногенно-трансформованому вуглепромисловому регіоні:

3.1) з оцінки впливу некерованого затоплення шахт на активізацію небезпечних процесів підтоплення промислово-міських агломерацій, осідань денної поверхні, зсувів, карстових провалів і небезпечних деформацій ОКІ;

3.2) з оцінки загроз руйнування дамб й інших гідротехнічних споруд фільтруючих накопичувачів токсичних стоків (більше 1500 об'єктів площею 10 200 га);

3.3) виконати районування регіону Донбасу у зоні впливу збройного конфлікту за рівнем асиміляційного потенціалу його навколишнього природного середовища та здатності до збалансованого еколого-економічного розвитку за умови гранично-припустимих змін еколого-формуючих систем (грунтів, гідросфери та ін.).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Gleditsch N.P. (2015) Armed Conflict and the Environment. In: Nils Petter Gleditsch: Pioneer in the Analysis of War and Peace. SpringerBriefs on Pioneers in Science and Practice, vol 29. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-03820-9_6.
2. https://ukrainepravo.com/international_law/public_international_law/diyal%60nist%60-oon-shchodo-okhorony-navkolyshn%60ogo-seredovyshcha-v-rayonakh-vrazhenykh-zbroynym-konflik/.
3. Магась Г.А. Тенденції розвитку збройної боротьби у сучасних умовах // Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Серія: військові та технічні науки. – 2015. – С. 79–95.
4. Іжнін І.І. Особливості застосування воєнної сили у збройних конфліктах 90-х років ХХ століття. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата політичних наук за спеціальністю 23.00.04 – політичні проблеми міжнародної системи та глобального розвитку, Львів, 2004.
5. Сміт, Ден; Østreng, Willy (Eds.), 1997: Дослідження навколишнього середовища, бідності та конфліктів: Пропозиція, Звіт PRIO №. 3 (Осло: Міжнародний інститут досліджень миру, Осло та Інститут Фрідьйофа Нансена). Google Scholar.
6. Westing, Arthur H. (Ed.), 1997: Збройні конфлікти та екологічна безпека. Спеціальний випуск „Навколишнє середовище та безпека”, 1 (2). Google Scholar.
7. Класифікатор потенційно-небезпечних об'єктів (перша редакція), електронний ресурс: https://www.dsns.gov.ua/UserFiles/File/2009/12_03_09_Klass_PNO.pdf.
8. Чумаченко С.М. Проведення екологічної паспортизації та зонування територій військових об'єктів за рівнем воєнно-техногенного навантаження на прикладі військового полігону / С. М. Чумаченко // Зб. матеріалів наук.-практ. конф. (м. Київ 16-17 жовтня 2003 року). – К.: ННДЦ ОТ і ВБ України, 2003. – С. 24–25.
9. Чумаченко С.М. Потенційний вплив затоплення шахт Донбасу на природно-техногенну безпеку військової інфраструктури Збройних сил України / Кузнецов Б.Т., Чумаченко С.М., Яковлев Є.О., Морщ Є.В. // Матеріали 19-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: тенденції 2020», 06-07 жовтня 2020 р. – К: ТОВ «Видавництво «Юстон», 2020. – С. 142–143.

10. Биченок М.М. Ризики життєдіяльності у природно-техногенному середовищі / М.М. Биченок, С.П. Іванюта, Є.О. Яковлев. – К.: Ін-т пробл. нац. Безп. Ради нац. Безп. і оборони України, 2008. – 160 с.
11. Биченок М.М. Основи інформатизації управління регіональною безпекою. – К., 2005. – 196 с.
12. Агробіорізноманіття України: Теорія, методологія, індикатори, приклади. Книга 2 / О.О. Созінов, В.І. Придатко, С.М. Чумаченко та ін. – К.: ЗАТ “Нічлава”, 2005. – 592 с.
13. Y. Yakovliev, S. Chumachenko. Ecological Threats in Donbas, Ukraine – Centre for Humanitarian Dialogue. Geneva, 2017. 60 с.

Стаття надійшла до редакції 02.12.2021 і прийнята до друку після рецензування 03.03.2022

REFERENCES

1. Gleditsch, N.P. (2015). Armed Conflict and the Environment. In: Nils Petter Gleditsch: Pioneer in the Analysis of War and Peace. SpringerBriefs on Pioneers in Science and Practice, vol 29. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-03820-9_6.
2. Retrieved from: https://ukrainepravo.com/international_law/public_international_law/diyal%60nist%60oon-shchodo-okhorony-navkolysn%60ogo-seredovyscha-v-rayonakh-vrazhenykh-zbroynym-konflik/.
3. Magas, G.A. (2015). Trends in the development of armed struggle in modern conditions. *Collection of scientific works of the National Academy of the State Border Guard Service of Ukraine*. Series: military and technical sciences, 79-95 [In Ukrainian].
4. Izhnin, I. I. (2004). *Features of the use of military force in the armed conflicts of the 90s of the twentieth century* (Doctoral dissertation, 2004). Lviv [In Ukrainian].
5. Smith, Dan; Østreg, Willy (Eds.). (1997). Research on the Environment, Poverty and Conflict: Proposal, PRIO Report №3. Oslo: International Institute for Peace Studies, Oslo and the Friedjof Nansen Institute.
6. Westing, Arthur H. (Ed.). (1997). Armed Conflict and Environmental Security. Special Issue "Environment and Security", 1(2).
7. Classifier of potentially dangerous objects (first edition). Retrieved from: https://www.dsns.gov.ua/UserFiles/File/2009/12_03_09_Klass_PNO.pdf.
8. Chumachenko, S.M. (2003). Carrying out of ecological certification and zoning of territories of military objects on level of military-technogenic loading on an example of a military site. In *Zb. materials of scientific practice conf.* (pp. 24-25). Kyiv: NNDC OT i VB Ukrainy [In Ukrainian].
9. Kuznetsov, B.T., Chumachenko, S.M., Yakovlev, Ye.O., Morshch, Ye.V. (2020). Potential impact of flooding of Donbass mines on natural and man-made security of military infrastructure of the Armed Forces of Ukraine. In *Proceedings of the 19th International Scientific and Practical Conference "Modern Information Technologies for Environmental Safety Management, Nature Management, Emergency Management: Trends 2020"*, (pp. 142-143). Kyiv: "Publishing House "Euston" [In Ukrainian].
10. Bychenok, M.M., Ivanyuta, S.P., & Yakovlev, Ye.O. (2008). Risks of life in the natural and man-made environment. Kyiv: Inst. of National Security of National Security and Defense Council of Ukraine [In Ukrainian].
11. Bichenok, M.M. (2005). Fundamentals of informatization of regional security management. Kyiv [In Ukrainian].
12. Sozinov, O.O., Prydatko, V.I., Chumachenko, S.M. et al. (2005). Agrobiodiversity of Ukraine: Theory, methodology, indicators, examples. Kyiv: CJSC "Nichlava" [In Ukrainian].
13. Yakovliev, Ye., & Chumachenko, S. (2017). Ecological Threats in Donbas, Ukraine. Geneva: Center for Humanitarian Dialogue.

The article was received 02.12.2021 and was accepted after revision 03.03.2022

Піріков Олексій Валерійович

кандидат технічних наук, доцент, експерт ГО «Фундація розвитку екологічних та енергетичних ринків»

Адреса робоча: 79019 Україна, м. Львів, вул. Липинського, 36

ORCID ID: 0000-0002-7077-3645 *e-mail:* 0506463222av@gmail.com

Чумаченко Сергій Миколайович

доктор технічних наук, с.н.с., завідувач кафедри інформаційних систем Національного університету харчових технологій

Адреса робоча: 01601, м. Київ, вул. Володимирська, 68

ORCID ID: 0000-0002-8894-4262 *e-mail:* sergiy23.chumachenko@gmail.com

Яковлев Євгеній Олександрович

доктор технічних наук, головний науковий співробітник Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України

Адреса робоча: 03186, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

ORCID ID: 0000-0001-6934-618X *e-mail:* yakovlevhydro@gmail.com

УДК 504.4.054

Olena Mitryasova¹, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Professor of the Ecology Department
ORCID ID: 0000-0002-9107-4448 *e-mail*: eco-terra@ukr.net

Volodymyr Pohrebennyk², Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Ecological Safety and Nature Protection Activity
ORCID ID: 0000-0002-1491-2356

Alla Shybanova², PhD, assistant professor of the Department of Ecological Safety and Nature Protection Activity
ORCID ID: 0000-0003-0364-7056 *e-mail*: ashybanova16@gmail.com

Elvira Dzhumelia², assistant of the Department of Software
ORCID ID: 0000-0003-3146-8725 *e-mail*: elviradzhumelia@gmail.com

¹ Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, Ukraine

² Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ASSESSMENT OF THE ENVIRONMENTAL STATUS OF THE WATER OBJECT BY HYDROCHEMICAL INDICATORS

***Abstract.** The problem of surface water is one of the key challenges of humanity. In accordance with the goals of research and analysis of the environmental status of water bodies are of great practical importance, as their condition further affects the quality of drinking water. The purpose of the work is to assess the environmental status of the water body. The originality of the obtained results is a comprehensive assessment based on the analysis of time monitoring data on the ecological status of water of the water body, taking into account the weighting factors of pollution indices. The study of the ecological state was carried out taking into account the integrated hydrochemical indicators. Microsoft Excel software was used to conduct the study. Google Maps was used to find places on maps and build the maps you needed to work. Microsoft Excel was used to perform calculations and build graphics. The ecological status of a water body is determined on the basis of pollution index calculations. The method of assessing the ecological status of surface waters by relevant categories has been improved through the use of weights. The assessment method is universal and can be used to study the ecological status of any water body. However, the selection of hydrochemical indicators took into account only the content of major pollutants, namely chlorides, sulfates, phosphates, suspended solids, petroleum products, compounds of copper and zinc violated. The obtained research results can be used in the development of water management plans and measures to improve their condition.*

***Key words:** assessment of water quality; the environmental index; the index of pollution components in the salt composition; the tropho-saprobiological index, the index of specific indices of toxic and radiation action*

© О.П. Мітрясова, **В.Д. Погребенник**, А.М. Шибанова, Е.А. Джумеля, 2022

О.П. Мітрясова¹, В.Д. Погребенник², А.М. Шибанова², Е.А. Джумеля²

¹ Чорноморський національний університет імені Петра Могили, м. Миколаїв, Україна

² НУ «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

ОЦІНЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ВОДНОГО ОБ'ЄКТА ЗА ГІДРОХІМІЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ

***Анотація.** Дослідження та аналіз екологічного стану водних ресурсів має важливе практичне значення, оскільки їх стан у подальшому відбивається на якості питної води. Мета роботи полягає в оцінюванні екологічного стану водного об'єкта. Оригінальність отриманих результатів полягає в комплексному оцінюванні на основі аналізу часових моніторингових даних екологічного стану вод водного об'єкта з урахуванням вагових коефіцієнтів індексів забруднення. Дослідження екологічного стану проведено з урахуванням інтегральних гідрохімічних показників. Для проведення аналізу використовували програмне забезпечення Microsoft Excel. Google Maps застосовували для пошуку місцевостей на картах та побудови потрібних для роботи карт. Microsoft Excel використовувався для виконання розрахунків та побудови графічних зображень. Визначено екологічний стан водного об'єкта на основі розрахунків індексів забруднення. Удосконалено методику оцінювання екологічного стану поверхневих вод за відповідними категоріями за допомогою використання вагових коефіцієнтів. Методика оцінювання є універсальною і може бути використана під час вивчення екологічного стану будь-якого водного об'єкта. Проте, при відборі гідрохімічних показників було враховано вміст тільки основних забруднювачів, а саме хлоридів, сульфатів, фосфатів, зважених речовин, нафтопродуктів, сполук Купруму та Цинку. Показано, що вода у водному об'єкті є непридатною для господарсько-питного водопостачання та екологічний стан лиману значно порушено. Отримані результати досліджень можна використовувати під час розробки планів управління водними ресурсами та заходів щодо покращення їх стану.*

***Ключові слова:** оцінювання якості води; екологічний індекс; індекс забруднення компонентами сольового складу; трофо-сапробіологічний індекс; індекс специфічних показників токсичної та радіаційної дії*

DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.1.18-30>

Вступ

Проблема стану поверхневих вод є одним з ключових викликів людства. Відповідно до цілей сталого розвитку, для України, де понад 70% всього водокористування припадає саме на поверхневі води, моніторинг є не тільки основою попередження екологічних криз, але й однією з умов сталого використання водних ресурсів та якості довкілля загалом. Дослідження та аналіз екологічного стану водних об'єктів, зокрема річок, має важливе практичне значення, оскільки їх стан у подальшому відбивається на якості питної води [1–4].

Найбільше навантаження на водні екосистеми з боку людини здійснюється при водокористуванні. До основних проблем щодо раціонального використання та охорони водних ресурсів України належать: забруднення водних об'єктів шкідливими викидами та недостатньо очищеними промисловими і господарсько-побутовими стічними водами; інтенсивне старіння основних фондів водозабезпечуючого та водоохоронного

призначення, низька продуктивність очисних споруд; недостатня самовідновлювана та самоочисна здатності водних систем; незбалансована система господарювання, що характеризується високими обсягами залучення водних ресурсів у виробничу сферу та високою водомісткістю продукції [5–8].

Екологічний стан поверхневих вод залежить від політики водокористування, тому оборотне та повторно-послідовне використання води відбивається на актуальному статусі водного об'єкта. Оборотне та повторно-послідовне використання води – це обсяг економії забору свіжої води за рахунок застосування системи зворотного і повторного водопостачання, включаючи використання стічних та колекторно-дренажних вод. За останні роки обсяги оборотного та повторно-послідовного використання води зменшились, що подано на діаграмі (рис. 1).

Проте, залишається актуальним питання щодо оцінювання якості поверхневих вод. Найперспективнішим методом ідентифікації зон підвищеної екологічної небезпеки є оцінювання екологічного стану. Це дозволяє визначити допустимий антропогенний тиск з метою збереження сталого існування певної водної екосистеми.

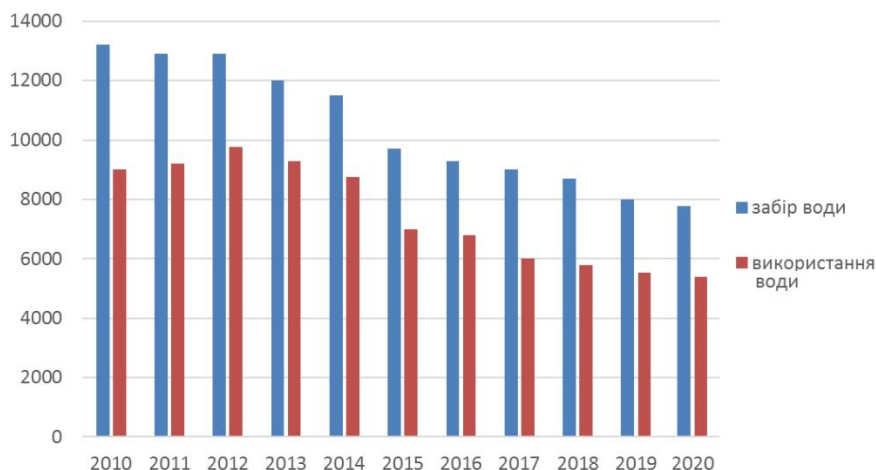


Рис. 1. Динаміка обсягів забору води з природних водних об'єктів і використання свіжої води в Україні, млн куб. м

Оцінювання екологічного стану якості поверхневих вод є основою для встановлення екологічних нормативів для окремих водних об'єктів та їх частин, груп водних об'єктів та басейнів річок. Це також є підґрунтям для окреслення перспектив екологічного менеджменту водних ресурсів.

Питанням комплексного оцінювання якості поверхневих водних ресурсів присвячено праці багатьох дослідників [9–13] та ін.

Мета роботи полягає в оцінюванні екологічного стану водного об'єкта.

Об'єктом дослідження є поверхневі води Бузького лиману у межах міста Миколаєва (точка спостережень – Миколаївська ТЕЦ). Цю точку спостереження було обрано не випадково. Так, саме в цьому районі спостерігається найбільша кількість перевищень граничнодопустимих концентрацій основних забруднювачів.

Предметом дослідження є гідрохімічні характеристики Бузького лиману.

Оригінальність отриманих результатів полягає в комплексному оцінюванні, на основі аналізу часових моніторингових даних, екологічного стану вод водного об'єкта з урахуванням вагових коефіцієнтів індексів забруднення. Дослідження екологічного стану проведено з урахуванням інтегральних гідрохімічних показників. Отримані результати досліджень можна використовувати під час розробки планів управління водними ресурсами та заходів щодо покращення їх стану.

Методи дослідження. Під час дослідження використано такі методи: порівняння та аналогій; аналізу; спостереження; синтезу; узагальнення. Для проведення дослідження використовувалися такі програми для розрахунків: Google Maps, програмне забезпечення Microsoft Excel. Google Maps застосовувались для пошуку місцевостей на картах та побудови потрібних для роботи карт. Microsoft Excel використовується для виконання розрахунків та побудови графічних зображень.

Визначення екологічного стану проводилось за допомогою використання формул екологічних індексів (1), трофо-сапробіологічного індексу (2) та індексу екологічної якості (*EQI*) (3).

$$I_E = \frac{(I_C + I_{TC} + I_T)}{3}, \quad (1)$$

де I_C – індекс забруднення компонентів сольового складу;

I_{TC} – трофо-сапробіологічний індекс;

I_T – індекс специфічних показників токсичної та радіаційної дії.

$$I_{TC} = \frac{(I_{KP} + I_{OP} + I_{ЗП} + I_{БР})}{4}, \quad (2)$$

де I_{KP} – індекс показників кисневого режиму;

I_{OP} – індекс показників вмісту органічних речовин;

$I_{ЗП}$ – індекс загальних показників (рН, завислі речовини та ін.);

$I_{БР}$ – індекс показників вмісту сполук біогенних елементів [6].

$$EQI = \sum_{i=1}^N \frac{P_e}{P_i}, \quad (3)$$

де P_i – значення показника в i -му створі;

P_e – значення показника в еталонному створі;

N – загальна чисельність показників.

Градації індексу *EQI* відповідно до класів якості вод наведено у керівному документі ЄС «Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC), Guidance document № 10» [14] (табл. 1).

Таблиця 1 – Індекс екологічної якості вод

Клас якості вод	1	2	3	4	5
	Відмінна (high)	Добра (good)	Посередня (moderate)	Низька (poor)	Погана (bad)
Значення <i>EQI</i>	> 0,83	0,82–0,62	0,61–0,41	0,40–0,20	< 0,20

Для приведення індексу екологічної оцінки якості вод (I_E) до діапазону від 1 до 0, який прийнято для EQI , можна використати формулу (4):

$$I_{Eпр} = 1 - \frac{I_E}{7}. \quad (4)$$

Результати дослідження

Моніторингові дослідження по Бузькому лиману проводяться Регіональним офісом водних ресурсів у Миколаївській області [15] в точці моніторингу (Миколаївська ТЕЦ, рис. 2) щоквартально за гідрохімічними та радіологічними показниками [16; 17]. У період з 2004 по 2020 рік було відібрано 60 проб за кожним досліджуваним гідрохімічним параметром.

Оцінювання екологічного стану здійснювалося на основі «Методики екологічної оцінки стану поверхневих вод за відповідними категоріями» [9] за допомогою відповідних індексів (формули 1, 2, 3, 4).



Рис. 2. Точка моніторингових спостережень для оцінювання екологічного стану поверхневих вод Бузького лиману в межах м. Миколаєва: 1 – місто Миколаїв, 2 – річка Південний Буг, 3 – річка Інгул, 4 – Бузький лиман (Варварівський міст), 5 – Бузький лиман, 6 – точка відбору проб (Миколаївська ТЕЦ)

Дослідження екологічного стану поверхневих водних ресурсів за гідрохімічними показниками передбачає аналіз компонентів сольового складу (хлориди, сульфати) (рис. 3). Трофо-сапробіологічний (еколого-санітарний) індекс розраховується на основі абсолютних значень компонентів (зважені речовини, рН, фосфати, розчинений кисень, БСК₅) (рис. 4). Для визначення індексу специфічних показників токсичної дії використовувались абсолютні значення компонентів, таких як Купрум, Цинк та нафтопродукти (рис. 5).

За вмістом компонентів сольового складу вода у лимані знаходиться в поганому стані. За рівнем сульфатів переважаючим класом якості води є III, а категорія якості – 5, тобто вода є помірно забрудненою. За рівнем хлоридів переважаючим класом є IV, а категорія якості – 6, тобто вода є брудною і непридатною для використання її як питної води.

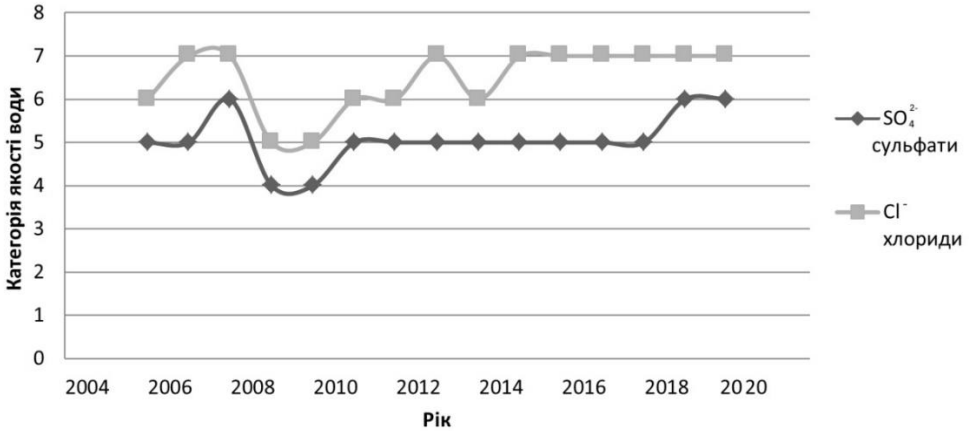


Рис. 3. Категорії якості води за забрудненням компонентами сольового складу

На рис. 4 графічно показано категорії якості води Бузького лиману за трофо-сапробіологічними показниками, а саме: рН, завислі речовини, фосфати, розчинений кисень, БСК₅. Отримані дані свідчать про те, що переважаючим класом якості води є III з категоріями якості 4 та 5, тобто вода у лимані є слабко та помірно забрудненою. Окремо можна виділити категорію якості води за вмістом фосфатів. Визначено, що, загалом, клас якості води – IV, а категорія якості – 6, тобто вода є брудною.

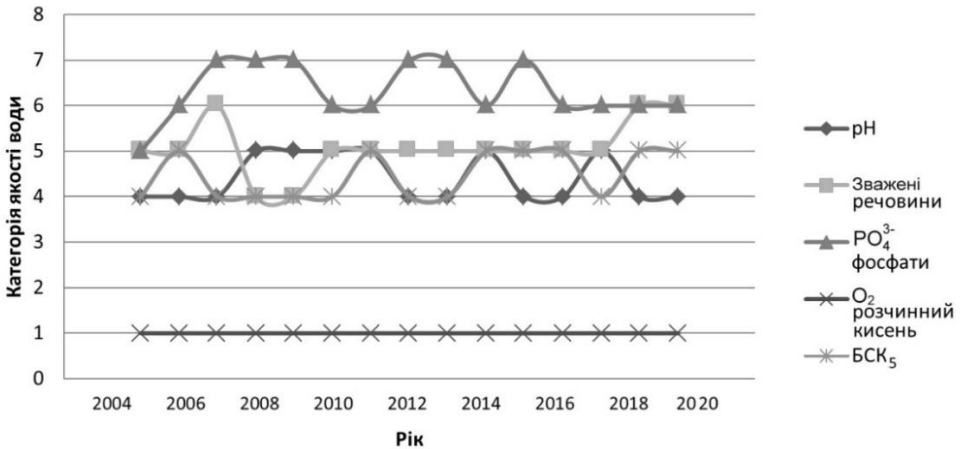


Рис. 4. Категорії якості за трофо-сапробіологічними показниками

На рис. 5 подано категорії якості води за специфічними показниками токсичної та радіаційної дії. Визначивши класифікацію за вмістом Купруму та Цинку, можна зробити висновок, що вода в Бузькому лимані є слабко забрудненою важкими металами (клас якості – III, категорія якості – 4). Щодо вмісту нафтопродуктів, то вода є досить чистою (клас якості – II, категорія якості – 3).

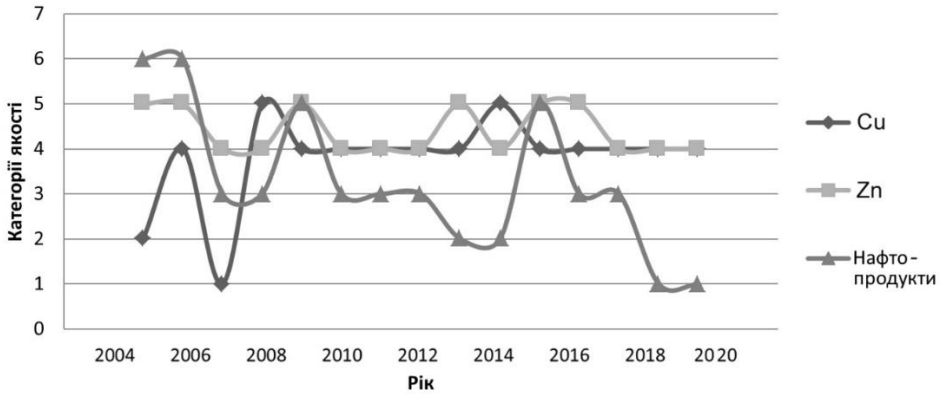


Рис. 5. Категорії якості за специфічними показниками токсичної та радіаційної дії

Екологічний індекс якості вод (I_E) визначався як середньоарифметичне індексів забруднення компонентів сольового складу (I_C), трофо-сапробіологічних (I_{TC}) і специфічних показників токсичної та радіаційної дії (I_T) (див. (1)). Отримані результати подано в табличній формі (табл. 2) та у вигляді графічної залежності (рис. 6).

Аналізуючи отримані результати (рис. 6) за сольовим критерієм, Бузький лиман відноситься до IV класу якості, тобто вода є брудною.

За хімічним трофо-сапробіологічним критерієм отримано середнє значення якості води – III, вода є слабо забрудненою.

За критерієм токсичної та радіаційної дії стан Бузького лиману оцінюється як «задовільний», вода є слабо забрудненою.

Таблиця 2 – Екологічні індекси якості води

Рік	I_C	I_{TC}	I_T	I_E
2006	5,5	3,750	4,33	4,52
2007	6,0	4,125	5,00	5,04
2008	6,5	4,125	2,66	4,42
2009	4,5	4,000	4,00	4,16
2010	4,5	4,000	4,66	4,38
2011	5,5	4,000	3,66	4,38
2012	5,5	4,250	3,66	4,47
2013	6,0	4,250	3,66	4,63
2014	5,5	4,125	3,66	4,42
2015	6,0	4,400	3,66	4,68
2016	6,0	4,500	4,66	5,05
2017	6,0	4,250	4,00	4,75
2018	6,0	4,125	3,66	4,59
2019	6,5	4,250	3,00	4,58
2020	6,5	4,125	3,00	4,54

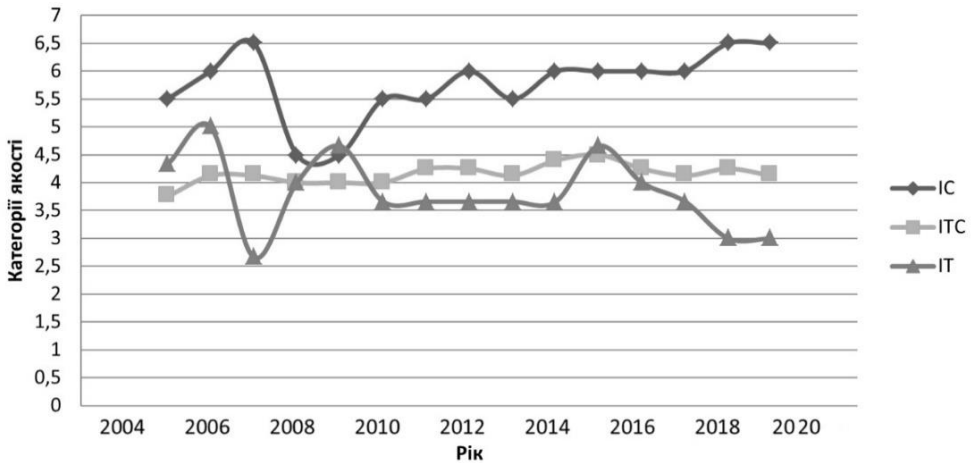


Рис. 6. Екологічні індекси якості води в Бузькому лимані:
 Іс – індекс забруднення компонентами сольового складу,
 Ітс – трофо-сапробіологічний (еколого-санітарний) індекс,
 Іт – індекс специфічних показників токсичної та радіаційної дії

Отже, найбільшими забруднювачами водної екосистеми у даній точці моніторингу є такі компоненти: сухий залишок, хлориди, підвищена жорсткість води, що супроводжується зниженням прозорості води, а також погіршенням кисневого режиму. Забруднення води і зниження її якості головним чином відбувається за рахунок речовин антропогенного походження. Забруднюючі речовини потрапляють у водний об’єкт зі стічними водами, а також за рахунок забруднених поверхневих стоків.

Для переведення індексу якості вод (I_E) до діапазону від 1 до 0, який прийнято для EQI (табл. 1), використано формулу (4). Індекс екологічної якості наведено у табл. 3.

Таблиця 3 – Індекс екологічної якості вод в діапазоні від 1 до 0 (EQI)

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
I_E	4.52	5.04	4.42	4.16	4.38	4.38	4.47	4.63	4.42	4.68	5.05	4.75	4.59	4.58	4.54
EQI	0.35	0.28	0.38	0.4	0.37	0.37	0.36	0.34	0.37	0.33	0.28	0.32	0.34	0.35	0.35

Отримані результати оцінювання екологічного стану поверхневих вод також подано у вигляді індексу екологічної якості (EQI) згідно з Водною Рамковою Директивою ЄС 2000/60/ЄС [14]. За цим документом клас якості поверхневих вод Бузького лиману в межах міста Миколаєва є «низьким».

У результаті оцінювання екологічного стану вод Бузького лиману встановлено, що якість води загалом є «задовільною», але досить часто визначається її погіршення. Спостерігається тенденція до більшого регресу.

Екологічний стан вод лиману найбільше погіршується за рахунок речовин, що входять до хімічного трофо-сапробіологічного критерію забруднення, а саме: рН, зважених речовин, фосфатів, БСК₅, жорсткості загальної; а також до критерію сольового складу: сульфатів та хлоридів. Забруднення вод компонентами токсичної та радіаційної дії (Купрумом та Цинком) в середньому помірне.

Аналізуючи отримані результати, можна зробити висновок, що вода в Бузькому лимані упродовж досліджуваного періоду є помірно забрудненою (рис. 7).

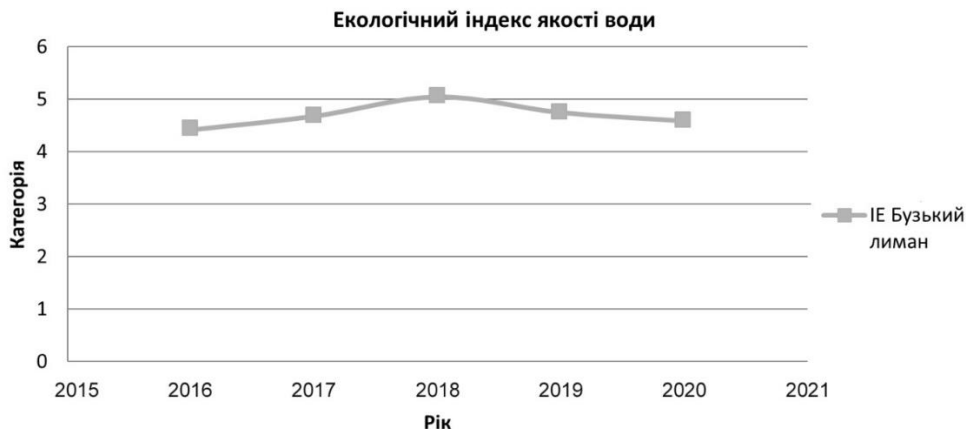


Рис. 7. Екологічний індекс якості вод

Під час визначення екологічного стану водного об'єкта було удосконалено методику оцінювання якості поверхневих вод за відповідними показниками, а саме за гідрохімічними. Суть вдосконалення полягає у врахуванні джерел надходження елементів до поверхневих вод і використанні відповідних вагових коефіцієнтів. Так, наприклад, елементи, які мають природне походження, мають менший коефіцієнт, ніж ті, що мають антропогенну природу. Сума вагових коефіцієнтів дорівнює 1:

$$w_3 = w_1 + w_2 + w_3 = 1 . \quad (5)$$

За «Методикою оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями» [9] формула екологічного індексу якості вод, що враховує середнє арифметичне трьох індексів (індекс компонентів сольового складу, трофо-сапробіологічний індекс та індекс специфічних показників токсичної та радіаційної дії) набуває вигляду (1).

При використанні запропонованих коефіцієнтів формула екологічного індексу якості вод набуває вигляду:

$$I_E = (0,1 * I_C) + (0,3 * I_{TC}) + (0,6 * I_T) . \quad (6)$$

Вибір такої варіації розподілу коефіцієнтів пояснюється так:

- показники, що входять до індексу компонентів сольового складу, мають природне походження, тому мають найменший коефіцієнт – 0,1;

- показники, що входять до трофо-сапробіологічного індексу, можуть мати як природне, так і антропогенне походження, тому для них коефіцієнт становитиме – 0,3;
- показники, що входять до індексу специфічних показників токсичної та радіаційної дії, мають переважно антропогенне походження, тому мають найбільший коефіцієнт – 0,6.

Отже, удосконалена методика, що враховує коефіцієнти походження елементів, є коректнішою та краще відбиває актуальний екологічний стан водного об'єкта.

Висновки та перспективи подальших досліджень

Проведено оцінювання екологічного стану вод Бузького лиману; для цього використовувались показники, що перевищують норми ГДК.

Встановлено, що якість води, загалом, є «задовільною». Проте, досить часто спостерігається її погіршення і тенденція до більшого регресу екологічного стану водного об'єкта. Екологічний стан вод лиману найбільше погіршується за рахунок речовин, що входять до хімічного трофо-сапробіологічного критерію забруднення, а саме: рН, зважених речовин, фосфатів, БСК₅, жорсткості загальної; а також до критерію сольового складу: сульфатів та хлоридів. Забруднення вод компонентами токсичної та радіаційної дії (Купрумом та Цинком) загалом помірні.

На основі проведеного дослідження можна зробити висновок, що вода у Бузькому лимані є непридатною для господарсько-питного водопостачання, а екологічний стан лиману порушено.

Для більш точного результату визначення екологічного індексу за гідрохімічними показниками запропоновано використовувати відповідні вагові коефіцієнти залежно від джерел надходження компонентів, замість використання середньоарифметичного значення індексів. У подальшому перспективним є детальне дослідження джерел надходження забруднювачів у поверхневі води, удосконалення методики оцінювання екологічного стану за відповідними категоріями з урахуванням вагових коефіцієнтів, визначення заходів для поліпшення екологічного стану водних об'єктів. Отримані результати досліджень можна використовувати під час розробки планів управління водними ресурсами та заходів щодо покращення їх стану.

Подяка. Щиро дякуємо за співпрацю колегам Чорноморського національного університету імені Петра Могили і Національного університету «Львівська політехніка» у рамках виконання науково-дослідницького проекту. Висловлюємо також вдячність колегам з Регіонального офісу водних ресурсів у Миколаївській області за можливість провести експериментальні визначення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Chugai, A.; Safranov, T. (2020). Assessment of Technogenic Loading on the Surface Water Bodies of the Separate Regions of the North-Western Black Sea. *Journal of Ecological Engineering*, 21 (5), 197–201.
2. Bezsonov, Ye., Mitryasova, O., Smyrnov, V., Smyrnova, S. (2017). Influence of the South-Ukraine electric power producing complex on the ecological condition of the Southern Bug River. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4/10 (88), 20–28.

3. Varady R.G., Albrecht, T.R., Staddon, C., Gerlak, A.K., Zuniga-Teran, A.A. (2021). The Water Security Discourse and Its Main Actors. *Handbook of Water Resources Management: Discourses, Concepts and Examples*, 215–252.
4. Bakker, K. (2018). The business of water. In: Conca K, Weinthal E (eds). *The Oxford handbook of water politics and policy*. Oxford University Press, New York, 407–429.
5. Mitryasova, O., Pohrebennyk, V. (2020). Hydrochemical Indicators of Water System Analysis as Factors of the Environmental Quality State. *Sustainable Production: Novel Trends in Energy, Environment and Material Systems. Studies in Systems, Decision and Control In: Królczyk G., Wzorek M., Król A., Kochan O., Su J., Kacprzyk J. (eds), Vol. 198. Springer, Cham.*, 91–104.
6. Водні ресурси та якість річкових вод басейну Південного Бугу (2009). За ред. В.К. Хільчевського, Київ : Ніка-центр, 184.
7. Клименко В. Г. (2010). Гідрологія України: Навчальний посібник для студентів-географів, Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 124.
8. Lykhovyd, P.V., Kozlenko, Ye.V. (2018). Assessment and forecast of water quality in the River Ingulets irrigation system. *Ukrainian Journal of Ecology*, 8(1), 350–355.
9. Васенко, О.Г., Верниченко-Цветков, Д.Ю., Коваленко М.С. та ін. (2008). Екологічна оцінка стану поверхневих вод України з урахуванням регіональних гідрохімічних особливостей. Київ : УкрНДІЕП, 36–53.
10. Гриценко, А.В., Васенко, О.Г., Верніченко Г.А. та ін. (2012). Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. Харків : УкрНДІЕП, 37.
11. Рибалова О.В. (2011). Комплексний підхід до визначення екологічного стану басейнів малих річок / О.В. Рибалова, Проблеми охорони навколишнього природного середовища та техногенної безпеки, 36. наук. пр. УкрНДІЕП, XXXIII, Харків, 88–97.
12. Mitryasova, O., Pohrebennyk, V., Kardasz, P. (2018). Hydrochemical Aspects of Surface Water Quality Assessment. 18th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2018, Albena, Bulgaria. 30 June – 9 July 2018, 5.2. (18), 513–520.
13. Методи екологічної оцінки стану водних об'єктів [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://h.ua/atr.php?id=5722>.
14. European Communities WFD CIS 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.
15. Південно-Бузьке басейнове управління водних ресурсів [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://www.vodhoz.com.ua>
16. Звітні дані по стану р. Південний Буг та Бузького лиману за 2002-2020 рр., (2020). Південно-Бузьке басейнове управління водних ресурсів в Миколаївській області, Миколаїв, 2020.
17. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Миколаївській області у 2020 році. Південно-Бузьке басейнове управління водних ресурсів в Миколаївській області, Миколаїв, 2020, 206.

Стаття надійшла до редакції 05.11.2021 і прийнята до друку після рецензування 23.02.2022

REFERENCES

1. Chugai, A., & Safranov, T. (2020). Assessment of Technogenic Loading on the Surface Water Bodies of the Separate Regions of the North-Western Black Sea. *Journal of Ecological Engineering*, 21(5), 197–201.
2. Bezsonov, Ye., Mitryasova, O., Smyrnov, V., & Smyrnova, S. (2017). Influence of the South-Ukraine electric power producing complex on the ecological condition of the Southern Bug River. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4/10(88), 20–28.

3. Varady, R.G., Albrecht, T.R., Staddon, C., Gerlak, A.K., & Zuniga-Teran, A.A. (2021). The Water Security Discourse and Its Main Actors. *Handbook of Water Resources Management: Discourses, Concepts and Examples*, 215–252.
4. Bakker, K. (2018). The business of water. In: Conca K., Weinthal E. (eds). *The Oxford handbook of water politics and policy*. Oxford University Press, New York, 407–429.
5. Mitryasova, O., & Pohrebennyk, V. (2020). Hydrochemical Indicators of Water System Analysis as Factors of the Environmental Quality State. *Sustainable Production: Novel Trends in Energy, Environment and Material Systems. Studies in Systems, Decision and Control* In: Królczyk G., Wzorek M., Król A., Kochan O., Su J., Kacprzyk J. (eds), Vol. 198. Springer, Cham., 91–104.
6. Khilchevskiy, V.K. (Ed.). (2009). Water resources and river water quality of the Southern Bug basin. Kyiv: Nika Center [In Ukrainian].
7. Klymenko, V.H. (2010). Hydrology of Ukraine: Textbook for students. Kharkiv: KhNU named after V.N. Karazina [In Ukrainian].
8. Lykhovyd, P.V., & Kozlenko, Ye.V. (2018). Assessment and forecast of water quality in the River Ingulets irrigation system. *Ukrainian Journal of Ecology*, 8(1), 350–355.
9. Vasenko, O.H., Vernychenko-Tsvetkov, D.Yu., Kovalenko M.S. et al. (2008). Ecological assessment of the state of surface waters of Ukraine taking into account regional hydrochemical features. Kyiv: UkrNDIEP [In Ukrainian].
10. Hrytsenko, A.V., Vasenko, O.H., Vernichenko H.A. et al. (2012). Methods of ecological assessment of surface water quality by relevant categories. Kharkiv: UkrNDIEP [In Ukrainian].
11. Rybalova, O.V. (2011). Complex approach to determining the ecological status of small river basins. *Problems of environmental protection and man-made safety*, XXXIII, 88–97 [In Ukrainian].
12. Mitryasova, O., Pohrebennyk, V., & Kardasz, P. (2018). Hydrochemical Aspects of Surface Water Quality Assessment. In *18th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2018*, Albena, Bulgaria. 30 June – 9 July 2018, 5.2. (18), 513–520.
13. Methods of ecological assessment of water bodies. Retrieved from <http://h.ua/atr.php?id=5722>.
14. European Communities WFD CIS Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). (2003). Guidance document № 10 River and lakes – Typology, reference conditions and classification systems. Luxembourg.
15. South Bug Basin Water Resources Management. Retrieved from <http://www.vodhoz.com.ua>
16. Reporting data on the state of the Southern Bug and the Bug estuary for 2002-2020. (2020). South Bug basin management of water resources in the Mykolayiv area. Mykolayiv.
17. Regional report on the state of the environment in the Mykolayiv area in 2020. (2020). The South-Bug basin management of water resources in the Mykolayiv area. Mykolayiv.

The article was received 05.11.2021 and was accepted after revision 23.02.2022

Мітрясова Олена Петрівна

доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри екології Чорноморського національного університету імені Петра Могили

Адреса робоча: 54003, Україна, м. Миколаїв, вул. 68 Десанників, 10

ORCID ID: 0000-0002-9107-4448 *e-mail*: eco-terra@ukr.net;

Погребенник Володимир Дмитрович

доктор технічних наук, професор, професор кафедри екологічної безпеки та природоохоронної діяльності НУ «Львівська політехніка»

Адреса робоча: 79013, Україна, м. Львів, вул. С. Бандери, 12

ORCID ID: 0000-0002-1491-2356

Шибанова Алла Миколаївна

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екологічної безпеки та природоохоронної діяльності НУ «Львівська політехніка»

Адреса робоча: 79013, Україна, м. Львів, вул. С. Бандери, 12

ORCID ID: 0000-0003-0364-7056 **e-mail:** ashybanova16@gmail.com

Джумеля Ельвіра Анатоліївна

доктор філософії, асистент кафедри програмного забезпечення НУ «Львівська політехніка»

Адреса робоча: 79013, Україна, м. Львів, вул. С. Бандери, 12

ORCID ID: 0000-0003-3146-8725 **e-mail:** elviradzhumelia@gmail.com

УДК 504.064.2

Antonina M. Savchenko, senior lecturer
ORCID ID: 0000-0001-8518-968X *e-mail*: asav2509@gmail.com

Tatiana M. Tkachenko, D.S., Professor
ORCID ID: 0000-0003-2105-5951 *e-mail*: tkachenkoknuba@gmail.com

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

IMPLEMENTATION OF EUROPEAN REGULATIONS OF GREEN BUILDING IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY OF UKRAINE

Abstract. *Construction is an example of anthropogenic activity that not only harms the environment, but often causes the destruction and even destruction of ecosystems. The threat is posed by all stages of construction from design and survey work to maintenance of the finished building and its disposal at the end of the housing cycle. By creating an additional environmental burden, the construction industry has a negative impact on human health. Instead of natural ecosystems, as a result of construction activities, urban areas are created – a zone of continuous development within the city or urban agglomeration. Whether the urban environment will be comfortable for a person or, on the contrary, a person will feel ecological discomfort depends on the work of architects, builders, and the quality of building materials. The ecological state of cities can be attributed to the global environmental problems of mankind. The desire to reduce the impact on the environment encourages the search for ways to improve, innovative methods, the latest technologies, safe for the environment and human health building materials. Current trends in the implementation of green building standards are promising for overcoming the environmental crisis of cities, and make it possible to reduce the impact of the construction industry on the environment. In order to accelerate the pace of implementation of aspects of "green building" it is necessary to implement European environmental standards in the legislation of Ukraine. The introduction of mandatory environmental certification of buildings at the legislative level (starting with new buildings) is one of the most important steps in this direction. The basis is the already popular and time-tested British international certification system BREEAM, the rating system for energy efficient and environmentally friendly buildings LEED (Leadership in Energy and Environmental Design, USA), or DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen, Germany).*

Key words: *green building; climate change; urban areas; implementation; adaptation*

А.М. Савченко, Т.М. Ткаченко

Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна

ІМПЛЕМЕНТАЦІЯ ЄВРОПЕЙСЬКИХ НОРМ ЗЕЛЕНОГО БУДІВНИЦТВА В БУДІВЕЛЬНУ ГАЛУЗЬ УКРАЇНИ

Анотація. *Будівельна діяльність є яскравим прикладом антропогенної діяльності, що не лише шкодить навколишньому природньому середовищу, а часто є причиною руйнування і навіть знищення екосистем. Загрозу несуть всі стадії будівництва від проведення проектно-пошукових робіт до*

обслуговування вже готової будівлі та її утилізації в кінці житлового циклу. Створюючи додаткове екологічне навантаження, будівельна галузь негативно впливає на здоров'я людей. Замість природних екосистем в результаті будівельної діяльності створюються урбанізовані території – зона суцільної забудови в межах території міста або міської агломерації. Екологічний стан міст можна віднести до глобальних екологічних проблем людства. Прагнення знизити вплив на екологію спонукає шукати шляхи удосконалення, інноваційні методи, новітні технології, безпечні для екології та здоров'я людей будівельні матеріали. Сучасні тенденції впровадження норм «зеленого будівництва» є перспективними для подолання екологічної кризи міст і дають змогу знизити вплив будівельної галузі на стан навколишнього середовища. Для прискорення темпу впровадження аспектів «зеленого будівництва» необхідно провести імплементацію європейських екологічних норм в законодавство України. Запровадження на законодавчому рівні обов'язкової екологічної сертифікації будівель (починаючи з новобудов) є одним із найважливіших кроків в цьому напрямку. За основу можна обрати вже популярні та перевірені часом британську систему міжнародної сертифікації BREEAM, або рейтингову систему для енергоефективних і екологічно чистих будівель LEED (Leadership in Energy and Environmental Design, США), або DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen, Німеччина).

Ключові слова: зелене будівництво; кліматичні зміни; урбанізовані території; імплементація; адаптація

DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.1.31-43>

Вступ

Глобальні екологічні зміни змушують задуматися про майбутнє людства. Сьогодні вже не тільки вчені, а й політичні діячі та кожна свідома людина замислюються про те, в якому стані буде планета через 20, 50, 100 років, що ми залишимо нащадкам? Концепція сталого розвитку набула першочергового значення після Конференції ООН в Ріо-де-Жанейро в 1992 р., коли вона була закріплена в Декларації [1]. Учасники конференції визнали, що лише об'єднання зусиль всіх держав дасть змогу зберегти нашу планету і життя на ній.

В 2019 році Верховна Рада України затвердила Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року, в яких визначено мету державної екологічної політики – досягнення доброго стану довкілля шляхом запровадження екосистемного підходу до всіх напрямів соціально-економічного розвитку України з метою забезпечення конституційного права кожного громадянина України на чисте та безпечне довкілля, впровадження збалансованого природокористування і збереження та відновлення природних екосистем. Запровадження міжнародних стандартів систем екологічного управління на підприємствах і в компаніях сприятиме розвитку системи управління навколишнім природним середовищем та реалізації в Україні міжнародних природоохоронних ініціатив [2].

Сьогодні будівельна галузь в Україні є одним з найбільших забруднювачів навколишнього середовища разом з промисловими підприємствами і транспортом. А тому питання мінімізації впливу будівельної галузі на навколишнє середовище є актуальним.

Постановка завдання. Метою дослідження є визначення шляхів мінімізації негативного впливу будівельної галузі на екологію населених пунктів.

Завдання дослідження:

- проаналізувати роль будівельної галузі в забрудненні навколишнього середовища;
- визначити важливість імплементації міжнародних екологічних норм в законодавство України;
- довести спроможність технологій зеленого будівництва сприяти мінімізації негативного впливу будівельної галузі на екологію населених пунктів.

Результати дослідження

Роль будівельної галузі в забрудненні навколишнього середовища.

Будівельна діяльність є яскравим прикладом антропогенної діяльності, що не лише шкодить навколишньому природному середовищу, а часто є причиною руйнування і навіть знищення екосистем. Загрозу несуть всі стадії будівництва від проведення проектно-пошукових робіт до обслуговування вже готової будівлі та її утилізації в кінці житлового циклу. Створюючи додаткове екологічне навантаження, будівельна галузь негативно впливає на здоров'я людей. Замість природних екосистем в результаті будівельної діяльності створюються урбанізовані території – зона суцільної забудови в межах території міста або міської агломерації. Від роботи архітекторів, будівельників, від якості будівельних матеріалів залежить, чи буде урбанізоване середовище комфортним для людини, чи навпаки людина буде відчувати екологічний дискомфорт.

Всі види впливу будівництва на навколишнє середовище можна класифікувати за наступними екологічними ознаками: вилучення з навколишнього середовища і привнесення в навколишнє середовище. Джерелами впливу на екосистеми при будівництві є: нові матеріальні об'єкти, що розміщуються на будівельному майданчику; елементи основної і допоміжної технологій, функціонування яких є причиною зміни ландшафтів і забруднення навколишнього середовища; об'єкти, життєвий цикл яких пов'язаний з будівництвом або експлуатацією в майбутньому. Всі перераховані дії впливають на стійкість екосистем і знижують якість навколишнього середовища або прямо, або побічно [4].

В місцях будівництва спостерігається високий рівень забруднення повітря, ґрунту, води, що часто призводить до знищення окремих видів рослин і навіть цілих угруповань. Знищення природних ландшафтів та заміна їх на штучні негативно впливає на біоту. Саме тому, надзвичайно актуальним є сьогодні, при проведенні будівельних робіт, облік і аналіз всіх видів антропогенного навантаження на навколишнє середовище, оцінка впливу та необхідних дій задля збереження і підтримки екологічної рівноваги в населених пунктах.

Згідно з ДСТУ ISO-14040–14043 сучасне будівництво розглянуто як ланцюг складних етапів: видобування сировини (1) → виробництво матеріалів (2) → проектування (3) → підготовка будівельного майданчика (4) → будівництво (5) → експлуатація готового об'єкта (6) → рециркулювання (7) → утилізація (8). Практично на кожному етапі будівництва можна знизити його екологічну небезпеку шляхом впровадження «зелених технологій» (рис. 1) [22].

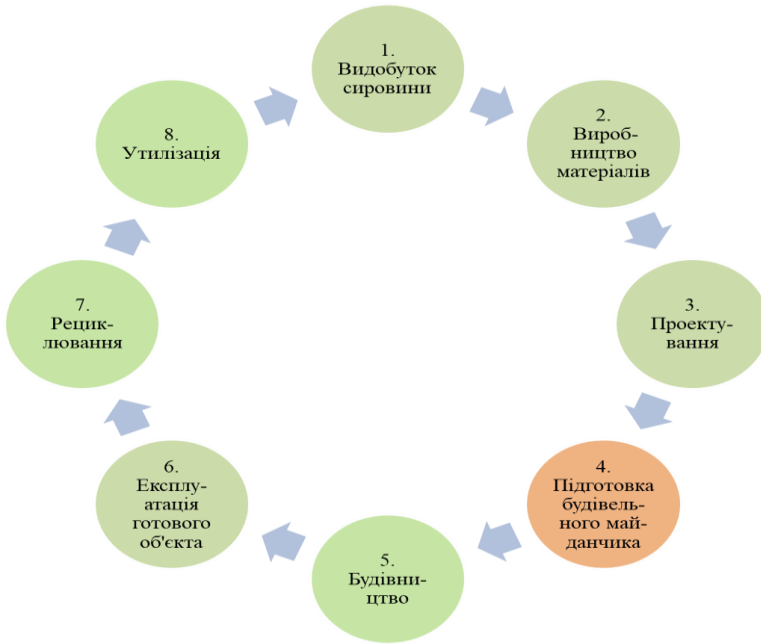


Рис. 1. Ланцюг етапів будівництва

Якщо розглядати різні етапи будівництва, то найбільшими джерелами забруднення природного середовища є буропідривні роботи, вихлопні гази автотранспортних засобів та іншої будівельної техніки з двигунами внутрішнього згорання, вирубка лісових насаджень, руйнування ґрунтового шару при ритті котлованів і траншей, розпилення цементу, вапняку, фарбових аерозолів, утворення сміттєзвалищ з будівельних відходів, спалювання відходів та залишків будівельних матеріалів, використання шкідливих матеріалів при будівництві. Особливу групу антропогенних впливів, пов'язаних з будівництвом, викликають аеродинамічні порушення, збурення, температурні впливи тощо. Після завершення будівництва високих будівель та споруд аеродинамічні характеристики будівельного майданчика різко змінюються. Утворюються вихороподібні атмосферні потоки величезної сили, які спроможні у деяких випадках пошкоджувати скляні конструкції, обмурівку будівлі тощо. На прилеглих до будівельних споруд територіях у зимовий період утворюються значні снігові заноси, які здатні створювати дискомфортні умови для пішоходів. Чим вищі наземні будівельні споруди, тим менш вони обтічні, і тим більш несприятливий режим аерації та вищі приземні концентрації забруднювальних речовин [7].

Як зазначають провідні експерти, у процесі оцінки впливу будівництва на людей та навколишнє середовище «слід обов'язково враховувати фактор часу, використовуючи при цьому метод дисконтування вигод і витрат, оскільки одне рішення може призвести до отримання швидкої вигоди сьогодні у процесі будівництва житла, проте створити значні витрати в майбутньому, пов'язані із забрудненням та руйнуванням навколишнього середовища, погіршенням здоров'я населення. Або ж навпаки, не приносячи ніякої вигоди сьогодні, забезпечити значну вигоду в майбутньому» [8, 9, 10, 21].

Важливість імплементації міжнародних екологічних норм в законодавство України. Сьогодні основні реформи у сфері довкілля в Україні націлені, головним чином, на виконання екологічної складової Угоди про асоціацію між Україною та ЄС. Угода вже ратифікована усіма державами-членами ЄС, тому із 1 вересня 2017 року застосовується повністю, а не в тимчасовому режимі, як це було одразу після її підписання. Часто причиною невирішення тої чи іншої проблеми є не відсутність законодавства, а власне труднощі в імплементації існуючих правил, зокрема, недостатня увага встановленим термінам виконання та повнота реалізації, відсутність необхідних знань, адміністративних можливостей, слабка політика та практика щодо правозастосування на місцевому та регіональному рівні, недостатні інвестиції в необхідну інфраструктуру [18].

Імплементація міжнародно-правових актів у національне законодавство відіграє визначальну роль для належної та ефективної дії норм міжнародного права незалежно від сфери регулювання. Саме завдяки імплементації міжнародні договори мають змогу якісно реалізуватися у будь-якій національній системі законодавства. Варто пам'ятати, що більшість юристів-міжнародників визнають дію норм міжнародного права ефективною лише тоді, коли вона спирається на національні правові системи [17].

Водночас слід пам'ятати, що створення законодавства має слугувати населенню держави і планети. Адже, лише коли кожна людина розумітиме важливість і власну вигоду від запровадження екологічних норм, це дасть бажаний результат. Україна не є першоходом, у нас є можливість використовувати кращий досвід європейських держав і не допускати помилок. Зокрема, при імплементації екологічних норм слід врахувати дослідження, проведені в державах ЄС, які свідчать, що найбільшого ефекту можна досягти, забезпечуючи більше фінансових стимулів для бізнесу, промисловості і громадян, які охороняють довкілля, та впроваджуючи більш високі штрафні санкції для правопорушників в сфері екології [19]. Для сфери будівництва стимулювання застосовувати норми «зеленого будівництва», проведення сертифікації будівель і споруд, штрафи порушникам – це правильний підхід, що дасть результати в найближчі 10 років.

Поступове наближення законодавства України до права та політики ЄС у сфері охорони навколишнього природного середовища здійснюється відповідно до Додатка ХХХ, що включає 29 екологічних директив та регламентів, які Україна зобов'язана імплементувати у 8 тематичних сферах. Зокрема, виділено управління довкіллям та інтеграція екологічної політики в інші галузеві політики; якість атмосферного повітря; управління відходами та ресурсами; якість води та управління водними ресурсами, включаючи морське середовище; охорона природи; промислове забруднення та техногенні загрози; зміна клімату та захист озонового шару; генетично модифіковані організми. Крім того, у Додатку ХХХІ наведено зобов'язання сторін щодо кліматичної політики в контексті імплементації київських механізмів, розробку плану стосовно пом'якшення змін клімату та адаптації до них, запровадження довгострокових заходів, спрямованих на скорочення викидів парникових газів.

Додатком ХХХ до Глави 6 «Навколишнє середовище» Угоди України з ЄС передбачено графік виконання імплементації українського законодавства до європейських стандартів. Зокрема, проекти, зазначені у Додатку І, відповідно до вимог підлягають оцінці впливу на навколишнє середовище. Водночас

проекти, зазначені у Додатку II, потребують процедури визначення ОВНС (ст.4) згідно з Директивою № 2001/42/ЄС про оцінку впливу окремих планів та програм на навколишнє середовище. Передбачено процедури встановлення вимог до планів та програм, для яких стратегічна екологічна оцінка є обов'язковою (ст.3) і має бути впроваджена протягом 3 років з дати набрання чинності Угодою. При цьому, згідно з Директивою № 2003/4/ЄС про доступ громадськості до екологічної інформації, графік впровадження регламентовано на 2 роки [23].

Підписавши Угоду, Україна взяла на себе зобов'язання, які має виконувати в строки, обумовлені угодою. Те, що Україна не є членом ЄС, створює ситуацію, при якій ми постійно знаходимося в процесі наздоганяння, і лише прискорення темпів імплементації міжнародних екологічних норм дасть змогу нашій державі крокувати в одну ногу з європейськими державами в напрямку сталого розвитку. Адаптація законодавства України в сфері екології направлена на досягнення Цілей сталого розвитку, а не лише ототожнення з європейськими екологічними нормами і має враховувати національні особливості природного середовища. Крім того, слід виховувати відповідальну свідомість у населення, посадових осіб держави. Для цього і потрібні чіткі нормативні акти з високими аргументованими штрафними санкціями за екологічні правопорушення та водночас система заохочень для екологічно відповідальних підприємств.

Виконуючи вимоги Угоди, дотримуючись графіка, 23 травня 2017 року прийнято Закон України «Про оцінку впливу на довкілля». А через рік (20 березня 2018 року) прийнято Закон України «Про стратегічну екологічну оцінку». З метою забезпечення виконання Угоди про асоціацію між Україною та ЄС 31 травня 2017 року Кабінет Міністрів України прийняв постанову № 447 щодо проведення планування, моніторингу та оцінки результативності виконання Угоди про асоціацію між Україною та ЄС задля забезпечення безперервності процесу виконання зобов'язань України протягом всього періоду дії згаданої Угоди, доступності інформації про її виконання [24].

Нині в Україні уже діє Закон України «Про засади моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів» від 12 грудня 2019 р. № 377-ІХ, який є одним із нормативних актів, прийнятих в рамках імплементації законодавства [25]. Цей Закон визначає правові та організаційні засади моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів та спрямований на виконання зобов'язань України за міжнародними договорами.

У період з 2017 по 2022 р. в Україні проведена величезна законодавча робота в напрямку імплементації та адаптації законодавства нашої держави до європейських стандартів. Поряд з введенням нових законів вносилися зміни та доповнення до вже існуючих. Серед нормативно-правових актів, що стосуються будівельної галузі, Закони України: «Про регулювання містобудівної документації» від 23.05.2017 р., «Про енергетичну ефективність будівель» 2118-VIII, «Про доступ до об'єктів будівництва, транспорту, електроенергетики з метою розвитку телекомунікаційних мереж» від 7 лютого 2017 року № 1834-VIII; Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України «Про затвердження Порядку розроблення проектної документації на будівництво об'єктів» № 0651-11; Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України «Про затвердження Методичних рекомендацій із здійснення стратегічної екологічної оцінки документів державного планування» № 296 від

10 Серпня 2018 року, а також ДБН В.1.2-14:2018 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд»; ДБН В.2.2-9:2018 «Громадські будинки та споруди. Основні положення» та ін.

Одним з найважливіших кроків є імплементація директиви 2010/75/ЄС «Про промислові викиди» (інтегроване запобігання та контроль забруднення), що забезпечить системний захист українських громадян від наслідків промислового забруднення довкілля. Кабінет Міністрів України 23 вересня 2020 року ухвалив законопроект «Про запобігання, зменшення та контроль промислового забруднення». Проект розроблено Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів України з метою забезпечення імплементації положень директиви 2010/75/ЄС «Про промислові викиди» (інтегроване запобігання та контроль забруднення) та виконання умов Угоди про асоціацію з ЄС [26]. Законопроект передбачає впровадження інтегрованого дозволу для великих підприємств, які є найбільшими забруднювачами довкілля. Це, зокрема, підприємства у сфері енергетики, виробництва та обробки металів, переробки, мінеральної сировини, хімічної промисловості тощо. Інтегрований дозвіл встановлюватиме вимоги до обсягів забруднення та необхідних заходів для зменшення впливу підприємств на довкілля. Однак, проект не отримав підтримки у Верховній Раді і був відправлений на доопрацювання в профільний комітет.

Спроможність технологій зеленого будівництва сприяти мінімізації негативного впливу будівельної галузі на екологію населених пунктів. Резолюція Генеральної Асамблеї ООН «Перетворення нашого світу: Порядок денний в області сталого розвитку на період до 2030 року» (Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development) включає 17 Глобальних цілей (Цілі сталого розвитку – ЦСР), яким відповідають 169 завдань, спрямованих на життєстійкий розвиток планети, захист довкілля, подолання бідності та забезпечення загального процвітання [5].

Всесвітня рада зеленого будівництва (WorldGBC), створена в 2002 році, підтримує Цілі ООН зі сталого розвитку, які вказують шляхи економічного зростання з урахуванням проблеми глобальних кліматичних змін під гаслом «сприяти процвітання, захищаючи планету». Міжнародний досвід у багатьох країнах світу переконливо свідчить про те, що зелене будівництво сприяє досягненню Цілей сталого розвитку і виступає у ролі каталізатора для вирішення деяких найбільш актуальних світових проблем [6].

Глобальний проект Всесвітньої ради зеленого будівництва «Кращі місця для людей» зосереджено на створенні світу, в якому будівлі не тільки корисні для навколишнього середовища, але й підтримують здорове, щасливе та продуктивніше життя людей. Внаслідок зменшення викидів від будівель, знижується рівень забруднення та покращується якість повітря у містах, що позитивно впливає на здоров'я населення та кліматичні зміни [3].

«Зелене будівництво» передбачає різні напрямки діяльності: розробка зелених стандартів, використання нових технологій, архітектурно-будівельні роботи тощо (рис. 2) [22].

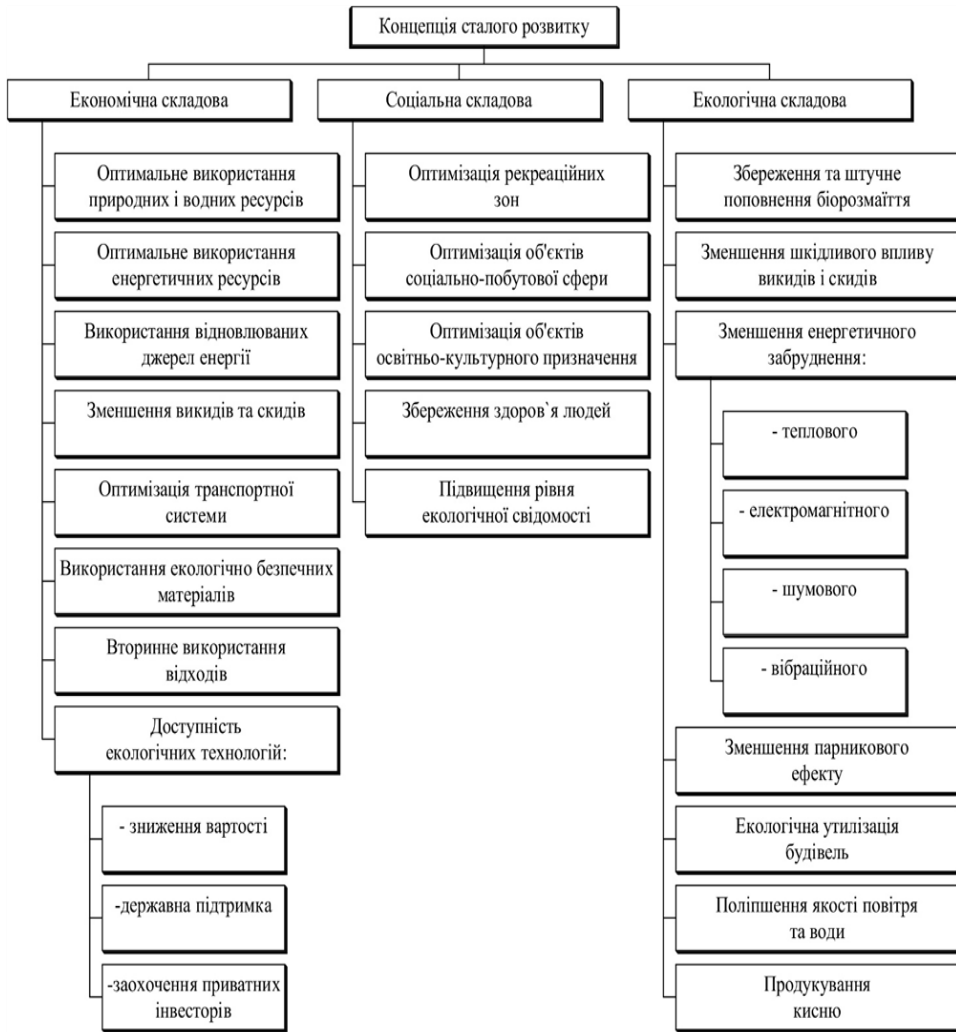


Рис. 2. Роль «зеленого будівництва» в концепції сталого розвитку сучасних міст

Важливо зазначити, що основними принципами «зеленого будівництва» є:

- використання комплексного системного підходу до вирішення економічних, соціальних та екологічних завдань, що виникають в ході проектування;
- забезпечення енергоефективності систем та обладнання об'єкта і оптимізації параметрів мікроклімату в приміщеннях, а також технічної можливості їх регулювання;
- розробка в ході проектування оптимальних технічних рішень стосовно до технологічних процесів в будівлі (наприклад, вентиляції, теплопостачання, водоспоживання, водовідведення) з метою економії відповідних ресурсів, а також використання для цього прогресивних технічних систем і пристроїв;
- мінімізація відходів виробництва і споживання в ході будівництва і експлуатації будівлі, використання екологічно безпечних сертифікованих матеріалів і обладнання та забезпечення високого рівня благоустрою території, прилеглої до об'єкта;

- оптимізація процесу відведення зливових стічних вод з ділянки, на якій розташований об'єкт, а також обґрунтований вибір місця будівництва об'єкта з урахуванням сформованої екологічної обстановки поблизу об'єкта [20].

Дані принципи повністю відповідають цілям сталого розвитку. Використовуючи принципи зеленого будівництва при містобудуванні, буде забезпечено безпечні і сприятливі умови для життєдіяльності людини та водночас мінімізація негативного впливу від господарської (будівельної, промислової...) діяльності на навколишнє середовище, охорона і раціональне використання природних ресурсів.

Нині є багато досліджень, які свідчать, що критерії комфорту та якості зелених будівель позитивно впливають на здоров'я та добробут людей [12, 13, 14, 15, 16].

Сучасні технології «зеленого будівництва» базуються на інноваціях. У свою чергу, бажання забезпечити комфорт людині і при цьому зберегти оточуюче природне середовище для майбутніх поколінь спонукає до пошуку нових ідей, створення нових технологій в будівництві на всіх його етапах. Використання теплоізоляції, рекуператорів, герметизація вікон, використання сонячної енергії не лише для освітлення приміщень вдень, але і для обігріву, використання економічних енергозберігаючих приладів, використання природних безпечних матеріалів, комп'ютеризація використання води, світла, сортування та переробка відходів – це лише невеликий перелік засобів, які використовують при «зеленому будівництві».

Результати досліджень показують, що зелені будівлі, які отримують сертифікацію LEED у США та інших країнах, споживають на 25% менше енергії та на 11% менше води, ніж звичайні будівлі. Доведено, що зелені будівлі, які отримують сертифікат GreenStar в Австралії, продукують на 62% менше викидів парникових газів, ніж звичайні австралійські будівлі, і на 51% використовують менше питної води, ніж якби вони були побудовані з урахуванням мінімальних вимог галузі [11]. Лідерами в застосуванні зелених технологій в будівництві є Німеччина, Швеція, Фінляндія, Польща.

Висновки

Впровадження інноваційних технологій «зеленого будівництва» дозволяє не тільки економити енергію, воду, ресурси та зменшувати викиди вуглецю, але й поширювати прогресивні знання, створювати нові робочі місця, зміцнювати громади, покращувати здоров'я та добробут та багато іншого [3]. Для прискорення темпу впровадження аспектів «зеленого будівництва» необхідно провести імплементацію європейських екологічних норм в законодавство України. Запровадження на законодавчому рівні обов'язкової екологічної сертифікації будівель (починаючи з новобудов) є одним із найважливіших кроків в цьому напрямку. За основу можна обрати вже популярні та перевірені часом британську систему міжнародної сертифікації BREEAM, або рейтингову систему для енергоефективних і екологічно чистих будівель LEED (Leadership in Energy and Environmental Design, США), або аспекти сталого будівництва DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen, Німеччина). Звичайно ж, Україна може розробити і власну систему оцінювання, скориставшись передовим світовим досвідом. Однак, без впровадження

обов'язкової сертифікації за критеріями: екологічний менеджмент, енергоефективність, вода, безпечне середовище (освітлення, шумоізоляція, вентиляція), відходи (рециклізація та екологічна утилізація), транспорт, землекористування, неможливо досягти зниження впливу будівельної галузі на екологію населених пунктів.



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Декларація Ріо-де-Жанейро щодо навколишнього середовища та розвитку [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_455#Text. – Назва з екрана. – Дата перегляду 10.11.2021.
2. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text>. – Назва з екрана. – Дата перегляду 10.11.2021.
3. Кривомаз Т.І., Савченко А.М. Зменшення впливу будівельної галузі на зміну клімату шляхом впровадження принципів екологічної забудови. Екологічна безпека та природокористування. (2021) № 37 (1) 55–68.
4. Торкатюк В.І., Вайнберг О.І., Бутнік С.В. Особливості впливу будівництва на навколишнє середовище. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://eprints.kname.edu.ua/29265/1/23.pdf> – Назва з екрана. – Дата перегляду 12.11.2021.
5. UN's Sustainable Development Goals (SDGs) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals. – Назва з екрана. – Дата перегляду: 12.11.2021.
6. World Green Building Council (WGBC) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.worldgbc.org. – Назва з екрана. – Дата перегляду: 10.01.2022.
7. Вплив будівництва на довкілля [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://pidru4niki.com/70557/ekologiya/vpliv_budivnitstva_dovkillya. – Назва з екрана. – Дата перегляду: 13.11.2021.
8. Толбатов А.В. Научное окружение современного человека: Экономика, Менеджмент, Медицина и фармацевтика, Химия, Биология, Сельское хозяйство, География и Геология: монография / [авт.кол. : Львович И.Я., Орлов Н.М., Преображенский А.П., Толбатов А.В., Чопоров О.Н. и др.]. – Одесса: КУПРИЕНКО СВ, 2018 – 175 с.
9. Толбатов В.А. Научное окружение современного человека: Техника и технологии: монография / [авт.кол. : И.Я. Львович, А.П. Преображенский, В.А. Толбатов, И.Ф. Червоний, О.Н. Чопоров и др.]. – Одесса: КУПРИЕНКО СВ, 2018 – 181 с.
10. Толбатов А.В. Инновационная наука, образование, производство и транспорт: Техника и технологии: монография / [авт.кол. : Верховлюк А.М., Иванова Т.Н., Копей Б.В., Толбатов В.А., Толбатов А.В. и др.]. – Одесса: КУПРИЕНКО СВ, 2018 – 223 с.: ил., табл. – (Серия «Инновационная наука, образование, производство и транспорт»; №1). ISBN 978-617-7414-51-2.
11. The benefits of green buildings. URL: <https://www.worldgbc.org/benefits-green-buildings> (дата звернення: 20.11.2021).
12. Better Places for People is WorldGBC's global project to support GBCs [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.worldgbc.org/better-places-people. – Назва з екрана. – Дата перегляду: 10.01.2022.

13. C40 Cities [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.c40.org. – Назва з екрана. – Дата перегляду: 10.01.2022.
14. Green Building Council of Australia (GBCA) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: new.gbca.org.au. – Назва з екрана. – Дата перегляду: 04.01.2022.
15. Houghton A. Analysis of correlations between neighborhood-level vulnerability to climate change and protective green building design strategies: A spatial and ecological analysis / A. Houghton, C. Castillo-Salgado // *Building and Environment*. – Vol. 168. – 106523 [PMC free article].
16. International Labour Organisation (ILO) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.ilo.org. – Назва з екрана. – Дата перегляду: 12.12.2021.
17. Шпарик Н.Я. Проблеми імплементації міжнародно-правових актів у екологічне законодавство України. *Право і суспільство* (2014) №4. 124–130.
18. Імплементация екологічних зобов'язань в умовах дерегуляції в Європейському Союзі. Досвід кращих практик для України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: webenvironmentalimplementation2018ua.pdf – Назва з екрана. – Дата перегляду: 11.01.2022.
19. Eurobarometer, 2014 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_14_2702 – Назва з екрана. – Дата перегляду: 11.01.2022.
20. Термін зелене будівництво має на увазі. Що таке "зелена архітектура". Проектування, підготовка і забудова земельної ділянки. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://sbk03.ru/uk/termin-zelenoe-stroitelstvo-podrazumevaet-cto-takoe-zelenaya-arhitektura/> – Назва з екрана. – Дата перегляду: 11.01.2022.
21. P. M. Kulikov, N. Y. Zhuravska, A. M. Savchenko. Modern Possibilities of Management of Technogenic-Natural Systems of Heat-Energy Objects of Industrial and Construction Industry. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42939-3_13
22. Науково-методологічні основи підвищення рівня екологічної безпеки урбоценозів шляхом створення енергоефективних технологій "зеленого" будівництва: автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 21.06.01 / Ткаченко Тетяна Миколаївна ; Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури. – Київ, 2018. – 40 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?Z21ID=&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&S21STN=1&S21REF=10&S21FMT=fullweb&C21COM=S&S21CNR=20&S21P01=0&S21P02=0&S21P03=A=&S21COLORTERMS=1&S21STR=%D0%A2%D0%BA%D0%B0%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE%20%D0%A2\\$](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?Z21ID=&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&S21STN=1&S21REF=10&S21FMT=fullweb&C21COM=S&S21CNR=20&S21P01=0&S21P02=0&S21P03=A=&S21COLORTERMS=1&S21STR=%D0%A2%D0%BA%D0%B0%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE%20%D0%A2$) – Дата перегляду: 24.01.2022.
23. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом і його державами-членами, з іншої сторони. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.kmu.gov.ua/docs/Agreement/AA_Body_text.pdf Дата доступу: 24.01.2022.
24. Савченко А.М. Імплементация екологічних стандартів ЄС в законодавчу базу України як технологія захисту довкілля. Збірник матеріалів I Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю «Екологія. Довкілля. Енергозбереження» присвячена 90-річчю Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». Полтава, НУПП, 3–4 грудня 2020 р. ст. 210-213.
25. Закон України «Про засади моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів» від 12 грудня 2019 р. № 377-IX // *Відомості Верховної Ради України*, 2020, № 22, ст.150.
26. Законопроект «Про запобігання, зменшення та контроль промислового забруднення» – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.kmu.gov.ua/news/uryad-shvaliv-zakonoproekt-pro-zapobigannya-zmenschennya-ta-kontrol-promislovogo-zabrudnennya> Дата доступу: 24.01.2022.

Стаття надійшла до редакції 25.10.2021 і прийнята до друку після рецензування 18.01.2022

REFERENCES

1. Rio Declaration on Environment and Development. Retrieved 10.11.2021 from: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_455#Text.
2. About the Basic principles (strategy) of the state ecological policy of Ukraine for the period till 2030. Retrieved 10.11.2021 from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text>.
3. Kryvomaz T. I., & Savchenko, A. M. (2021). The reducing of construction industry influence on climate change by implementation of green building principles. *Environmental Safety and Natural Resources*, 37(1), 55–68 [In Ukrainian]. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2021.1.55-68>.
4. Torkatyuk, V.I., Weinberg, O.I., & Butnik, S.V. Features of the impact of construction on the environment. Retrieved 12.11.2021 from: <http://eprints.kname.edu.ua/29265/1/23.pdf> [In Ukrainian].
5. UN's Sustainable Development Goals (SDGs). Retrieved 12.11.2021 from: www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals.
6. World Green Building Council (WGBC). Retrieved 12.11.2021 from: www.worldgbc.org.
7. Impact of construction on the environment Retrieved 13.11.2021 from: https://pidru4niki.com/70557/ekologiya/vpliv_budivnitstva_dovkilliya.
8. Tolbatov, A.V., Lvovich, I.Ya., Orlov, N.M., Preobrazhensky, A.P., Choporov, O.N. et al. (2018). Scientific environment of modern man: Economics, Management, Medicine and Pharmacy, Chemistry, Biology, Agriculture, Geography and Geology: monograph. Odessa: Kuprienko SV [In Russian].
9. Tolbatov, V.A., Lvovich, I.Y., Preobrazhensky, A.P., Chervony, I.F., Choporov, O.N. et al. (2018). Scientific environment of modern man: Technique and technology: monograph. Odessa: Kuprienko SV [In Russian].
10. Tolbatov, A.V., Verkhovlyuk, A.M., Ivanova, T.N., Kopey, B.V., Tolbatov, V.A. et al. (2018). Innovative science, education, production and transport: Engineering and technology: monograph. Odessa: Kuprienko SV [In Russian].
11. The benefits of green buildings. Retrieved 20.11.2021 from <https://www.worldgbc.org/benefits-green-buildings>.
12. Better Places for People is WorldGBC's global project to support GBCs. Retrieved 10.01.2022 from www.worldgbc.org/better-places-people.
13. C40 Cities. Retrieved 10.01.2022 from www.c40.org.
14. Green Building Council of Australia (GBCA). Retrieved 04.01.2022 from new.gbca.org.au.
15. Houghton, A., & Castillo-Salgado, C. Analysis of correlations between neighborhood-level vulnerability to climate change and protective green building design strategies: A spatial and ecological analysis. *Building and Environment*, 168, 106523 [PMC free article].
16. International Labour Organisation (ILO). Retrieved 12.12.2021. from www.ilo.org.
17. Shparik, N.Ya. (2014). Problems of implementation of international legal acts in the ecological legislation of Ukraine. *Law and Society*, 4, 124-130 [In Ukrainian].
18. Implementation of environmental commitments under deregulation in the European Union. Experience of best practices for Ukraine. Retrieved 11.01.2022 from: webenvironmentalimplementation2018ua.pdf.
19. Eurobarometer, 2014. Retrieved 11.01.2022. from: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_14_2702.
20. The term green building is meant. What is "green architecture". Design, preparation and construction of land. Retrieved 11.01.2022. from: <https://sbk03.ru/uk/termin-zelenoe-stroitelstvo-podrazumevaet-cto-takoe-zelenaya-arhitektura/>.
21. Kulikov, P.M., Zhuravska, N.Y., & Savchenko, A.M. (2020). Modern Possibilities of Management of Technogenic-Natural Systems of Heat-Energy Objects of Industrial and Construction Industry. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42939-3_13.

22. Tkachenko, T. M. (2018). Scientific and methodological bases of increasing the level of ecological safety of urban coenoses by creating energy-efficient technologies of "green" construction (Doctoral dissertation, Kyiv. nat. University of Construction and Architecture) [Abstract]. Retrieved January 24, 2022, from [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?Z21ID=&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&S21STN=1&S21REF=10&S21FMT=fullwebr&C21COM=S&S21CNR=20&S21P01=0&S21P02=0&S21P03=A=&S21COLORTERMS=1&S21STR=%D0%A2%D0%BA%D0%B0%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE%20%D0%A2\\$](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?Z21ID=&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&S21STN=1&S21REF=10&S21FMT=fullwebr&C21COM=S&S21CNR=20&S21P01=0&S21P02=0&S21P03=A=&S21COLORTERMS=1&S21STR=%D0%A2%D0%BA%D0%B0%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE%20%D0%A2$) [In Ukrainian].
23. Association Agreement between Ukraine, of the one part, and the European Union and its Member States, of the other part. Retrieved 24.01.2022. from: http://www.kmu.gov.ua/docs/Agreement/AA_Body_text.pdf.
24. Savchenko, A. M. (2020). Implementation of EU environmental standards in the legal framework of Ukraine as an environmental protection technology. In *First All-Ukrainian Scientific and Practical Conference with International Participation "Ecology. Environment. Energy Saving" dedicated to the 90th anniversary of the National University "Poltava Polytechnic named after Yuri Kondratyuk"* (pp. 210-213) Poltava: NUPP [In Ukrainian].
25. Law of Ukraine "On Principles of Monitoring, Reporting and Verification of Greenhouse Gas Emissions" of December 12, 2019. № 377-IX. Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine, 2020, № 22, p.150.
26. Draft Law "On Prevention, Reduction and Control of Industrial Pollution" Retrieved 24.01.2022 from: <https://www.kmu.gov.ua/news/uryad-shvaliv-zakonoproekt-pro-zapobigannya-zmshennya-ta-kontrol-promislovogo-zabrudnennya>.

The article was received 25.10.2021 and was accepted after revision 18.01.2022

Савченко Антоніна Михайлівна

старший викладач кафедри охорони праці та навколишнього середовища Київського національного університету будівництва і архітектури

Адреса робоча: 03037 Україна, м. Київ, проспект Повітрофлотський, 31

ORCID ID: 0000-0001-8518-968X **e-mail:** asav2509@gmail.com

Ткаченко Тетяна Миколаївна

доктор технічних наук, професор, професор кафедри охорони праці та навколишнього середовища Київського національного університету будівництва і архітектури

Адреса робоча: 03037, Україна, м. Київ, Повітрофлотський просп., 31

ORCID ID 0000-0003-2105-5951 **e-mail:** tkachenkoknuba@gmail.com

ОСНОВИ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ТА ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА NATURAL RESOURCES AND CIVIL SAFETY

УДК 662.74

Vasyl A. Kravets, DSc., Professor

ORCID ID 0000-0003-2099-9467 *e-mail*: v.a.kravets@donnaba.edu.ua.

Victoria M. Mikheyenko, PhD, Associate Professor

ORCID ID 0000-0001-7685-2507 *e-mail*: v.m.mikheenko@donnaba.edu.ua

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Kramatorsk, Ukraine

DEVELOPMENT OF SOLID WASTE UTILIZATION TECHNOLOGY IN COKE FURNACES

Abstract. *In industrial centers with coke oven and by-product production, it is advisable to use existing coke ovens for the processing of the organic part of waste. At the same time, sanitary and environmental problems are solved, and the load of production capacities of the coke oven and by-chemical industry is ensured in a crisis. The target of the work is to develop the basics of technology for the use of plastic waste and coke dust in the coke oven process. In laboratory conditions, two variants of the technology of briquetting coke dust with plastic from household waste were developed. In the first version, briquettes were produced by singling a mixture of coke dust with crushed PET bottles, polystyrene and PCB products and polyethylene films at a temperature of about 220 °C. But the briquettes obtained by this method were mechanically not durable, which did not provide requirements for transportation on the conveyor. In the second version, briquettes were produced by cold pressing a mixture of coke dust with withering plastic solution in coke solvent. Such briquettes turned out to be mechanically durable, they were made about 5 kg, and industrial coking was carried out by the use of the be agree method by loading into the third hatch of the battery No. 2 of the Makeevka Coke and Chemical Plant. Coke obtained as a result of an industrial experiment of coke from the charge with the addition of briquettes was investigated according to standard methods. It was established that prior to giving 3–5% of briquettes in the coke hate, coke is possible to obtain an economical effect due to coal savings.*

Keywords: *solid household waste; coke production; coking charge; coke quality*

© В.А. Кравець, В.М. Міхеєнко, 2022

В.А. Кравець, В.М. Міхєєнко

Донбаська національна академія будівництва і архітектури, м. Краматорськ, Україна

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ ТВЕРДИХ ВІДХОДІВ У КОКСОВИХ ПЕЧАХ

***Анотація.** У промислових центрах, що мають коксохімічне виробництво, доцільно використовувати існуючі коксові печі для переробки органічної частини ТПВ. При цьому вирішуються санітарні та екологічні проблеми і забезпечується звантаження виробничих потужностей коксохімічної галузі в умовах кризи. Метою роботи є розробка основ технології з використання в коксовому процесі брикетів на основі відходів пластику і коксового пилу. В лабораторних умовах були опробовані два варіанти технології брикетування коксового пилу з пластиком з побутових відходів. У першому варіанті брикети вироблялися шляхом спікання суміші коксового пилу з подрібленими ПЕТ пляшками, виробами з полістиролу та ПХВ і поліетиленовими плівками при температурі близько 220 °С. Але брикети, отримані цим методом, виявилися механічно не міцні, що не забезпечувало вимоги до транспортування і пересипок на конвеєрі. У другому варіанті брикети вироблялися методом холодного пресування суміші коксового пилу з в'язким розчином пластику у коксовому сольвенті. Такі брикети виявилися механічно міцними, їх виготовили близько 5 кг, і було проведено промислове коксування ящичним методом шляхом звантаження у третій люк батареї №2 Макіївського коксохімічного заводу. Отриманий в результаті промислового експерименту кокс з шихти з додаванням брикетів був досліджений за стандартними методиками. Виконувався технічний аналіз коксу на зольність, вміст сірки і вихід летючих. Додатково визначалася реакційна здатність і гаряча міцність CRS. Дослідження коксу виконувалося в заводській лабораторії Макіївського коксохімічного заводу. Встановлено, що додавання 3–5% брикетів в шихту для коксування забезпечує отримання коксу прийнятної якості. Можливе отримання економічного ефекту за рахунок економії вугілля. Таким чином, цей технологічний напрям є перспективним і доцільні подальші дослідження для удосконалення технології брикетування полімерів з коксовим пилом, подачі полімерів у шихту і режимів коксування.*

***Ключові слова:** тверді побутові відходи; коксохімічне виробництво; шихта для коксування; якість коксу*

DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.1.44-55>

Вступ

Мета роботи – розробка технології утилізації полімерних відходів у коксових печах.

Проблема. Проблема твердих побутових відходів (ТПВ) в даний час є актуальною для великих промислових центрів. Найбільш перспективним напрямком її вирішення вважається сортування сміття з утилізацією корисних компонентів. Але на цьому шляху є серйозні перешкоди. Перш за все, необхідна мережа підприємств для переробки вторинної сировини з відсортованого сміття. Крім того, необхідно переконати населення в необхідності спорудження сортувальних станцій, що часто викликає протести мешканців районів, прилеглих до території, де проєктуються станції.

З іншого боку, в багатьох промислових регіонах розташовані коксохімічні підприємства, які могли б утилізувати органічну частину ТПВ.

Українську коксохімію вразила економічна криза, що має такі характерні риси.

1. Криза в металургії носить глобальний характер і, отже, буде тривалою. Українська металургія не витримає конкуренції на зовнішніх ринках з китайськими і російськими підприємствами. Після різкого падіння виробництво металу ніколи не повернеться до докризового рівня.

2. Знизився попит на кокс, який є основною продукцією коксохімічних заводів. Виникає проблема завантаження наявних потужностей і збереження кадрів.

3. Одним з можливих рішень є переорієнтація коксохімії на переробку ТПВ. Можливі наступні напрямки переорієнтації галузі.

1. Кокс перестає бути головним продуктом, все більшого значення набувають хімічні продукти коксування, які затребувані на внутрішньому ринку. Необхідно змінювати склад шихти і режим коксування таким чином, щоб забезпечити підвищений вихід коксового газу і бензолних вуглеводнів.

2. Додаток ТПВ в шихту вирішує санітарні проблеми міст, забезпечить використання існуючих коксових печей і отримання цінних хімічних продуктів коксування без істотних змін технології і капітальних витрат.

3. У структурі витрат на виробництво коксу близько 80% становить вартість вугільної шихти. У зв'язку з витратами на видобуток вугілля, що збільшуються, і дефіцитом коксового вугілля ця частка буде зростати. Додаток ТПВ розширює сировинну базу коксування за рахунок дешевих відходів.

Коксохімічна промисловість потенційно здатна вирішити проблему накопичення відходів в Україні. Їх можна утилізувати шляхом спільного безкисневого піролізу з вугільною шихтою, використовуючи їх в якості добавки до шихти. При цьому відбувається суттєва економія вугілля, що є доцільним з урахуванням фактів про видобуток, запаси, ціни на вугілля, стан шахтного фонду України. Однак реалізація подібної технології вимагає збереження якості виробленого коксу і мінімізації емісії повітряних забруднювачів у порівнянні зі звичайним спалюванням на сміттєспалювальних заводах (ССЗ).

Проблема утилізації ТПВ вирішується найбільш важко, оскільки вони є вкрай нестабільною і неконтрольованою сумішшю паперу, картону, харчових залишків, пластмаси, гуми, скла, будівельного сміття, металу, батарейок. На відміну від розвинених країн, в Україні практично відсутнє попереднє сортування ТПВ населенням і комунальними службами, про що повсюдно забувають прихильники будівництва ССЗ західноєвропейського зразка в Україні.

На думку авторів [1], проблема вуглецевих ТПВ може бути ефективно вирішена на базі дуже розвинутої в Україні коксохімічної промисловості. Майже половина населення України і більше 2/3 запасів і джерел ТПВ зосереджені на території Східної України, де знаходиться багато коксохімічних підприємств, які можуть стати базою для створення нової сміттєпереробної промисловості. До цих підприємств належать: Авдіївський, Маріупольський коксохімічний заводи, а також на окупованій території – Алчевський, Єнакіївський, Макіївський, Ясиновський, Горлівський заводи і ін.

В умовах погіршення сировинної бази коксування та дедалі більшої актуальності проблеми накопичення ТПВ утилізація відходів в коксових печах

може дати двосторонній позитивний еколого-економічний ефект в рамках концепції сталого розвитку, що полягає в максимально екологічній утилізації відходів поряд з економією коксівного вугілля. Можливості, створювані цією концепцією в умовах Донбасу, обумовлюють актуальність досліджень в даному напрямку.

При різноманітті запропонованих технологій переробки ТПВ і досліджень в області впливу на процес коксування різних добавок у вугільну шихту, в літературі, що досліджується, практично відсутні дані про результати спільного коксування вугільної шихти з ТПВ (сумішшю).

Шкідливою складовою ТПВ є відходи пластичних мас (ВПМ), масова частка яких в ТПВ складає всього 8–10%, але внаслідок малої щільності об'ємна частка досягає 30–35%. Отже, вилучення та утилізація тільки полімерів зменшить обсяг відходів на третину, збільшивши термін наповнення полігонів. Частина сміття, що залишилася, матиме вищу стисливість, ніж в суміші з ВПМ. Рихлість і низька стисливість саме пластикових відходів призводить до частих спалахів полігонів. При горінні відходів, що містять ПВХ, неминуче утворення діоксинів. Значить, витяг полімерної частини істотно підвищить екологічну безпеку звалищ [2]. В цілому, до 90% полімерних відходів представлено поліетиленом (ПЕ) і полістиролом (ПС) [3], також є значна частка полівінілхлориду (ПВХ), поліолефінів (ПО) і поліетилентерфталату (ПЕТ).

Можливість розведення вугільної шихти ВПМ розглянута в роботі [4]. Вже тут відзначається погіршення сировинної бази коксування і користь органічних добавок, що підвищують спікаємість шихти. Технологічна цінність добавки тим вище, чим ближче температура розкладання добавки до температури пластичності вугілля. Що стосується відходів ПМ, в коксуванні і спіканні бере участь лише та їх частина, яка безпосередньо контактує з поверхнею вугільних частинок. Тому потрібно не допускати надлишку пластмас, який термічно розкладеться, випарується і збільшить вихід летючих речовин.

Пізніше, в [3], було досліджено вплив 1% і 3% добавок ПЕ і ПС в шихту, складену з вугілля Донбасу. Вихід твердого залишку знижується на 3–4%, вихід газу на 1–27%, вихід смоли зростає в 1,55–2,7 раза, пірогенетичної води на 6–39%, аміаку на 18–41%, сірководню на 12–22%, бензолних вуглеводнів на 14–26%. Відзначено можливість різних полімерних добавок змінювати хімічну активність коксу в широких межах. Подальший розвиток дана тема отримала в [5]. У еталонну шихту додавали 1, 2, 5, 10% ОПМ. Встановлено, що до 5% добавки не погіршує технологічні і споживчі властивості продуктів коксування. Показники К50 і П25 поліпшуються. Реакційна здатність і калорійність коксового газу збільшуються відповідно до величини добавки при сталості пористості коксу. Особливо відзначається зниження вмісту бенз [а] пірену і бенз [е] пірену в смолі. Пізніше [6] в Росії були проведені дослідні коксування вуглів Кузнецького басейну з ВПМ.

Отримані результати свідчать про поліпшення якості коксу і збільшення виходу хімічних продуктів при невеликій добавці відходів (найкращі результати отримані при 3% добавки). Однак встановлено, що пластмасу можна змішувати з низькометаморфізованим вугіллям, що має малу товщину пластичного шару.

В Японії утилізація ВПМ в коксових печах успішно застосовується з 2000 р. Проводилися дослідження з ПЕ, ПП, ПВХ, ПС, ПЕТФ, ТФК (терефталева кислота). Вводилося 1–5% пластику розміром < 150 мкм. ПЕ, ПП, ПВХ в кількості до 5% слабо впливали на максимальну плинність вугілля і його загальну дилатацію, в той час як вплив ПС, ПЕТФ і ТФК значний (ПС впливає менше, ніж ПЕТФ і ТФК). Виявилось деяке збільшення барабанної міцності при додаванні ПЕ, але суттєве її зниження при введенні ПС і ПЕТФ. Тому при промислових коксуваннях кількість добавки знизили до 1% (механічна і гаряча міцність коксу не знижується). Це означає утилізацію пластику в обсязі 500 тис. т/рік і дає економію енергії в країні в 0,75% [7, 8].

Автори [2] наполягли на попередній переробці ВПМ і, розвиваючи тему, запропонували технологію термопрепарування ВПМ «Карботермія», яка наближає відходи до кам'яного вугілля за фізико-хімічними властивостями і полегшує їх використання в промислових умовах. Вона дозволяє виключити стадію подрібнення пластмас до необхідних для коксування і провести їх глибоке дехлорування. Технологія полягає в двоступінчастому термолізі у вугільних або нафтових бітумах (ВПМ : бітум = 4:1). Отриманий твердий продукт Карботермія – сипучий, термомеханічно стабільний продукт, склад якого можна широко варіювати, змінюючи кількість і якість сировинних компонентів. У процесі досліджень не відзначено технологічних труднощів і небажаних побічних явищ. 5% Карботермії як добавки не знижує якості коксу та інших продуктів коксування.

У Китаї були проведені роботи з розвитку застосовуваної в Японії технології спільного коксування ВПМ і шихти [9]. Відходи піддали плавленню і брикетуванню, внаслідок чого досягнуто відразу дві мети – збільшення частки добавки до 2%, при необхідності до 4%, поліпшення міцності коксу CSR і реакційної здатності CRI. Однак результати оцінили як попередні.

В Іспанії, в Національному інституті Карбону [10], також не залишили без уваги дану розробку. Склад коксівних відходів обмежував тільки зміст ПВХ не більше 2% для недопущення корозії апаратури. Максимальна плинність суміші вугілля і ВПМ визначалася пластиками поліолефінової природи – ПП і ПЕ. При збільшенні частки пластиків поліароматичної природи – ПС і ПЕТФ – її значення систематично зменшувалось. Встановлено, що введення 2% ПЕ високої щільності підвищує тиск коксування з 11,8 до 50 кПа. При збільшенні частки ПС + ПЕТФ відбувається лінійне зниження тиску коксування. Передбачається, що присутність біомаси (овочі) і целюлози в спільному коксуванні ВПМ та вугільної шихти знижує тиск коксування. Якість коксу із сумішей по «холодній» міцності підвищувалася на 1–4 пункти, але чітка залежність не виявлена. ПЕ високого тиску практично не вплинув на CRI, але спричинив зростання CSR. ПС і ПЕТФ підвищують індекс CRI. Таким чином, автори підкреслюють важливість співвідношення поліолефінових і поліароматичних пластиків, яке визначає тиск коксування і основні показники якості коксу. Пізніше [11] було знайдено оптимальне співвідношення цих двох груп пластиків – частка поліолефінів в пластичних відходах не повинна перевищувати 65%, а ароматичних полімерів має бути не менше 35%.

У Бразилії були проведені дослідження, в яких оцінені ефекти додавання пластмас і відходів рослинного масла на якість коксу в процесі коксування в експериментальному масштабі [12].

Таким чином, на підставі аналізу наукової і технічної літератури можна зробити наступні висновки:

1. Проблема твердих побутових відходів остаточно не вирішена ні в світі, ні в Україні. Захоронення відходів є витратним методом і створює багато санітарних та екологічних проблем, особливо через 15–20 років після захоронення. Спалювання відходів призводить до утворення високотоксичних викидів в атмосферу і з екологічної точки зору є неприйнятним. Найбільш перспективним є сортування сміття, але тоді потрібно створити мережу підприємств по переробці відсортованих відходів.

2. Коксохімічне виробництво в даний час стикається з низкою проблем. Це дефіцит спіклого вугілля (при тому, що загальна кількість вугілля в світі велика), подорожчання вугілля внаслідок погіршення умов видобутку, зниження попиту на кокс у зв'язку зі світовою кризою і падінням виробництва сталі.

3. Деякі автори проводили дослідження з додавання в шихту для коксування органічної частини твердих побутових і промислових відходів. Використання відходів у виробництві коксу дозволило б частково вирішити санітарні проблеми міст і пом'якшити проблеми коксохімічної галузі за рахунок заміни в шихті частини дефіцитного вугілля і забезпеченні завантаження виробничих потужностей за рахунок переробки сміття.

4. Однак на цьому шляху є серйозні перешкоди. В даний час не розроблена технологія підготовки відходів для коксування і недостатньо досліджено питання про вплив добавок відходів на якість коксу.

Експериментальна частина

Методика виконання роботи в цілому включала в себе наступні етапи:

- лабораторні дослідження можливості брикетування коксового пилу з полімерними компонентами ТПВ;
- підбір складу брикетів, що забезпечують їх механічну міцність при транспортуванні по конвеєру, пересипанні і завантаженні в піч разом з шихтою;
- виготовлення достатньої кількості брикетів заданого складу (близько 5 кг);
- коксування брикетів спільно з шихтою в промислових умовах;
- дослідження властивостей отриманого коксу.

Методика лабораторних досліджень. Для дослідження в лабораторних умовах можливості брикетування полімерних відходів з коксовим пилом використовувалися побутові відходи, з яких вибиралися пляшки з ПЕТ (лавсан), пакети та плівка з ПЕ, вироби з ПС і ПВХ. Раніше в роботі [13] досліджено хімічний склад продуктів піролізу найпоширеніших побутових полімерних відходів з метою визначення їх можливого промислового використання. Коксовий пил був набраний з підлоги і конструкцій коксортування Макіївського коксохімічного заводу.

Брикети виготовлялися двома способами: спіканням суміші коксового пилу і полімерів при температурі до 220 °С і холодним пресуванням суміші коксового пилу і густого в'язкого розчину різних полімерів в коксовому сольвенті.

Для отримання брикетів методом спікання була виготовлена лабораторна дослідна установка, схема якої показана на рис. 1.

У розігріту до температури 200–230 °С порожнину змішувача завантажувалася порція розрізаних ПЕТ (поліетилентерефталат) пляшок. Коли досягався розплавлений стан, через завантажувальну воронку засипали

коковий пил. Суміш перемішувалася обертанням ротора за допомогою електродвигуна. Температура в порожнині змішувача вимірювалася хромель-алюмелевою термопарою і підтримувалася на заданому рівні за допомогою терморегулятора РТ-16 / 2D1 (інтервал регулювання від -70 до +500 °С, точність вимірювання ± 1 °С). Після перемішування в'язка суміш продавлюється через випускний отвір, що відкривається. При цьому відбувалося формування брикетів діаметром 20 мм і товщиною 10–15 мм.

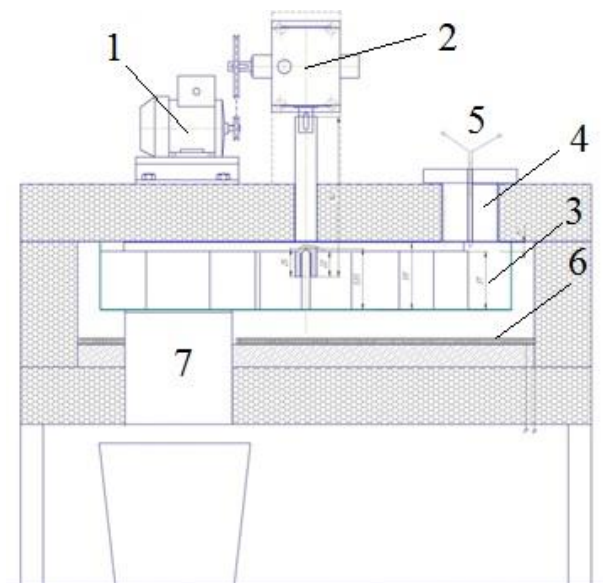


Рис. 1. Схема змішувача для спікання брикетів:

1 – електродвигун; 2 – редуктор; 3 – скребок; 4 – завантажувальний отвір; 5 – термопара; 6 – нагрівальна спіраль; 7 – отвір для вивантаження

Для отримання брикетів холодним методом в коксовому сольвенті розчинявся пінопласт (спінений полістирол) і отримувався в'язкий розчин. Цей розчин змішувався з коксовим пилом в заданих співвідношеннях на установці для спікання брикетів при відключеному підігріві. Установа (рис. 1) в цьому випадку використовувалася як холодний змішувач. Суміш потім наносилася на гумові ґрати товщиною 15 мм з отворами діаметром 30 мм. Густи розчин продавлювався через ґрати. При цьому формувалися брикети діаметром 30 мм і товщиною 15 мм, які після висихання піддавалися подальшим дослідженням. Пристрій для отримання брикетів холодним методом показано на рис. 2.

Зважування компонентів проводилося на електронних вагах DS professional (точність зважування $\pm 0,01$ г).

Методика промислових досліджень. Промислові дослідження проводилися в коксовому цеху Макіївського коксохімічного заводу ПАТ «Макіївкокс» на коксовій батареї №2.

Виготовлені в лабораторних умовах брикети вкладалися в спеціально виготовлені сталеві ящики розміром 100 × 100 × 300 мм і перемішувалися з шихтою стандартного для даного заводу складу в заданому співвідношенні (3–5% по масі). У стінках ящиків були зроблені отвори діаметром 5 мм для виходу газу. Для запобігання передчасному висипанню шихти з ящиків вони зсередини попередньо вистилаються папером.

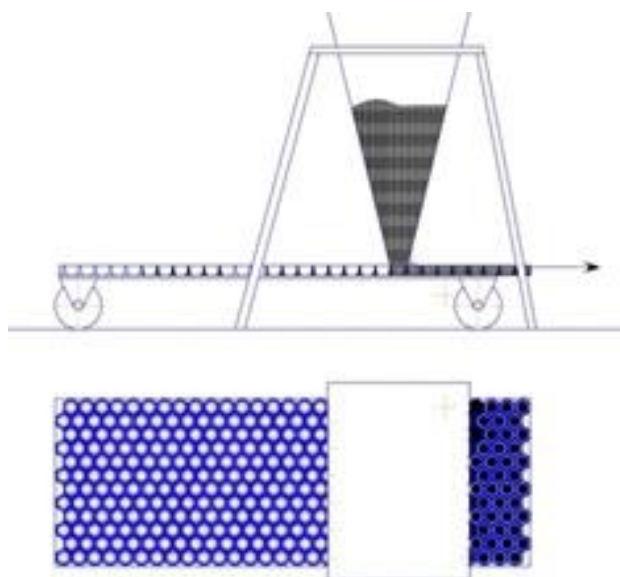


Рис. 2. Пристрій для холодного пресування брикетів

Ящики з сумішшю брикетів і шихти вкидали вручну в коксову піч відразу після завантаження через третій завантажувальний люк.

Після закінчення періоду коксування, видачі печі, мокрого гасіння коксу і вивантаження на рампу, ящики за допомогою гаків витягувалися з рампи. Після цього ящики розкривалися, а кокс з них піддавався дослідженню за стандартними методиками. Виконувався технічний аналіз коксу на зольність, вміст сірки і вихід летючих. Додатково визначалася реакційна здатність і гаряча міцність CRS. Дослідження властивостей коксу виконувалося в заводській лабораторії Макіївського коксохімічного заводу.

Результати та їх обговорення

На прохання працівників Макіївського коксохімічного заводу була досліджена можливість отримання брикетів з коксового пилу, що утворюється у відділенні коксортування коксового цеху.

На установці гарячого брикетування проводилася серія дослідів з одержання брикетів з коксового пилу з використанням розплавленого пластику.

Розрізані на шматки ПЕТ пляшки засипалися в установку і нагрівалися до 230 °С при безперервному перемішуванні. Потім, коли дно установки покривалося в'язким шаром напіврозплавленого полімеру, в установку засипали коксовий пил. Співвідношення пластику до пилу становило 3:7 за вагою. Після перемішування протягом 30 хвилин утворювалася суміш, яка вивантажувалася через вихідний отвір з подальшим формуванням брикетів діаметром 20 мм.

У процесі дослідження були встановлені фактори, що негативно впливають на процес. Зокрема, ПЕТ після досягнення температури більш 200 °С починав переходити у в'язкий стан, але потім під впливом гарячого повітря знову твердів і ставав тендітним. При механічному перемішуванні він блокував рух ротора, а з коксовим пилом міцних брикетів не утворював.

В іншій серії дослідів, в якості сполучного використовувалася розплавлена поліетиленова плівка. Вона переходила в рідкий стан при температурі близько 110 °С і добре перемішувалася з коксовим пилом, утворюючи брикети. Однак, отримані брикети були недостатньо міцними, а при впливом води розсипалися. Тому результати цих серій були визнані незадовільними.

У зв'язку з цим були виконані дослідження з холодного брикетування коксового пилу. В якості сполучного використовувався в'язкий розчин пінопласту в коксовому сольвенті.

Пінопласт розчинявся в сольвенті при кімнатній температурі до повного насичення і утворення густої маси. В установку, показану на рис. 1, засипали коксовий пил. Потім при відключеній системі підігріву і при включеному перемішуванні в приймальну воронку заливався розчин. Співвідношення між пилом і розчином становило 7:3 за вагою. Після перемішування густа в'язка суміш вивантажувалася у воронку установки холодного брикетування, показану на рис. 2. На установці формувалися холодним способом брикети. Форма брикетів була близька до циліндричної з діаметром 20–30 мм і товщиною 15–20 мм.

Отримані брикети після висихання протягом доби були механічно міцні (зберігали форму і цілісність при скиданні з висоти 1 м на металеву поверхню). Вони виявилися стійкими до дії вологи (зберігали форму при замочуванні у воді і не проявляли схильності до злипання). Таким чином, брикети були придатні до транспортування по конвеєру, пересипання і зберігання в бункерах в промислових умовах.

На фотографії показані брикети, отримані методом холодного брикетування (рис. 3).



Рис. 3. Брикети з коксового пилу з добавкою пластику, отримані методом холодного брикетування (фото)

Таким способом було виготовлено близько 5 кг брикетів, які були піддані коксуванню в промислових умовах.

На батареї №2 коксового цеху ЗАТ «Макіївкокс» було проведено дослідне коксування експериментальної шихти з добавкою брикетів.

Коксування проводилося в сталевих ящиках розміром 100 * 100 * 300 мм з отворами для виходу газів. Склад брикетів: коксовий пил – 70%; в'язкий розчин відходів пластику в коксовому сольвенті – 30%.

Було випробувано два варіанти дослідної шихти: з добавкою 3% брикетів і добавкою 5% брикетів. Бралася шихта, що використовувалася на той час на Макіївському коксохімічному заводі, наступного складу: Ж – 7%; К – 87%; КС – 6%. Період коксування становив 17 годин.

В результаті промислового експерименту було отримано кокс, показники якого наведені в таблицях 1 і 2.

Таблиця 1 – Технічний аналіз коксу

Частка брикетів у шихті, %	A ^p	S ^r	V ^r
0	10,3	0,6	0,5
3	11,6	0,62	0,6
5	11,7	0,64	0,2

Таблиця 2 – Показники якості коксу

Частка брикетів у шихті, %	Реакційна здатність, %	Гаряча міцність CSR, %
0	25	58
3	34,3	45,4
5	32,2	46,8

Аналіз коксу виконувався в заводській лабораторії ЗАТ «Макіївкокс».

З таблиць 1 і 2 видно, що добавка до шихти брикетів на основі коксового пилу і пластику призводила до погіршення якості коксу за показниками реакційної здатності, гарячої міцності і зольності. При цьому жоден з показників не вийшов за межі допустимих відхилень.

Це погіршення може бути в подальшому компенсовано за рахунок зміни складу брикетів і вдосконалення технології їх приготування.

Таким чином, в результаті проведених лабораторних і промислових досліджень розроблено основні технологічні рішення з утилізації компонентів ТПВ (відходів пластику) в коксових печах з одночасною утилізацією коксового пилу (відходу коксортування) і отриманням коксу прийнятної якості.

Висновки

В результаті проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. У великих промислових центрах, що мають коксохімічне виробництво, доцільно використовувати існуючі коксові печі для переробки органічної частини ТПВ. При цьому вирішуються санітарні та екологічні проблеми і забезпечується завантаження виробничих потужностей коксохімічної галузі в умовах кризи.

2. В роботі розроблені основи технології з використання в коксовому процесі брикетів на основі відходів пластику і коксового пилу. Показано, що додавання 3–5% брикетів в шихту для коксування забезпечує отримання коксу прийнятної якості. Можливе отримання економічного ефекту за рахунок економії вугілля.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Парфенюк А.С., Антонюк С.И., Топоров А.А. Альтернативное решение проблемы твердых отходов в Украине // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2002. – №4. – С. 36–41.
2. Соболевски А., Васелевски Р. Об утилизации отходов пластических масс в процессе коксования // Кокс и химия. – 2004. – №12. – С. 34–40.
3. Егоров В.М. Использование отходов пластических масс в угольных шихтах для коксования // Кокс и химия. – 1997. – №3. – С. 19–20.
4. Егоров В.М., Кутовой П.М., Гончаров В.Ф., Косточкин А.Р. и др. О применении твердых полимеров в коксовании // Кокс и химия. – 1984. – №10. – С. 15–19.
5. Барский В.Д., Снежко Л.А., Иващенко В.А., Федулов О.В., Мадатов А.В. Коксование отходов пластмасс совместно с угольной шихтой. Результаты опытных коксований // Кокс и химия. – 2000. – №2. – С. 32–37.
6. Базегский А.Е., Салтанов А.В., Зоткина Н.А., Пьяных Е.В. Коксование шихт из кузнечных углей с добавками отходов пластических масс // Кокс и химия. – 2002. – №10. – С. 15–19.
7. Цикарев Д.А. Процесс рециркуляции отходов пластиков в коксовых печах // Кокс и химия. – 2002. – №12. – С. 41–42.
8. Ухмылова Г.С. Развитие технологии утилизации пластиковых отходов в коксовых печах // Кокс и химия. – 2006. – №6. – С. 34–35.
9. Ухмылова Г.С. Новая технология совместного коксования пластиковых отходов и угольной шихты // Кокс и химия. – 2006. – №7. – С. 34.
10. Гагарин С.Г. Использование отходов пластических материалов в производстве кокса // Кокс и химия. – 2009. – №10. – С. 46–48.
11. Melendi S., Diez M.A., Alvarez R., Barriocanal C. Relevance of the composition of municipal plastic wastes for metallurgical coke production // Fuel. – 2011. – №4. – Vol. 90. – P. 1431–1438.
12. Lange L.C., Ferreira A.F.M. The effect of recycled plastics and cooking oil on coke quality // Waste Management. – 2016. – V. 61. – P. 269–275. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2016.08.039>.
13. Лысенко Е.В., Кравец В.А., Калужный В.В., Сердюк А.И. Изучение состава продуктов пиролиза бытовых полимерных отходов // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2011. – №3. – С. 48–51.

Стаття надійшла до редакції 11.11.2021 і прийнята до друку після рецензування 17.02.2022

REFERENCES

1. Parfenjuk, A.S., Antonjuk, S.I., & Toporov, A.A. (2002). Alternativnoe reshenie problemy tverdyh othodov v Ukraine. *Jekotehnologii i resursosberezhenie*, 4, 36-41 [in Russian].
2. Sobolevski, A., & Vaselevski, R. (2004). Ob utilizacii othodov plasticheskikh mass v processe koksovaniya. *Koks i himija*, 12, 34-40 [in Russian].
3. Egorov, V.M. (1997). Ispolzovanie othodov plasticheskikh mass v ugolnyh shihtah dlja koksovaniya. *Koks i himija*, 3, 19-20 [in Russian].
4. Egorov, V.M., Kutovoj, P.M., Goncharov, V.F., & Kostochkin, A.R. (1984). O primenenii tverdyh polimerov v koksovanii. *Koks i himija*, 10, 15-19 [in Russian].
5. Barskij, V.D., Snezhko, L.A., Ivashhenko, V.A., Fedulov, O.V., & Madatov, A.V. (2000). Koksovanie othodov plastmass sovместno s ugolnoj shihtoj. Rezultaty opytnyh koksovaniy. *Koks i himija*, 2, 32-37 [in Russian].

6. Bazegskij, A.E., Saltanov, A.V., Zotkina, N.A., & Pjanyh, E.V. (2002). Koksovanie shiht iz kuzneckih uglej s dobavkami othodov plasticheskih mass. *Koks i himija*, 10, 15-19 [in Russian].
7. Cikarev, D.A. (2002). Process recirkuljacii othodov plastikov v koksovyh pechah. *Koks i himija*, 12, 41-42 [in Russian].
8. Uhmylova, G.S. (2006). Razvitie tehnologii utilizacii plastikovyh othodov v koksovyh pechah. *Koks i himija*, 6, 34-35 [in Russian].
9. Uhmylova, G.S. (2006). Novaja tehnologija sovmestnogo koksovanija plastikovyh othodov i ugol'noj shihty. *Koks i himija*, 7, 34 [in Russian].
10. Gagarin, S.G. (2009). Ispolzovanie othodov plasticheskih materialov v proizvodstve koks. *Koks i himija*, 10, 46-48 [in Russian].
11. Melendi, S., Diez, M.A., Alvarez, R., & Barriocanal, C. (2011). Relevance of the composition of municipal plastic wastes for metallurgical coke production. *Fuel*, 4(90), 1431-1438.
12. Lange, L.C., & Ferreira, A.F.M. (2016). The effect of recycled plastics and cooking oil on coke quality. *Waste Management*, 61, 269-275. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2016.08.039>
13. Lysenko, E.V., Kravec, V.A., Kaljuzhnyj, V.V., & Serdjuk, A.I. (2011). Izuchenie sostava produktov piroliza bytovyh polimernyh othodov. *Jenergotehnologii i resursoberezenie*, 3, 48-51 [in Russian].

The article was received 11.11.2021 and was accepted after revision 17.02.2022

Кравець Василь Анатолійович

доктор технічних наук, професор кафедри прикладної екології, хімії і охорони праці
Донбаської національної академії будівництва і архітектури

Адреса робоча: 84333 Україна, м. Краматорськ, вул. Героїв Небесної Сотні, 14

ORCID ID: 0000-0003-2099-9467 **e-mail:** v.a.kravets@donnaba.edu.ua.

Міхєєнко Вікторія Михайлівна

кандидат хімічних наук, доцент кафедри прикладної екології, хімії і охорони праці
Донбаської національної академії будівництва і архітектури

Адреса робоча: 84333 Україна, м. Краматорськ, вул. Героїв Небесної Сотні, 14

ORCID ID: 0000-0001-7685-2507 **e-mail:** v.m.mikheenko@donnaba.edu.ua.

УДК 504.06:656.13

Ganna Zhelnovach, PhD (Tech. Sc.), Associate Professor of the Department of Ecology
ORCID ID: 0000-0001-5788-7843 *e-mail*: zhelnovach.ganna@gmail.com

Nataliia Vnukova, Dr. of Tech. Sc., Professor of the Department of Ecology
ORCID ID: 0000-0002-4097-864X *e-mail*: vnukovanv@ukr.net

Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine

SYSTEM APPROACH TO IMPLEMENTATION OF THE PROCEDURE OF A STRATEGIC ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF THE REGIONAL MOTOR TRANSPORTATION COMPLEX DEVELOPMENT

Abstract. *The current state of the environment at all levels is characterized by a rather low quality. These phenomena arise as a result of the intensification of all types of anthropogenic impacts, including those caused by the functioning of the motor transport complex. Its development in Ukraine is now happening haphazardly and without taking into account the ability of ecosystems to recover itself. This actualizes the need to develop a sustainable system-oriented approach for managing the development of the motor transport complex according to requirements of the Law of Ukraine "On Strategic Environmental Assessment". The aim of the study is to develop a conceptual model for ensuring a system-oriented approach in the context of the development of the regional motor transport complex as a management tool for the implementation of the strategic environmental assessment procedure. The main results obtained in the study are as follows. The analysis of the priority impacts of the components of the motor transport complex on regional ecosystems showed that it consists in chemical and parametric pollution of environmental components, extraction of natural resources and alienation of territories, which occurs without taking into account the criterion of consistency and integral eco-destructive impact on the territory. Principles of ensuring the development and implementation of environmental safety management system of the motor transport complex in the state planning documents have been developed and based on the paradigm of biosphere compatibility. A system-oriented conceptual model of ensuring the ecological safety of the functioning of the motor transport complex of the region has been developed, which takes into account the multiplicity of states of the natural component, the influence of the social system on the natural component and the multiplicity of conditions of the social component. The basic parameters of the motor transport complex has been proposed, which determine the eco-destructive result of its functioning in the context of the implementation of the procedure of strategic environmental assessment. The results obtained can be recommended to practitioners for carrying out a strategic environmental assessment of documents for state planning of the development of the motor transport complex.*

Key words: *environmental safety; sustainable development; motor transport; strategic environmental assessment; management*

Г.М. Желновач, Н.В. Внукова

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, Україна

СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕДУРИ СТРАТЕГІЧНОЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ ОЦІНКИ РОЗВИТКУ АВТОТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСУ РЕГІОНУ

***Анотація.** Сучасний стан довкілля на всіх рівнях характеризується достатньо низькою якістю, що супроводжується пригніченням складових екосистем та зменшенням їх здатності до самовідновлення. Ці явища виникають внаслідок інтенсифікації всіх видів антропогенних впливів, у тому числі зумовлених розвитком автотранспортного комплексу, який, наразі в Україні, відбувається безсистемно та без урахування здатності екосистем до самовідновлення, що актуалізує необхідність розробки сталого системно-орієнтованого підходу для управління розвитком вищезазначеної галузі у контексті реалізації вимог Закону України «Про стратегічну екологічну оцінку». Метою роботи є розробка концептуальної моделі забезпечення системно-орієнтованого підходу у контексті розвитку автотранспортного комплексу регіону як управлінського інструменту для реалізації процедури стратегічної екологічної оцінки. У дослідженні, згідно з поставленими завданнями, було проведено аналіз пріоритетних впливів складових автотранспортного комплексу на регіональні екосистеми, виділено принципи забезпечення розробки та реалізації системи управління екологічною безпекою автотранспортного комплексу в документах державного планування, розроблено системно-орієнтовану концептуальну модель забезпечення екологічної безпеки функціонування автотранспортного комплексу регіону та виокремлено параметри автотранспортного комплексу, які визначають екодеструктивний результат його функціонування у контексті реалізації процедури стратегічної екологічної оцінки.*

Запропонований підхід вперше пропонує методологію як основу для проведення процедури стратегічної екологічної оцінки документів державного планування щодо розвитку автотранспортного комплексу регіону на основі принципів біосферної сумісності. Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці концептуальної моделі управління екологічною безпекою автотранспортного комплексу регіону на основі системно-орієнтованого підходу як управлінського інструменту для реалізації процедури стратегічної екологічної оцінки документів державного планування.

***Ключові слова:** екологічна безпека; сталий розвиток; автомобільний транспорт; стратегічна екологічна оцінка; управління*

DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.1.56-68>

Вступ

Сучасний стан довкілля на всіх рівнях характеризується достатньо низькою якістю та супроводжується пригніченням складових екосистем та зменшенням їх здатності до самовідновлення внаслідок інтенсифікації антропогенних впливів, зумовлених розвитком промисловості, транспорту, урбанізацією тощо. Аналіз літератури, проведений у дослідженні, показав, що серед факторів погіршення якості довкілля всіх країн Світу та України, зокрема,

особливе місце займає саме автомобільний транспорт, який відрізняється високим ступенем мобільності та специфічністю екологічного впливу, обумовленого особливостями експлуатації [1–4]. Окрім того, розвиток автомобільного транспорту супроводжується невідпущеною та невпорядкованою, з екологічної точки зору, розбудовою специфічної автотранспортної інфраструктури, що забезпечує його функціонування, експоненціально збільшуючи інтегральний екодеструктивний вплив на довкілля без урахування критерію природоємності, особливо на регіональному рівні [5–7].

Вищезазначене актуалізує необхідність розробки сталого системно-орієнтованого підходу, який можна було б застосовувати при розробці документів державного планування у контексті оцінювання фактичного та прогнозування перспективного впливу, що спричиняється на довкілля розвитком системи автомобільного транспорту та супутньої йому інфраструктури у вигляді автотранспортного комплексу.

Метою даної роботи є розробка концептуальної моделі забезпечення системно-орієнтованого підходу у контексті розвитку автотранспортного комплексу регіону як управлінського інструменту для реалізації процедури стратегічної екологічної оцінки. Для досягнення мети було поставлено наступні завдання:

- аналіз пріоритетних впливів складових автотранспортного комплексу на регіональні екосистеми;
- виділення принципів забезпечення розробки та реалізації системи управління екологічною безпекою автотранспортного комплексу в документах державного планування;
- розробка системно-орієнтованої концептуальної моделі забезпечення екологічної безпеки функціонування автотранспортного комплексу регіону;
- виокремлення параметрів автотранспортного комплексу, які визначають екодеструктивний результат його функціонування у контексті реалізації процедури стратегічної екологічної оцінки.

Результати дослідження

Необхідність системного врахування потенційних екодеструктивних впливів для підвищення рівня екологічної безпеки на територіальному рівні є вимогою сучасного сталого екоорієнтованого підходу щодо планування та розбудови територій, закріпленою у низці міжнародних договорів та зобов'язань. Зокрема, підписання Угоди України з ЄС стимулювало розвиток національного екологічного законодавства у контексті його наближення до європейського [8]. Серед закріплених у главі 6 Угоди про асоціацію положень одне з пріоритетних місць займає вимога, визначена Директивою № 2001/42/ЄС «Про оцінку впливу окремих планів та програм на навколишнє середовище», яка формулює, у тому числі, необхідність встановлення процедури визначення, які плани або програми потребують стратегічної екологічної оцінки та вимог про те, для яких документів така діяльність є обов'язковою [9]. Тобто у стратегічному документі зазначено чітку вимогу щодо необхідності комплексного системно-орієнтованого стратегічного оцінювання програм розвитку територій з урахуванням екологічного критерію.

На реалізацію даної вимоги було прийнято Закон України «Про стратегічну екологічну оцінку», який регулює відносини у сфері оцінки наслідків для довкілля, у тому числі для здоров'я населення, при розробленні документів державного планування та поширюється на документи державного планування, що стосуються сільського, лісового та рибного господарства, а також енергетики, промисловості та транспорту у контексті поводження з відходами, використання водних ресурсів та охорони довкілля. Також дія закону розповсюджується на діяльність за напрямками телекомунікацій, туризму, містобудування та землеустрою, виконання яких визначає необхідність реалізації видів діяльності відносно яких законодавством передбачено здійснення процедури оцінки впливу на довкілля [10].

Метою реалізації діяльності зі стратегічної екологічної оцінки є сприяння сталому розвитку територій шляхом забезпечення охорони довкілля, безпеки життєдіяльності населення та охорони здоров'я з інтегруванням екологічних вимог у документи державного планування під час їх розроблення та затвердження.

Автотранспортний комплекс (АТК), являючись суттєвим джерелом екодеструктивного впливу на регіональному рівні, є складною багатовекторною системою (рис. 1), формування якої у контексті стратегічного сталого розвитку регіонів держави відбувається часто безсистемно та некеровано [11–12].

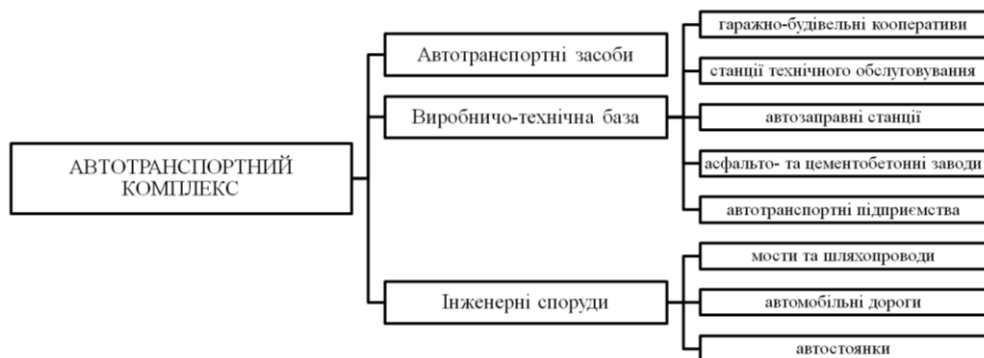


Рис. 1. Складові автотранспортного комплексу

Саме тому у дослідженні приділено пріоритетну увагу розробці концептуальної моделі забезпечення системно-орієнтованого підходу у контексті сталого розвитку автотранспортного комплексу регіону як управлінського інструменту для реалізації процедури стратегічної екологічної оцінки згідно з головними завданнями Закону України «Про стратегічну екологічну оцінку» [10]. Як було зазначено вище, автотранспортний комплекс є особливим джерелом впливу на компоненти довкілля, пріоритетні види впливів якого полягають у наступному (рис. 2):

- відчуження територій під дороги та об'єкти транспортної інфраструктури, ерозійні процеси, осушення, знищення рослинного покриву;
- вилучення природних мінеральних, водних, енергетичних ресурсів;

– технологічне та транспортне забруднення шкідливими речовинами, шумом, вібрацією, теплом, електромагнітним та іонізуючим випромінюванням довкілля підприємствами транспорту та дорожнього господарства, автотранспортними системами [13–14].

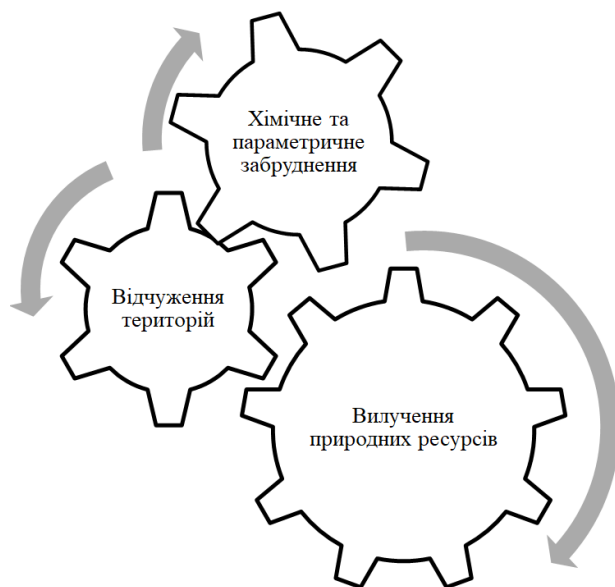


Рис. 2. Екодеструктивні впливи АТК на довкілля

Згідно з положеннями, закріпленими у Законі України «Про стратегічну екологічну оцінку», діяльність з державного планування та розробки міждержавних, національних, регіональних та місцевих програм, зокрема автотранспортного спрямування, повинна підлягати процедурі стратегічної екологічної оцінки [10].

Вважаємо, що провадження сталого розвитку автотранспортного комплексу регіону, як складової його загального розвитку, слід здійснювати шляхом забезпечення охорони довкілля, безпеки життєдіяльності населення та охорони його здоров'я, інтегруючи екологічні вимоги під час розроблення та затвердження документів державного планування, спираючись на принципи, що засновані на парадигмі біосферної сумісності:

1. Принцип коеволюції природи та суспільства визначає необхідність відповідності між розвитком виробничих сил та природно-ресурсним потенціалом, що сприяє створенню умов узгодженого, симбіотичного розвитку природних екосистем та автотранспортного комплексу на регіональному рівні.

2. Принцип зіставлення зовнішнього впливу та внутрішньої взаємодії процесів функціонування являє собою кількісну оцінку «екологічного відбитку» автотранспортного комплексу та потенціалу стійкості природного середовища (потенціалу до самовідновлення).

3. Принцип складових балансу (розрахункової пропорції) між потенціалом стійкості природного середовища (природна складова), складовими автотранспортного комплексу (техногенна складова) та людським потенціалом (соціальна складова).

4. Принцип технічного регулювання екологічної безпеки автотранспортного комплексу регіону, що включає необхідність законодавчого та нормативного закріплення складових балансу, науково обґрунтованих екологічних критеріїв та соціальних стандартів.

5. Принцип інноваційної галузевої діяльності – заснований на застосуванні нових знань та сприяє підвищенню ресурсного та біотичного потенціалів за рахунок застосування біосферосумісних технологій, що являють собою технології, які спричиняють мінімально обґрунтований вплив на природне середовище та збільшують асиміляційний потенціал біосфери при їх застосуванні.

6. Принцип оцінки ефективності рішень та заходів програм розвитку автотранспортного комплексу полягає в оцінці якості довкілля регіону залежно від їх реалізації через критерій прогресивного розвитку людства.

7. Принцип задоволення раціональних потреб населення в транспортних послугах та створення сприятливого середовища життєдіяльності, що заснований на передумові щодо невиключності суспільних благ та рівнозначності людини для всіх функцій регіону.

8. Принцип забезпечення комфорту середовища передбачається реалізувати через досвід та традиції щодо саморегулювання та самоуправління автотранспортним комплексом як складовою системи життєзабезпечення регіону.

9. Принцип зворотного зв'язку полягає у реакції об'єкта на збудливі впливи та виклики зовнішнього середовища, що забезпечують екологічну безпеку розвитку та функціонування автотранспортного комплексу регіону (рис. 3) [15–16].

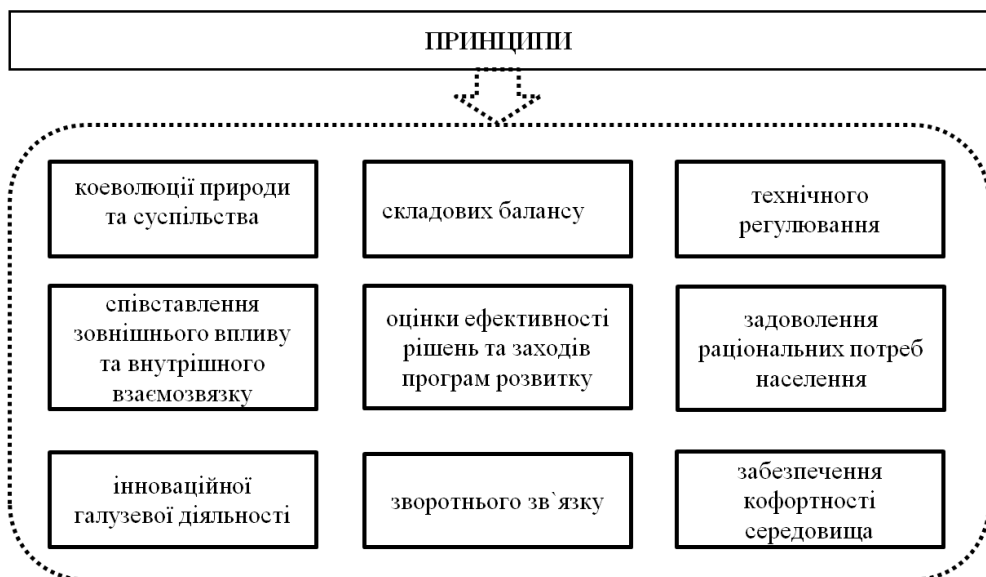


Рис. 3. Принципи розробки системи управління екологічною безпекою автотранспортного комплексу

Під час реалізації діяльності з державного планування стосовно розвитку автотранспортного комплексу регіонального рівня вищезазначені принципи, які ідентифікуються у якості ключових для створення балансу у системі «автотранспортний комплекс – довкілля», пошук та накопичення нових знань, розробку технологій задоволення раціональних транспортних потреб населення зі збереженням потенціалу стійкості природного середовища пропонуємо структурувати у вигляді послідовних етапів (табл. 1).

Ієрархія наведених вище фундаментальних етапів полягає у підпорядкованості їх головному принципу, що проявляється у послідовній реалізації всіх інших перетворень АТК регіону в екологічно безпечну складову регіону та перехід до біосферосумісного типу життєдіяльності. З точки зору управління та прийняття управлінських рішень у контексті розробки документів державного планування така позиція повинна стати керівною та визначати напрями розробки науково обґрунтованих рішень щодо реалізації процедури розробки документації зі стратегічної екологічної оцінки.

Базовою передумовою системного уявлення автотранспортного комплексу регіону та запропонованої концептуальної моделі забезпечення екологічної безпеки його функціонування є теза про те, що аналізована система являє собою складну структуру, що динамічно розвивається. При цьому слід враховувати різноманіття відносин, зв'язків та взаємодій між підсистемами і системами різного типу у її складі – технічною, соціальною та природною.

Таблиця 1 – Загальна схема управління екологічною безпекою автотранспортного комплексу регіону

Етап	Опис етапу
Етап 1	Вибір стратегічного напрямку функціонування АТК регіону, ґрунтуючись на поєднанні техносфери з довкіллям
Етап 2	Моніторинг якості довкілля регіону під впливом АТК та зіставлення обсягу забруднення, споживання природних ресурсів та якості життя
Етап 3	Зіставлення кількісних балансових співвідношень між елементами АТК як місцями задоволення потреб, людським потенціалом та потенціалом стійкості природного середовища, а також розробка їх на основі критеріїв оцінювання
Етап 4	Законодавче та нормативне закріплення запропонованих критеріїв оцінювання, у т.ч. у вигляді балансових співвідношень
Етап 5	Розробка інноваційних програм розвитку галузі на основі біосферосумісних технологій та їх реалізації за допомогою відповідних механізмів управління
Етап 6	Оцінка ефективності програмних заходів по забезпеченню біосферосумісного стану АТК та оцінка якості довкілля регіону, що формується їх реалізацією
Етап 7	Задоволення раціональних потреб суспільства через функції регіону та підфункції АТК як його складової
Етап 8	Встановлення міжгалузевих та міжсистемних зв'язків, взаємодій, співробітництва та співпраці професійних об'єднань
Етап 9	Аналіз, висновки та отримання нових знань щодо правильності обраних напрямів стратегічного розвитку інфраструктури АТК регіону

Пропонуємо розширити межі аналізованої системи включенням до її структури і надсистем – природної та соціальної, які являють собою складові зовнішнього середовища. Отже, при розробці документів державного планування, для розвитку АТК зокрема, слід дотримуватися принципу екологічної безпеки як стану, обумовленого внутрішнім взаємозв'язком складових єдиної природо-соціо-технічної структури з урахуванням зовнішніх впливів.

Принципова відмінність застосування пропонованого підходу щодо розроблення звітів стратегічної екологічної оцінки документів державного планування розвитку АТК регіону полягає в представленні останнього у вигляді відкритої динамічної системи, що вимагає застосування спеціальних підходів, заснованих на урахуванні взаємного зворотного впливу всіх складових. Включення компонентів природної та соціальної підсистем у досліджувану структуру, яка являє собою системно-орієнтовану модель, повинно визначатися у кожному конкретному випадку окремо, ґрунтуючись на вагомості їх впливу та сукупному внеску у процес забезпечення екологічної безпеки АТК досліджуваного регіону. Решту параметрів складових системи доцільно розглядати як зовнішні впливи, що відповідає класичному підходу до управління.

Пропонована у статті системно-орієнтована концептуальна модель забезпечення екологічної безпеки функціонування АТК регіону (рис. 4) складається з наступних структур:

– надсистема, частина зовнішнього середовища:

- природна – містить ресурси, що використовуються складовими АТК, та піддається негативному екодеструктивному впливу;
- соціальна – взаємодіє з об'єктами АТК та очікує задоволення своїх потреб за умови наявності певних екологічних ризиків, що виникають внаслідок відчуття людиною, як складовою природного середовища, негативних впливів від розвитку АТК;

– досліджувана система:

- автотранспортна – безпосередньо чинить вплив на природне та соціальне середовища та визначає перш за все можливість формування несприятливої екологічної ситуації на певній території [17].

Реально керованими з точки зору можливості вироблення конкретних керівних впливів пропонуємо обирати параметри стану автотранспортного комплексу, які визначають результат функціонування системи як її проєкцію на природне та соціальне середовища (рис. 5). Тобто результатом реалізації керівних складових повинно бути забезпечення певного стану природної і соціальної складових у взаємодії зі станом автотранспортного комплексу регіону.

Стратегічні підходи щодо забезпечення екологічно збалансованого розвитку автотранспортного комплексу у контексті практично орієнтованої розробки документів державного планування на всіх рівнях вбачаємо у наступному:

1. Вдосконалення нормативно-правової бази для забезпечення екологічної безпеки (сталого розвитку) автотранспортного комплексу як відкритої системи.

2. Створення екологічно безпечних конструкцій складових АТК, експлуатаційних, конструкційних, будівельних матеріалів, технологій та їх виробництва.

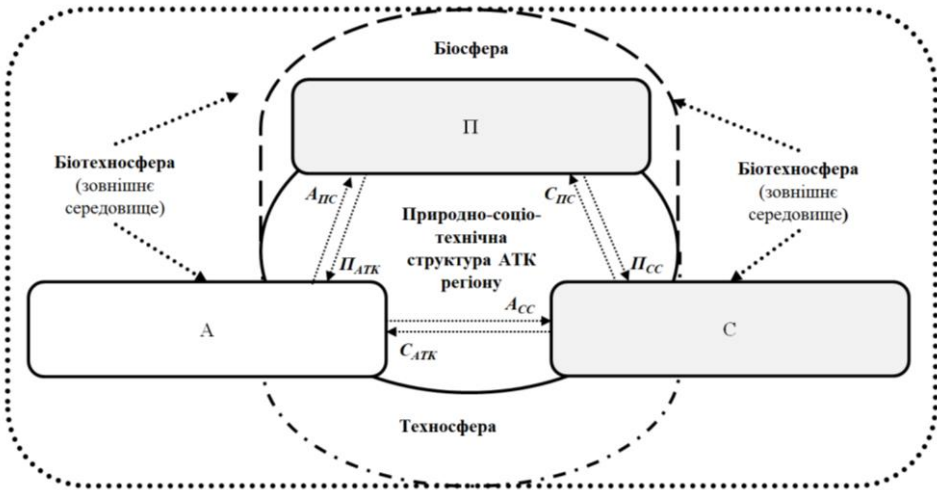


Рис. 4. Загальний вигляд концептуальної моделі управління екологічною безпекою ATK регіону

П – природна складова (ресурси, природні ландшафти, рослинне та тваринне біорізноманіття);

П_{АТК} – вплив природного середовища на ATK; П_{CC} – вплив природного середовища на соціальне середовище; С – соціальна складова (людина, як представник соціуму, його комфорт та безпека середовища життєдіяльності); С_{ПC} – вплив соціального середовища на природне середовище;

С_{АТК} – вплив соціального середовища на ATK; А – автотранспортний комплекс (автотранспортні послуги, складові комплексу, забруднення довкілля); А_{ПC} – вплив ATK на природне середовище;

А_{CC} – вплив ATK на соціальне середовище

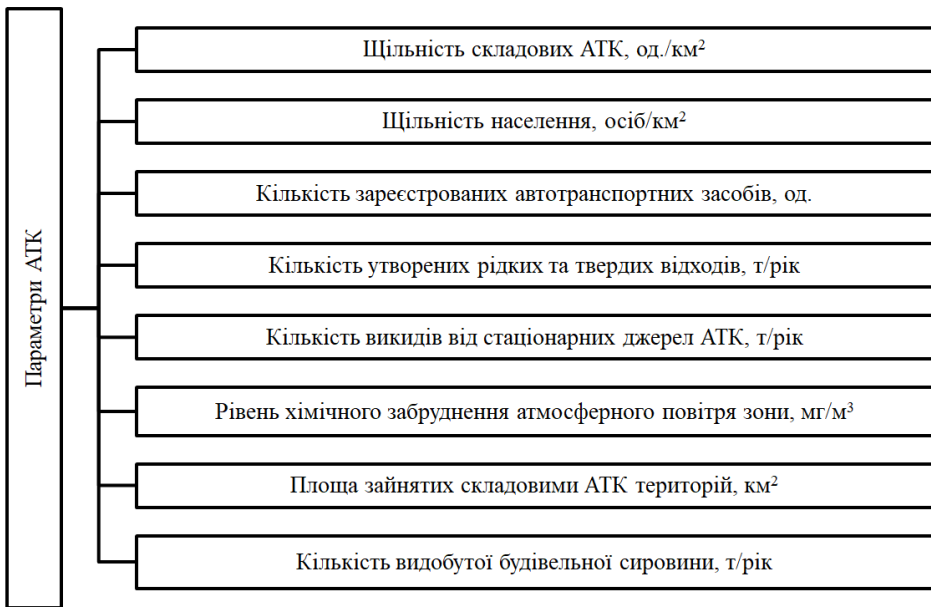


Рис. 5. Параметри ATK, які визначають екодеструктивний результат його функціонування

3. Розробка ресурсозберігаючих технологій захисту довкілля.

4. Розробка алгоритмів та технічних засобів моніторингу довкілля на об'єктах АТК та територіях, що до них прилягають, методів підрахунку допустимої кількості об'єктів АТК на певній території з урахуванням потенціалу стійкості природного середовища та соціального попиту.

5. Вдосконалення системи управління природоохоронною діяльністю на транспорті.

Висновки

Отже, у дослідженні було вперше здійснено спробу розробки концептуальної моделі управління екологічною безпекою автотранспортного комплексу регіону на основі системно-орієнтованого підходу як управлінського інструменту для реалізації процедури стратегічної екологічної оцінки.

Проведений аналіз пріоритетних впливів складових автотранспортного комплексу на регіональні екосистеми показав, що він полягає у хімічному та параметричному забрудненні компонентів довкілля, вилученні природних ресурсів та відчуженні територій, яке відбувається, незважаючи на критерій системності у контексті врахування інтегрального екодеструктивного впливу на територію.

Виділено принципи забезпечення ефективності розробки та реалізації системи управління екологічною безпекою автотранспортного комплексу у документах державного планування, які ґрунтуються на парадигмі біосферної сумісності та полягають у коеволуції природи та суспільства, зіставленні зовнішнього впливу та внутрішньої взаємодії, складових балансу, технічного регулювання, інноваційній галузевій діяльності, оцінці ефективності рішень та заходів програм розвитку, задоволенні раціональних потреб населення, забезпеченні комфортності середовища, зворотному зв'язку.

Розроблено системно-орієнтовану концептуальну модель забезпечення екологічної безпеки функціонування автотранспортного комплексу регіону, яка враховує множинність станів природної складової у вигляді потенціалу біосфери, що залежить від впливу складових АТК, людини та зовнішніх впливів, впливу соціальної системи на природну складову та множинності станів соціальної складової.

Виокремлено базові параметри автотранспортного комплексу, які визначають екодеструктивний результат його функціонування у контексті реалізації процедури стратегічної екологічної оцінки з урахуванням забруднення компонентів довкілля, розвитку складових АТК та вилучення природних ресурсів.

Практичне значення отриманих результатів полягає в отриманні загальної методології як основи для реалізації практичної діяльності щодо здійснення процедури стратегічної екологічної оцінки документів державного планування розвитку автотранспортного комплексу регіону.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лежнева, О.І. (2019). До питання визначення екологічних характеристик транспортних потоків. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*, 86, 141-147. <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2019.86.2.141>.

2. Внукова, Н.В. (2011). Вплив автомобільних доріг на екобезпеку комплексу «Автомобіль-дорога-середовище». *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, 5/3(53), 43-46.
3. Желновач, Г.М., Прокопенко, Н.В. (2014). Аналіз екологічних впливів та ризиків при експлуатації автозаправних станцій. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*, 67, 172-182.
4. Сіпаков, Р.В., Волошкіна, О.С., Березницька, Ю.О., Клімова, І.В. (2018). Оцінка ризику для здоров'я населення від викидів автомобільного транспорту у м. Києві. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсовикористання*, 1(17), 4-20.
5. Świąder, M., Szewrański, S. & Kazak JK (2020) Environmental Carrying Capacity Assessment - the Policy Instrument and Tool for Sustainable Spatial Management. *Frontiers in Environmental Science*, 8, 197. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.579838>.
6. Del Monte-Luna, P., Brook, B.W., Zetina-Rejón, M.J., Cruz-Escalona, V.H. (2004). The carrying capacity of ecosystems. *Global Ecology and Biogeography*, 6(13), 485-495. <https://doi.org/10.1111/j.1466-822X.2004.00131>.
7. Желновач, Г.М. (2013). Оцінка ступеня техногенного навантаження на придорожній простір (на прикладі обходу м. Лубни). *Вісник КрНУ ім. М. Остроградського*, 4, 156-159.
8. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011#Text (станом на 12.01.2022 р.).
9. Directive 2001/42/EC of the European parliament and of the council on the assessment of the effects of certain plans and programmes on the environment. – Access mode: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32001L0042&from=PL> (date of access 12.01.2022 p.).
10. Закон України «Про стратегічну екологічну оцінку». Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2354-19#Text> (станом на 12.01.2022 р.).
11. Внукова, Н.В. (2015). Основні засади використання критеріїв ризику до оцінювання безпеки функціонування АДС. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*, (71), 138-145.
12. Bekbolatov, G.Zh., Shingisbayeva, Zh.A., Tulenov, A., Kokayev, U.Sh., Bazarov, B.I., Shoibekov, B. (2019). Determination of environmental consequences from production processes of motor transport enterprises. *Eurasian Journal of Biosciences*, 13 (1), 167-176.
13. Harrington, W., McConnell, V. (2003). Motor Vehicles and the Environment. <https://media.rff.org/documents/RFF-RPT-carsenviron.pdf>.
14. Dutra, Nathalia & Victório, Cristiane. (2021). Automobile repair shops have a negative impact on the environment. *Acta Scientiae et Technicae*, 8 (2), 5-19. <https://doi.org/10.17648/uezo-ast-v8i2.292>.
15. Rai, R., Sharma, S., Gurung, D.B., Sitaula, B.K. & Shah, R. D.T. (2020). Assessing the impacts of vehicle wash wastewater on surface water quality through physico-chemical and benthic macroinvertebrates analyses. *Water science*, 34 (1), 39-49. <https://doi.org/10.1080/11104929.2020.1731136>.
16. Константинов, И.С., Бакаева, Н.В. (2010). Концептуальные основы управления территориальной автотранспортной системой на основе парадигмы биосферной совместимости. *Информационные системы и технологии*, 5(61), 109-119.
17. White, L., Noble, B.F. (2013). Strategic environmental assessment for sustainability: A review of a decade of academic research. *Environmental Impact Assessment Review*, 42, 60-66. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2012.10.003>.
18. Кейс-стаді. Стратегічна екологічна оцінка. Досвід упровадження в містах України. – Режим доступу: <https://decentralization.gov.ua/uploads/library/file/529/Keys-Study-CEO.pdf> (станом на 12.01.2022 р.).

Стаття надійшла до редакції 10.12.2021 і прийнята до друку після рецензування 25.02.2022

REFERENCES

1. Lezhneva, O.I. (2019). Do pytannja vyznachennja ekologichnyh harakterystyk transportnyh potokiv [On the issue of environmental characteristics of transport flows]. *Bulletin of KhNAHU*, 86, 141-147 [In Ukrainian]. <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2019.86.2.141>.
2. Vnukova, N.V. (2011). Vplyv avtomobil'nyh dorog na ekobezpeku kompleksu «Avtomobil'-doroga-seredovishhe» [The impact of highways on the environmental safety of the car-road-environment complex]. *Eastern European Journal of Advanced Technology*, 5/3(53), 43-46 [In Ukrainian].
3. Zhelnovach, G.M., & Prokopenko, N.V. (2014). Analiz ekologichnyh vplyviv ta ryzykiv pry ekspluatatsii' avtozapravnyh stancij [Analysis of environmental impacts and risks of gas station operation]. *Bulletin of KhNAHU*, 67, 172-182 [In Ukrainian].
4. Sipakov, R.V., Voloshkina, O.S., Berezynska, Yu.O., & Klimova, I.V. (2018). Ocinka ryzyku dlja zdorov'ja naselennja vid vykydiv avtomobil'nogo transportu u m. Kyjevi [Assessment of the risk to public health from emissions from road transport in Kyiv]. *Environmental safety and natural resources*, 1(17), 4-20 [In Ukrainian].
5. Świąder, M., Szwerański, S. & Kazak JK (2020) Environmental Carrying Capacity Assessment - the Policy Instrument and Tool for Sustainable Spatial Management. *Frontiers in Environmental Science*, 8, 197. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.579838>.
6. Del Monte-Luna, P., Brook, B.W., Zetina-Rejón, M.J., & Cruz-Escalona, V.H. (2004). The carrying capacity of ecosystems. *Global Ecology and Biogeography*, 6 (13), 485-495 <https://doi.org/10.1111/j.1466-822X.2004.00131>.
7. Zhelnovach, G.M. (2013). Ocinka stupenja tehnogennogo navantazhennja na prydorozhnij prostir (na prykladi obhodu m. Lubny) [Assessment of technogenic loading on roadside area (the case of Lubny bypass road)]. *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, 4, 156-159 [In Ukrainian].
8. Association Agreement between the European Union and Ukraine. – Retrieved 12.01.2022 from: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011#Text [In Ukrainian].
9. Directive 2001/42/EC of the European parliament and of the council on the assessment of the effects of certain plans and programmes on the environment. – Retrieved 12.01.2022 from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32001L0042&from=PL>.
10. Law of Ukraine "On Strategic Environmental Assessment". Retrieved 12.01.2022 from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2354-19#Text> [In Ukrainian].
11. Vnukova, N.V. (2015). Osnovni zasady vykorystannja kryterii'v ryzyku do ocinjuvannja bezpeky funkcionuvannja ADS [The main principles of using risk criteria for evaluation of rae system safe functioning]. *Bulletin of KhNAHU*, (71), 138-145 [In Ukrainian].
12. Bekbolatov, G.Zh., Shingisbayeva, Zh.A., Tulenov, A., Kokayev, U.Sh., Bazarov, B.I., & Shoibekov, B. (2019). Determination of environmental consequences from production processes of motor transport enterprises. *Eurasian Journal of Biosciences*, 13(1), 167-176.
13. Harrington, W., & McConnell, V. (2003). Motor Vehicles and the Environment. <https://media.rff.org/documents/RFF-RPT-carsenviro.pdf>.
14. Dutra, Nathalia & Victório, Cristiane. (2021). Automobile repair shops have a negative impact on the environment. *Acta Scientiae et Technicae*, 8(2), 5-19. <https://doi.org/10.17648/uezo-ast-v8i2.292>.
15. Rai, R., Sharma, S., Gurung, D.B., Sitaula, B.K. & Shah, R. D.T. (2020). Assessing the impacts of vehicle wash wastewater on surface water quality through physico-chemical and benthic macroinvertebrates analyses. *Water science*, 34(1), 39-49. <https://doi.org/10.1080/11104929.2020.1731136>
16. Konstantinov, I.S., & Bakaieva, N.V. (2010). Konceptual'nye osnovy upravlenija territorial'noj avtotransportnoj sistemoj na osnove paradigmy biosfernoj sovместimosti [Conceptual framework for managing the territorial motor transport system based on the paradigm of biosphere compatibility]. *Information systems and technologies*, 5(61), 109-119 [in Russian].

17. White, L., & Noble, B.F. (2013). Strategic environmental assessment for sustainability: A review of a decade of academic research. *Environmental Impact Assessment Review*, 42, 60-66. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2012.10.003>.

18. Case study. Strategic environmental assessment. Experience of implementation in the cities of Ukraine. Retrieved 12.01.2022 from: <https://decentralization.gov.ua/uploads/library/file/529/Keys-Study-CEO.pdf> [In Ukrainian].

The article was received 10.12.2021 and was accepted after revision 25.02.2022

Желновач Ганна Миколаївна

кандидат технічних наук, доцент кафедри екології Харківського національного автомобільно-дорожнього університету

Адреса робоча: 61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25

ORCID ID: 0000-0001-5788-7843 **e-mail:** zhelnovach.ganna@gmail.com

Внукова Наталія Володимирівна

доктор технічних наук, завідувач кафедри екології Харківського національного автомобільно-дорожнього університету

Адреса робоча: 61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25

ORCID ID: 0000-0002-4097-864X **e-mail:** vnukovanv@ukr.net

УДК 635.071:51-76:007

Viktor V. Zhukovskyy, PhD, Associate Professor of the Department of Computer Science and Applied Mathematics

ORCID ID: 0000-0002-7088-6930 *e-mail*: v.v.zhukovskyy@nuwm.edu.ua

Andrij I. Sydor, PhD, Senior Lecturer of the Department of Computer Engineering

ORCID ID: 0000-0003-4911-7034 *e-mail*: a.i.sydor@nuwm.edu.ua

Halyna M. Shpak, PhD, Senior Researcher

ORCID ID: 0000-0002-8588-441X *e-mail*: Shpak.galochka@gmail.com

Serhii V. Shatnyi, PhD, Senior Lecturer of the Department of Computer Engineering

ORCID ID: 0000-0003-4650-5090 *e-mail*: s.v.shatnyi@nuwm.edu.ua

National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine

APPLICATION OF ANALYTIC HIERARCHY PROCESS FOR EVALUATION WESTERN REGION OF UKRAINE WITH THE PURPOSE OF ORGANIC LAND USE DEVELOPMENT

***Abstract.** The purpose of the research described in this article is to test the method of hierarchies for assessing the territory according to the selected criteria and to determine the most attractive area for the development of organic land use in the Western region of Ukraine, which is suitable for organic land use. The interest of agricultural producers in organic products comes from a stable trend towards growth of the global organic market, and the significant potential of our country as one of the main producers and exporters of organic raw materials and products. The method of hierarchies was chosen to provide the accurate evaluation of the areas for developing organic land use, as it allows to gradually break down the problems into more and more simple components and set the priority of criteria. That is, to assess the importance of individual indicators in the further processing of the sequence of judgments based on the results of pairwise comparisons, which are then expressed numerically, as well as to evaluate alternative solutions and find the best of them. Taking into account the recommendations of scientists and the requirements of the standards according to which organic producers work, in order to build a hierarchical structure of indicators of agricultural land selection there were used ecological-toxicological and agrochemical indicators of its condition. There were derived normalized ratings for each criterion and checked their reliability by the index and the ratio of consistency. There was made a comparison for each criterion, for all studied alternatives and the corresponding generalized ratings were calculated. A matrix of global priorities is constructed, which characterizes the potential of the considered areas. According to the results of the assessment by the hierarchy method, the greatest potential for the introduction of organic land use in the Western region of Ukraine is in Lviv, Khmelnytsky and Ternopil regions. There is the largest area of agricultural land which is potentially suitable for organic production with the least risk and greater economic efficiency in the above-mentioned regions. Further research will focus on the use of the hierarchy method to evaluate the potential of the territory in terms of areas of the region on a wider list of criteria, taking into consideration the suggestions and priorities of the farmer (the potential investor).*

***Keywords:** method of analysis of hierarchies; territory assessment; organic land use; potentially suitable land*

В.В. Жуковський, А.І. Сидор, Г.М. Шпак, С.В. Шатний

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ ДЛЯ ОЦІНКИ ЗАХІДНОГО РЕГІОНУ УКРАЇНИ З МЕТОЮ РОЗВИТКУ ОРГАНІЧНОГО ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ

***Анотація.** Метою досліджень, наведених в цій статті, є апробація методу ієрархії для оцінки території за підібраними критеріями та визначення найбільш привабливої області для розвитку органічного землекористування в Західному регіоні України, що є найбільш придатною для органічного землекористування. Інтерес агровиробників до органіки пов'язаний із стабільною тенденцією до зростання світового органічного ринку та значним потенціалом нашої держави, як одного з основних виробників та експортерів органічної сировини і продукції. Для оцінки території з метою розвитку органічного землекористування було обрано саме метод ієрархії, оскільки він дозволяє поетапно розкласти проблеми на простіші компоненти та встановити пріоритетність критеріїв. Тобто, оцінити важливість окремих показників при подальшій обробці послідовності суджень на основі результатів попарних порівнянь, які потім виражаються чисельно, а також оцінити альтернативні рішення та пошук найкращого з них. Враховуючи рекомендації науковців та вимоги стандартів, за якими працюють органічні виробники, для побудови ієрархічної структури показників відбору сільськогосподарських земель використано еколого-токсикологічні та агрохімічні показники їх стану. Виведені нормалізовані оцінки за кожним критерієм і перевірено їх достовірність індексом та відношенням узгодженості. Для кожного критерію здійснено порівняння по всіх досліджуваних альтернативах та обраховано відповідні узагальнені оцінки. Побудовано матрицю глобальних пріоритетів, що характеризує потенціал розглянутих областей. За результатами оцінки за методом ієрархії, найбільший потенціал запровадження органічного землекористування у Західному регіоні України у Львівської, Хмельницької та Тернопільської областей. Тобто, на території цих областей найбільша площа сільськогосподарських земель, потенційно придатних для ведення органічного виробництва з найменшими ризиками та більшою економічною ефективністю. В подальшому дослідження будуть спрямовані на використання методу ієрархії для проведення оцінки потенціалу території в розрізі районів області за ширшим переліком критеріїв, враховуючи побажання і пріоритети фермера (потенційного інвестора). Таким чином, використання методу ієрархії для оцінки земель дозволить підібрати фермеру (інвестору) найкращий варіант із запропонованих, враховуючи вимоги до органічного виробництва або культури та наявні обмеження.*

***Ключові слова:** метод аналізу ієрархії; оцінка території; органічне землекористування; потенційно придатні землі*

DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.1.69-88>

Вступ

З кожним роком світовий ринок органічної продукції зростає і за останні 10 років він збільшився у 2 рази (з 50,9 млрд дол. США у 2010 р. до 101 млрд дол. США на початок 2019 р.). В той же час в Україні, органічне

виробництво з маловідомого перетворилося на стратегічно важливий та експортно-орієнтований напрямок розвитку сільського господарства. У 2020 р. експорт української органічної продукції оцінюють в 204 млн дол. США, Україна посіла 4-те місце зі 124 країн за обсягами імпортованої органічної продукції до ЄС (7,8% або 217,2 тис. тонн) [1].

Сприяння розвитку органічного виробництва в Україні стало одним із пріоритетів діяльності уряду. Серед стратегічних завдань на наступне 10-річчя зазначено збільшення площі земель з органічним статусом щонайменше до 3% загальної площі сільськогосподарських угідь та збільшення експорту органічної продукції до 1 млрд дол. США [2]. Вперше органічним виробникам передбачена фінансова підтримка з державного бюджету: виділення бюджетних субсидій з розрахунку на одиницю оброблюваних угідь (5 тис. грн/га, але не більше 100 тис. грн на одного оператора) або одну голову ВРХ (5 тис. грн), відшкодування до 30% вартості витрат на проведення сертифікації органічного виробництва і відшкодування до 30% вартості витрат на придбання дозволених для використання добрив, насіння, кормів.

Ще кілька років тому органічне виробництво було прерогативою виключно невеликих фермерських (сімейних) господарств. Органіками ставали або через ідеологічні переконання або через неможливість конкурувати з агрохолдингами в традиційному виробництві. Проте, стабільно зростаючий ринок, відсутність жорсткої конкуренції, преміальні ціни і можливість диференціювати виробництво приваблюють в цей сектор агрокомпанії з великим земельним банком і капіталом. При цьому органічне виробництво залишається більш ризикованим, ніж традиційне.

На даний час Україна поки не має власної системи сертифікації, натомість 18 міжнародних акредитованих органів сертифікації сертифікують операторів органічного ринку відповідно до вимог законодавства Європейського Союзу, США, рідше інших країн. Тобто, виробництво всієї органічної продукції в Україні здійснюється відповідно до стандартів інших країн, які між собою дуже схожі.

В процесі виробництва постійно існує ризик втратити статус органічної продукції через найменше відхилення від вимог органічних технологій до будь-якого процесу (виробництво, зберігання, транспортування, реалізація). Що автоматично призведе до недоотримання очікуваних доходів через неможливість реалізувати свою продукцію за підвищеними цінами.

Дослідженню проблематики органічного сільськогосподарського виробництва присвячені праці науковців: Артиша В.І., Новак Н.П., Скрипчука П.М., Шкуратова О.І., Балюк С.А., Дегодюк Е., Кисіль В.І., Писаренко В.М., Шикуча М.К., Чайка Т.О., Ращенко А.В., Шпак Г.М., Захарова Д.С. [3–10].

Всі науковці сходяться в одному: для ефективного запровадження органічного виробництва з мінімальними інвестиціями та виробничими ризиками потрібна здорова агроєкосистема, родючі ґрунти і повне інформаційне забезпечення інвестора. Тому, проведення оцінки території з метою запровадження (розвитку) органічного землекористування є актуальним як для потенційних виробників та інвесторів, так і для місцевих органів влади.

Метод аналізу ієрархій (analytic hierarchy process, АНР) широко застосовується зарубіжними вченими для оцінки ефективності ведення сільського господарства в Мексиці, Марокко, Ірані, Непалу та інших

країнах [11–16]. Крім того, в зарубіжній літературі обґрунтовуються різноманітні критерії оцінки ведення органічного землеробства [17; 18]. Також часто даний алгоритм поєднується з геоінформаційними системами, що дає змогу автоматично опрацьовувати великі обсяги інформації [19]. Разом з тим, українські вчені застосовують метод аналізу ієрархій для оцінки рівня інноваційної активності регіонів [20], визначення стратегічних пріоритетів управління державними фінансами [21] тощо. Однак застосування методу АНР для оцінки території з метою розвитку органічного виробництва є новим підходом і тому не зустрічається у відкритих джерелах.

Метою досліджень є апробація методу аналізу ієрархій для оцінки території та визначення найбільш привабливої області для розвитку органічного виробництва в Західному регіоні України (Волинська, Рівненська, Житомирська, Львівська, Тернопільська, Закарпатська, Івано-Франківська, Чернівецька, Хмельницька).

Для досягнення поставленої мети окреслено ряд задач:

- побудова ієрархічної структури показників відбору сільськогосподарських земель, що найбільш придатні для органічного землекористування, враховуючи рекомендації науковців та вимоги стандартів, за якими працюють виробники;
- оцінка важливості окремих показників для кожного рівня ієрархії;
- порівняння доступних альтернатив та вибір найкращої;
- виконання поетапно основних кроків визначення оптимального рішення, застосовуючи метод аналізу ієрархій;
- проведення аналізу та інтерпретації результатів.

Теоретичні основи досліджень

Для вирощування високоякісної органічної продукції необхідні землі повинні бути не забруднені токсичними і небезпечними речовинами (сполуки важких металів, поліхлоровані біфеніли, діоксини, пестициди, радіонукліди тощо) та володіти високими якісними агрохімічними показниками (вміст гумусу, гранулометричний склад, кислотність ґрунту, вміст рухомих сполук фосфору і калію). При цьому верхня межа окремих критеріїв є жорстко лімітуючим та обмежувальним фактором (наприклад, високий вміст радіонуклідів), а для деяких – є бажаним (наприклад, високий вміст гумусу). Тому родючі землі з високим вмістом гумусу, але в яких концентрація радіонуклідів перевищує допустимі норми, будуть не придатними для вирощування органічної продукції. Для оцінки території з метою розвитку органічного землекористування було обрано саме метод ієрархій, оскільки він дозволяє встановити пріоритетність критеріїв.

Метою методу ієрархічного аналізу є обґрунтування вибору найкращої із запропонованих альтернатив, характеристиками якої є вектори з неоднорідними, навіть невиразно визначеними окремими компонентами.

Суть методу ієрархічного аналізу полягає в поетапному вирішенні таких взаємопов'язаних окремих завдань:

- побудова ієрархічної структури показників (знаків);
- оцінка важливості окремих показників для кожного рівня ієрархії;
- порівняння доступних альтернатив та вибір найкращої.

Метод ієрархічного аналізу – це системна процедура ієрархічного представлення елементів, що визначають суть проблеми. Метод полягає у поетапному розкладанні проблеми на дедалі простіші компоненти (власне структуру ієрархії) та подальшій обробці послідовності суджень. В результаті слід виразити відносний ступінь (інтенсивність) взаємодії елементів в ієрархії. Метод ієрархічного аналізу включає процедури синтезу множинних суджень на основі результатів попарних порівнянь, які потім виражаються чисельно, оцінюючи пріоритет (важливість) критеріїв (окремих показників), а також оцінюючи альтернативні рішення та пошук найкращого з них. Отримані кінцеві бали є оцінками за шкалою відносин, які відповідають жорстким оцінкам.

Вирішенням початкової проблеми є процес поетапного визначення (оцінювання, визначення) пріоритетів щодо показників. Перший рівень визначає найважливіші елементи (верхній рівень ієрархії) та оцінює їх важливість, другий – найважливіші елементи наступного рівня, наприклад найкращий спосіб перегляду спостережень, перевірки та оцінки елементів тощо; наступним кроком може бути розробка способу застосування рішення та оцінки його якості тощо. Весь процес побудови ієрархічної структури підлягає численним безперервним оглядам, поки не буде повної впевненості, що цей процес охоплює всі ключові особливості, необхідні для заповнення і вирішення проблеми. Процес може здійснюватися за послідовністю ієрархій: у цьому випадку результати, отримані в одній із них, будуть використані як вихідні дані для вивчення наступної.

Вихідним матеріалом, на основі якого особа, яка приймає рішення, може сформувати достатнє, чітке та однозначне уявлення про перевагу одного елемента над іншим, є інтуїція та суб'єктивні оцінки, хоча судження та їхня інтенсивність є вираженням внутрішніх почуттів та нахилів. Судження можуть розширити сферу спілкування та збільшують доступні елементи на певному рівні ієрархії.

Реалізація методу аналізу ієрархій для оцінки розвитку органічного землекористування

Метод аналізу ієрархій включав наступні основні етапи, значимість яких різна для різних завдань і ситуацій.

1. На першому етапі здійснено опис проблеми та визначення мети досліджень. В нашому випадку це оцінка територій Західного регіону України з метою розвитку органічного землекористування, як одного з перспективних секторів агропромислового виробництва.

2. Побудовано ієрархії, починаючи з вершини (цілі – з точки зору управління), через проміжні рівні (критерії, від яких залежать наступні рівні), до самого нижчого рівня (який зазвичай є переліком альтернатив). В нашому випадку до критеріїв було включено:

- Щільність забруднення земель радіонуклідами.
- Вміст рухомих форм важких металів.
- Вміст залишків пестицидів.
- Наближеність до джерел забруднення (промзона, траси, сміттєзвалища, інтенсивні господарства).
- Вміст гумусу.

- Вміст основних поживних речовин (NPK).
- Кислотність ґрунту.
- Гранулометричний (механічний) склад ґрунту.

Загальний вигляд побудованої ієрархії наведено на рис. 1.

3. Побудовано матрицю впливу елементів верхнього (попереднього) рівня на елементи нижнього (наступного) рівня (для кожного з нижніх рівнів) – по одній матриці для кожного елемента, що примикає зверху рівня. В повній простій ієрархії будь-який елемент впливає на кожен елемент примикаючого зверху рівня. Елементи кожного рівня були порівняні один з одним щодо ступеня їх впливу на елемент попереднього рівня і отримано квадратну матрицю суджень, наведену в табл. 1.

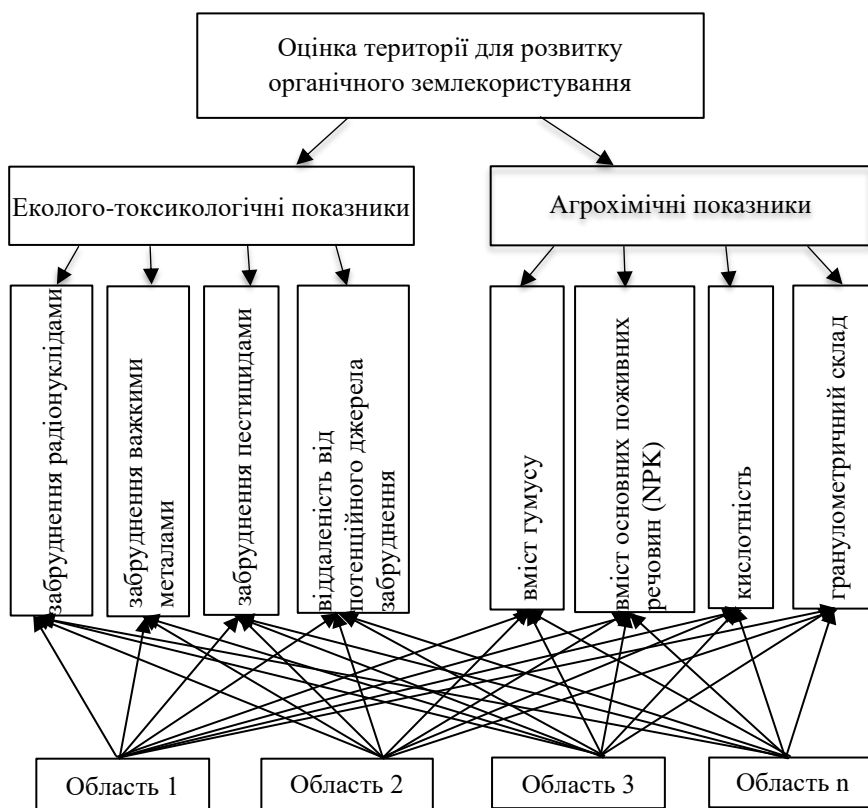


Рис. 1. Ієрархічна модель оцінки території з метою розвитку органічного землекористування

4. На етапі 4 для отримання кожної матриці виконано попарні порівняння суджень. Результатом етапу 4 (порівняння значущості впливу елементів наступного рівня на елементи попереднього рівня) є набір квадратних матриць N_1, N_2, \dots, N_k з елементами $(a_{ij}, i, j=1, 2, \dots, n)$, де k – число елементів попереднього рівня ієрархії, n – число елементів наступного рівня ієрархії. По діагоналі, що відповідає порівнянню самого критерію з собою, вказане значення 1, далі симетрично виставлено значення – у скільки відповідний критерій більш чи менш важливий за інший. Всі відповідні оцінки наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Матриця впливу для обраних критеріїв

№ з/п	Критерії	Номер								Нормалізована оцінка вектора пріоритету
		1	2	3	4	5	6	7	8	
1	Гранулометричний склад ґрунту	1	0,5	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,25	0,04
2	Кислотність ґрунту	2	1	1	0,33	0,25	0,5	0,33	0,25	0,056
3	Вміст основних поживних речовин (НПК)	3	1	1	0,33	0,33	0,5	0,33	0,25	0,061
4	Вміст гумусу, %	3	3	3	1	0,33	0,5	0,33	0,25	0,092
5	Наближеність до джерел забруднення (промзона, звалища, траси), м	3	4	3	3	1	1	1	1	0,186
6	Вміст залишків пестицидів	3	2	2	2	1	1	0,5	0,33	0,123
7	Вміст рухомих форм важких металів, мг/кг	3	3	3	3	1	2	1	0,33	0,17
8	Щільність забруднення земель радіонуклідами, Кі/км ²	4	4	4	4	1	3	3	1	0,273
ІУ індекс узгодженості		ІУ = 0,068 ВУ = 4,801								ВУ відношення узгодженості

5. Після проведення всіх парних порівнянь для елементів сусідніх рівнів (отримання набору матриць) обчислено вагові коефіцієнти дуг, що з'єднують відповідні елементи. Для кожної з матриць N_i ($i = 1, 2, \dots, k$) визначається нормалізований вектор локальних пріоритетів, компоненти якого розраховуються наступним чином:

$$C_i = C_{i-1} \times B_i, \tag{1}$$

де n – розмірність матриці; a_{ij} – елемент j -ої комірки матриці. Таким чином, матриці N_i з'являється вектор a_i . В нашому випадку отримали наступні значення, що наведені в таблиці 2.

Нормування компонент здійснюється шляхом ділення кожної компоненти вектора a_i на суму всіх компонент цього вектора:

$$b_j = \frac{a_j}{\sum_j a_j}. \tag{2}$$

Нормований вектор b_i відповідає ваговим коефіцієнтам дуг, що з'єднують i -й елемент попереднього рівня з усіма елементами наступного рівня. Якщо ввести в розгляд матрицю впливів елементів нижнього рівня на елементи попереднього рівня B_l , де l – номер рівня ієрархії, то вектори b_i будуть її стовпцями.

Таблиця 2 – Нормалізований вектор локальних пріоритетів

№ з/п	Критерії	Нормалізований вектор локальних пріоритетів
1	Гранулометричний (механічний) склад ґрунту	0,388
2	Кислотність	0,537
3	Вміст основних поживних речовин (NPK)	0,585
4	Вміст гумусу, %	0,884
5	Наближеність до джерел забруднення (промзона, траси, сміттєзвалища), м	1,795
6	Вміст залишків пестицидів	1,189
7	Вміст рухомих форм важких металів, мг/кг	1,646
8	Щільність забруднення земель радіонуклідами, Кі/км ²	2,632
S		9,659
Lmax		8,473

Нормалізована оцінка вектора пріоритету для наших критеріїв наведена в таблиці 1 (див. вище). З таблиці видно, що найбільш суттєвий вплив на підсумкову оцінку мають критерії «Щільність забруднення земель радіонуклідами» та «Наближеність до джерел забруднення», найменшу – «Гранулометричний (механічний) склад ґрунту» та «Кислотність» (рис. 2).

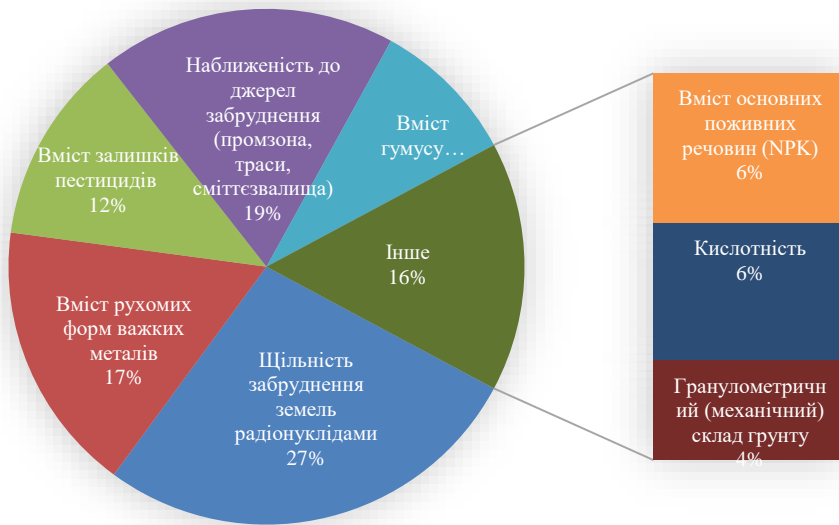


Рис. 2. Діаграма впливу різних критеріїв на загальну оцінку нормалізованих оцінок

6. Після отримання даних (обробки матриць суджень N_i за формулами (1) і (2)) необхідно визначити їх узгодженість. Ступінь узгодженості для кожної матриці наближено обчислюється таким способом: підсумовується кожен стовпець матриці суджень і сума першого стовпця збільшується на величину першої компоненти нормалізованого вектора пріоритетів, сума другого стовпця – другу компоненту і т.д. Отримані числа сумуються.

Використовуючи відхилення L_{\max} від n , знаходять індекс узгодженості (IУ), порівнюючи який з відповідними середніми значеннями для випадкових елементів, отримують відношення узгодженості (ВУ). В нашому випадку $S = 9,659$, $L_{\max} = 8,473$, кількість критеріїв $K = 8$, тоді відповідна формула знаходження Індексу узгодженості:

$$IУ = \frac{L_{\max} - K}{K - 1} = \frac{8.473 - 8}{8 - 1} = 0.068. \quad (3)$$

Відповідно відношення узгодженості рівне:

$$ВУ = \frac{IУ}{k} \times 100\% = \frac{0.068}{1.41} \times 100 = 4.801\%, \quad (4)$$

де k – скоригована оцінка для 8 критеріїв, так як $ВУ < 10\%$, то вважається, що здійснено адекватне оцінювання і можна здійснювати подальші обрахунки.

7. Етапи 3, 4, 5 і 6 проводяться для всіх рівнів ієрархії. Отримані результати розрахунків для всіх критеріїв ієрархії наведено в таблицях 3–10. Для проведення оцінки за агроекологічними показниками, вихідними даними є результати досліджень якісного стану ґрунтів Державної установи «Інститут охорони ґрунтів України» [22].

Для виведення нормалізованих оцінок за механічним складом (табл. 3) були виведені середні значення для різних областей за категоріями.

Таблиця 3 – Оцінка за механічним складом ґрунту

№ з/п	Область	Номер									Узагальнена оцінка за рН
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Волинська	1	1	1	0,5	0,33	0,5	0,5	0,33	0,33	0,056
2	Рівненська	1	1	1	0,5	0,33	0,5	0,5	0,33	0,33	0,056
3	Житомирська	1	1	1	0,5	0,33	0,5	0,5	0,33	0,33	0,056
4	Львівська	2	2	2	1	0,67	1	1	0,67	0,67	0,111
5	Тернопільська	3	3	3	1,5	1	1,5	1,5	1	1	0,167
6	Закарпатська	2	2	2	1	0,67	1	1	0,67	0,67	0,111
7	Івано-Франківська	2	2	2	1	0,67	1	1	0,67	0,67	0,111
8	Чернівецька	3	3	3	1,5	1	1,5	1,5	1	1	0,167
9	Хмельницька	3	3	3	1,5	1	1,5	1,5	1	1	0,167

Як видно з таблиці, найкращі показники за механічним складом мають Хмельницька, Чернівецька та Тернопільська області, найгірші – Волинська, Рівненська та Житомирська області.

Для виведення нормалізованих оцінок за ступенем кислотності були виведені середні значення для різних областей за категоріями, де дуже сильнокислі ґрунти отримали оцінку 1, сильнокислі – 2, середньокислі – 3, близькі до нейтрального – 4, нейтральні – 5, лужні – 6.

В результаті були отримані наступні нормалізовані оцінки, наведені в таблиці 4.

Як видно з таблиці 4, найкращі показники кислотності мають Хмельницька та Рівненська області, найгірші – Закарпатська, Чернівецька та Івано-Франківська.

Таблиця 4 – Оцінка за кислотністю ґрунту

№ з/п	Область	Номер									Узагальнена оцінка за рН
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Волинська	1	0,97	1,38	1,65	1,06	2,75	2,54	2,54	0,87	0,151
2	Рівненська	1,03	1	1,42	1,7	1,1	2,83	2,62	2,62	0,9	0,156
3	Житомирська	0,73	0,71	1	1,2	0,77	2	1,85	1,85	0,63	0,11
4	Львівська	0,61	0,59	0,83	1	0,65	1,67	1,54	1,54	0,53	0,092
5	Тернопільська	0,94	0,91	1,29	1,55	1	2,58	2,38	2,38	0,82	0,142
6	Закарпатська	0,36	0,35	0,5	0,6	0,39	1	0,92	0,92	0,32	0,055
7	Івано-Франківська	0,39	0,38	0,54	0,65	0,42	1,08	1	1	0,34	0,06
8	Чернівецька	0,39	0,38	0,54	0,65	0,42	1,08	1	1	0,34	0,06
9	Хмельницька	1,15	1,12	1,58	1,9	1,23	3,17	2,92	2,92	1	0,174

Для виведення нормалізованих оцінок за рівнем забезпеченості ґрунтів азотом (N), фосфором (P) і калієм (K) були виведені середні значення для різних областей за категоріями, де ґрунти з дуже низьким рівнем отримали оцінку 1, низьким – 2, помірним – 3, підвищеним – 4. В результаті були отримані наступні нормалізовані оцінки, що наведені в таблиці 5.

Як видно з таблиці, найкращі за рівнем забезпеченості ґрунтів NPK є ґрунти Хмельницької та Тернопільської областей, найгірші – Рівненської та Житомирської.

Таблиця 5 – Оцінка за рівнем забезпеченості ґрунтів NPK

№ з/п	Область	Номер									Узагальнена оцінка за рН
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Волинська	1	1,06	1,38	0,72	0,62	0,90	0,86	0,82	0,62	0,093
2	Рівненська	0,94	1	1,31	0,68	0,59	0,85	0,81	0,77	0,59	0,088
3	Житомирська	0,72	0,76	1	0,52	0,45	0,65	0,62	0,59	0,45	0,067
4	Львівська	1,39	1,47	1,92	1	0,86	1,25	1,19	1,14	0,86	0,129
5	Тернопільська	1,61	1,71	2,23	1,16	1	1,45	1,38	1,32	1	0,149
6	Закарпатська	1,11	1,18	1,54	0,80	0,69	1	0,95	0,91	0,69	0,103
7	Івано-Франківська	1,17	1,24	1,62	0,84	0,72	1,05	1	0,95	0,72	0,108
8	Чернівецька	1,22	1,29	1,69	0,88	0,76	1,1	1,05	1	0,76	0,113
9	Хмельницька	1,61	1,71	2,23	1,16	1	1,45	1,38	1,32	1	0,149

Для виведення нормалізованих оцінок за вмістом гумусу були виведені середні значення для різних областей за категоріями, де ґрунти з низьким рівнем отримали оцінку 1, середнім – 2, підвищеним – 3, високим – 4, дуже високим – 5. В результаті були отримані наступні нормалізовані оцінки, наведені в таблиці 6.

Таблиця 6 – Оцінка за вмістом гумусу

№ з/п	Область	Номер									Узагальнена оцінка за рН
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Волинська	1	0,69	0,78	0,58	0,5	0,61	0,48	0,6	0,53	0,068
2	Рівненська	1,46	1	1,13	0,85	0,73	0,89	0,69	0,87	0,77	0,099
3	Житомирська	1,29	0,89	1	0,75	0,64	0,79	0,61	0,77	0,68	0,087
4	Львівська	1,71	1,18	1,33	1	0,85	1,04	0,81	1,03	0,9	0,116
5	Тернопільська	2,01	1,38	1,56	1,17	1	1,22	0,95	1,2	1,06	0,136
6	Закарпатська	1,64	1,13	1,27	0,96	0,82	1	0,78	0,98	0,86	0,111
7	Івано-Франківська	2,1	1,44	1,63	1,23	1,05	1,28	1	1,26	1,11	0,142
8	Чернівецька	1,67	1,15	1,29	0,97	0,83	1,02	0,79	1	0,88	0,113
9	Хмельницька	1,9	1,3	1,47	1,11	0,95	1,16	0,9	1,14	1	0,128

Як видно з таблиці, найкращі ґрунти за рівнем гумусу в Івано-Франківській та Тернопільській областях, найгірші – у Волинській та Житомирській.

Для виведення нормалізованих оцінок за наближеністю до джерел забруднення були виведені середні значення для різних областей. Для цього по кожній з областей Західного регіону визначили площу територій, потенційно непридатних для органічного землекористування через наближеність до потенційних джерел забруднення (табл. 7).

Таблиця 7 – Розрахунок площі земель, непридатних для органічного землекористування через наближення до потенційних джерел забруднення

№ з/п	Область	Загальна площа, км ²	Площа земель, потенційно непридатних для органічного землекористування, км ²						Наближена площа придатних земель, км ²
			атомна енергетика	хімічна галузь	електрична генерація	легка промисловість	видобуток корисних копалин	машинобудування	
1	Волинська	20 144	-	2 010	942	2 000	1 000	730	13 462
2	Рівненська	20 047	706	4 020	628	2 000	1 000	730	10 963
3	Житомирська	29 832	-	4 020	942	2 000	1 000	730	21 140
4	Львівська	21 833	-	2 010	1 256	2 000	2 000	1 850	12 717
5	Тернопільська	13 823	-	2 010	942	2 000	1 000	730	7 141
6	Закарпатська	12 777	-	2 010	314	2 000	1 500	730	6 223
7	Івано-Франківська	13 900	-	2 010	942	2 000	1 500	730	6 718
8	Чернівецька	8 097	-	2 010	942	2 000	1 000	730	1 415
9	Хмельницька	20 645	706	2 010	942	2 000	1 000	1 850	12 137

Як видно з таблиць 7–8, найбільша площа земель віддалених від потенційних джерел забруднення у Житомирській, Волинській та Хмельницькій областях. Найменше потенційно придатних земель для органічного землекористування за цим критерієм у Чернівецькій та Закарпатській областях, через невелику площу самих областей.

Для виведення нормалізованих оцінок за забрудненістю пестицидами (табл. 9) були виведені середні значення для різних областей залежно від обсягів застосування різних груп пестицидів (пестициди, гербіциди, фунгіциди) [23; 24]. Чим більші обсяги використання пестицидів в області, тим більший ризик забруднення ґрунтів їх залишками.

Найвищу оцінку прогнозовано отримали Закарпатська та Івано-Франківська області, де переважає гірська місцевість і мало поширене сільське господарство. Найнижча в рейтингу – Хмельницька область, де завдяки родючим ґрунтам достатньо розвинене традиційне інтенсивне землекористування.

Для виведення нормалізованих оцінок за вмістом важких металів (бору, марганцю молібдену, міді, цинку, кобальту) в орному шарі ґрунту (табл. 10) були виведені середні значення по областях [25].

Таблиця 8 – Оцінка за наближеністю для потенційних джерел забруднення

№	Область	Номер									Узагальнена оцінка за наближеністю до джерел забруднення
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Волинська	1	1,23	0,64	1,06	1,89	2,16	2	9,51	1,11	0,146
2	Рівненська	0,81	1	0,52	0,86	1,54	1,76	1,63	7,75	0,9	0,119
3	Житомирська	1,57	1,93	1	1,66	2,96	3,40	3,15	14,94	1,74	0,23
4	Львівська	0,94	1,16	0,60	1	1,78	2,04	1,89	8,99	1,05	0,138
5	Тернопільська	0,53	0,65	0,34	0,56	1	1,15	1,06	5,05	0,59	0,078
6	Закарпатська	0,46	0,57	0,29	0,49	0,87	1	0,93	4,4	0,51	0,068
7	Івано-Франківська	0,50	0,61	0,32	0,53	0,94	1,08	1	4,75	0,55	0,073
8	Чернівецька	0,11	0,13	0,07	0,11	0,2	0,23	0,21	1	0,12	0,015
9	Хмельницька	0,90	1,11	0,57	0,95	1,7	1,95	1,81	8,58	1	0,132

Таблиця 9 – Оцінка за обсягами використання пестицидів

№ з/п	Область	Номер									Узагальнена оцінка за обсягами використання пестицидів
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Волинська	1	1,1	1,16	1,05	1,38	0,88	0,92	0,96	4,4	0,126
2	Рівненська	0,91	1	1,05	0,95	1,25	0,8	0,83	0,87	4	0,114
3	Житомирська	0,86	0,95	1	0,9	1,19	0,76	0,79	0,83	3,8	0,109
4	Львівська	0,95	1,05	1,11	1	1,31	0,84	0,88	0,91	4,2	0,12
5	Тернопільська	0,73	0,8	0,84	0,76	1	0,64	0,67	0,7	3,2	0,091
6	Закарпатська	1,14	1,25	1,32	1,19	1,56	1	1,04	1,09	5	0,143
7	Івано-Франківська	1,09	1,2	1,26	1,14	1,5	0,96	1	1,04	4,8	0,137
8	Чернівецька	1,05	1,15	1,21	1,1	1,44	0,92	0,96	1	4,6	0,131
9	Хмельницька	0,23	0,25	0,26	0,24	0,31	0,2	0,21	0,22	1	0,029

Таблиця 10 – Оцінка за забрудненням земель важкими металами

№ з/п	Область	Номер									Узагальнена оцінка за вмістом важких металів
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Волинська	1	0,93	1,09	0,76	0,65	0,94	0,56	0,62	0,66	0,084
2	Рівненська	1,07	1	1,16	0,81	0,69	1	0,6	0,67	0,7	0,091
3	Житомирська	0,92	0,86	1	0,7	0,6	0,86	0,52	0,57	0,6	0,078
4	Львівська	1,32	1,23	1,43	1	0,85	1,24	0,74	0,82	0,87	0,111
5	Тернопільська	1,55	1,44	1,68	1,17	1	1,45	0,87	0,96	1,01	0,131
6	Закарпатська	1,07	1,00	1,16	0,81	0,69	1	0,6	0,66	0,7	0,09
7	Івано-Франківська	1,78	1,66	1,93	1,35	1,15	1,67	1	1,11	1,17	0,15
8	Чернівецька	1,61	1,5	1,75	1,22	1,04	1,51	0,9	1	1,05	0,136
9	Хмельницька	1,53	1,42	1,66	1,16	0,99	1,43	0,86	0,95	1	0,129

За результатами оцінки, перевагу мають Івано-Франківська, Чернівецька, Тернопільська та Хмельницька області.

Для виведення нормалізованих оцінок за забруднення земель радіонуклідами (табл. 11) було розраховано середні значення для різних областей за категоріями, враховувалися забруднення плутонієм, цезієм-137 та америцієм-241 [26–28].

Хмельницька, Львівська та Тернопільська області отримали найвищу оцінку і є лідерами в рейтингу. Найбільш забрудненими радіонуклідами є землі в Житомирській, Рівненській, Волинській та Закарпатській областях.

Таблиця 11 – Оцінка за рівнем забруднення земель радіонуклідами

№ з/п	Область	Номер									Узагальнена оцінка за рівнем забруднення радіонуклідами
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Волинська	1	1,01	1,21	0,85	0,85	1,05	0,95	0,88	0,85	0,106
2	Рівненська	0,99	1	1,21	0,85	0,85	1,04	0,94	0,87	0,84	0,105
3	Житомирська	0,82	0,83	1	0,7	0,7	0,86	0,78	0,72	0,7	0,087
4	Львівська	1,17	1,18	1,42	1	1	1,23	1,11	1,03	0,99	0,123
5	Тернопільська	1,17	1,18	1,42	1,00	1	1,23	1,11	1,03	0,99	0,123
6	Закарпатська	0,95	0,96	1,16	0,82	0,82	1	0,91	0,84	0,81	0,1
7	Івано-Франківська	1,05	1,06	1,28	0,90	0,90	1,1	1,00	0,93	0,89	0,111
8	Чернівецька	1,14	1,14	1,38	0,97	0,97	1,19	1,08	1	0,97	0,12
9	Хмельницька	1,18	1,18	1,43	1,01	1,01	1,23	1,12	1,03	1	0,124

Таблиця 12 – Узгодженість всієї ієрархії

№	Область	Гранулометричний склад ґрунту	Кислотність ґрунту, рН	Вміст основних поживних речовин (NPK)	Рівень гумусу, %	Наближеність до джерел забруднення	Забруднення земель пестицидами	Забруднення земель важкими металами	Забруднення земель радіонуклідами	Глобальні пріоритети
	Нормалізовані оцінки по критеріях	0,04	0,056	0,061	0,092	0,186	0,123	0,17	0,273	
1	Волинська	0,056	0,151	0,093	0,068	0,146	0,126	0,084	0,106	0,108
2	Рівненська	0,056	0,156	0,088	0,099	0,119	0,114	0,091	0,105	0,105
3	Житомирська	0,056	0,11	0,067	0,087	0,23	0,109	0,078	0,087	0,113
4	Львівська	0,111	0,092	0,129	0,116	0,138	0,120	0,111	0,123	0,121
5	Тернопільська	0,167	0,142	0,149	0,136	0,078	0,091	0,131	0,123	0,117
6	Закарпатська	0,111	0,055	0,103	0,111	0,068	0,143	0,09	0,101	0,096
7	Івано-Франківська	0,111	0,06	0,108	0,142	0,073	0,137	0,15	0,111	0,113
8	Чернівецька	0,167	0,06	0,113	0,113	0,015	0,131	0,136	0,12	0,102
9	Хмельницька	0,167	0,174	0,149	0,128	0,132	0,029	0,129	0,124	0,121

8. Проводиться поетапна оцінка вагових коефіцієнтів елементів кожного наступного рівня ієрархії:

$$C_i = C_{i-1} \times B_i, \quad (5)$$

де C_{i-1} – вектор вагових коефіцієнтів елементів попереднього рівня, а B_i – матриця впливів елементів нижнього рівня на елементи попереднього рівня, що складається з векторів, отриманих за формулою (2); i – номер рівня ієрархії.

9. Узгодженість всієї ієрархії можна знайти, перемноживши кожен індекс узгодженості на пріоритет відповідного критерію і підсумувавши отримані числа (таблиця 12). Потім результат ділиться на вираз такого ж типу, але з випадковим індексом узгодженості, відповідним розмірам кожної зваженої пріоритетами матриці. Прийнятним є ставлення узгодженості близько 10% або менше. В іншому випадку якість суджень слід поліпшити, змінивши спосіб, завдяки якому задаються питання при проведенні парних порівнянь. Якщо це не допомагає поліпшити узгодженість, то, ймовірно, завдання слід більш точно структурувати, тобто згрупувати аналогічні елементи під більш значущими критеріями. І в цьому випадку потрібно повернутися до етапу 2, хоча перегляду можуть потребувати тільки сумнівні частини ієрархії.

В результаті отримуємо наступні глобальні пріоритети для розглянутих областей (таблиця 13), а на рис. 3 їх візуалізовано.

Таблиця 13 – Глобальні пріоритети розвитку органічного землекористування в Західному регіоні України

№ з/п	Область	Глобальні пріоритети
1.	Львівська	0,121
2.	Хмельницька	0,121
3.	Тернопільська	0,118
4.	Житомирська	0,114
5.	Івано-Франківська	0,113
6.	Волинська	0,108
7.	Рівненська	0,105
8.	Чернівецька	0,102
9.	Закарпатська	0,096

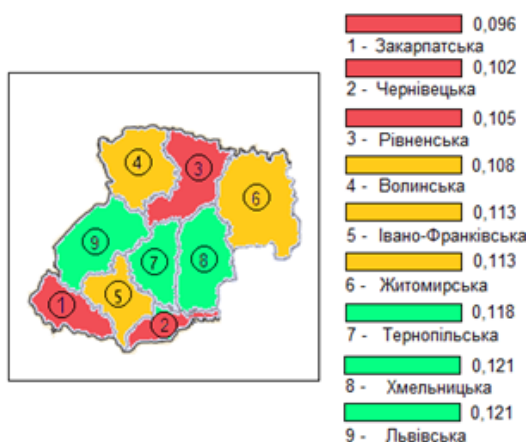


Рис. 3. Глобальні пріоритети розвитку органічного землекористування в Західному регіоні України

Висновки та перспективи подальших досліджень

За результатами оцінки за методом ієрархії, найбільший потенціал запровадження органічного землекористування у Західному регіоні України у Львівській, Хмельницькій та Тернопільській областях. Тобто, на території цих областей найбільша площа сільськогосподарських земель потенційно придатних для ведення органічного виробництва за еколого-токсикологічними та агрохімічними показниками. Перевага Західного регіону пов'язана в першу чергу з низькою концентрацією промислового виробництва, натомість Волинська, Рівненська та Житомирська області втратили позиції в рейтингу через забруднення ґрунтів радіонуклідами внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС.

Достовірність отриманих результатів оцінки за методом ієрархій підтверджують напрацювання науковців Інституту землеробства Національної академії аграрних наук (НААН) [29]. Відповідно до розробленої ними карти придатності ґрунтів для органічного землеробства, Західний регіон має переважно придатні та дуже придатні землі. Лідерами в Західному регіоні є Хмельницька, Івано-Франківська та Тернопільська області. До малопродатних прогнозовано потрапили території Волинської та більша частина Рівненської області.

В подальшому дослідження будуть спрямовані на використання методу ієрархій для проведення оцінки потенціалу території в розрізі районів області за ширшим переліком критеріїв, враховуючи побажання і пріоритети фермера (потенційного інвестора).

Подяка

Розрахунки були проведені в рамках виконання науково-технічної розробки за темою «Інформаційно-аналітична система органічного землеробства та забезпечення екологічної стійкості ґрунтів» (номер державної реєстрації НДР 01208U000235)

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Organicinfo.ua. Експорт української органічної продукції (2020 рік, огляд) – Organicinfo.ua / Organicinfo.ua. – <https://organicinfo.ua/infographics/ua-organic-export-2020/>.
2. Kitsoft. Про затвердження Національної економічної стратегії на період до 2030 року / Kitsoft. – <https://www.kmu.gov.ua/pras/pro-zatverdzhennya-nacionalnoyi-eko-a179>.
3. Скрипчук П.М. Науково-практичні засади виробництва органічної продукції / П.М. Скрипчук. – Рівне, 2015.
4. Новак Н.П. Принципи та конкурентні переваги розвитку органічного сільськогосподарського виробництва в Україні. / Н.П. Новак // Агросвіт. – 2016. – №9. – С. 30–33.
5. Органічне сільське господарство: екологоекономічні імперативи розвитку: монографія / ред. О.І. Шкуратов, В.А. Чудовська, А.В. Вдовиченко: К. : ДІА, 2015.
6. Писаренко В.М. Органічне землеробство для приватного сектора / В.М. Писаренко, П.В. Писаренко, С.В. Пономаренко: Полтава, 2017.
7. Писаренко П.В. Оцінка економічної ефективності органічного сільського господарства / П.В. Писаренко, Т.О. Чайка: Харків : Смуґаста типографія, 2015.

8. Шпак Г.М. Прикладні аспекти геоуправління в органічному землеробстві / Г.М. Шпак // Збалансоване природокористування. – 2019. – №2. – С. 33–41.
9. Інформаційне забезпечення розвитку органічного сільського господарства / ред. П.М. Скрипчук. – Рівне: НУВГП, 2018. – 354 с.
10. Хомюк Н.Л. Нормативно-правова база у сфері оподаткування органічного землекористування / Н.Л. Хомюк, П.М. Скрипчук // Інноваційна економіка. – 2018. – Т.7-8. – С. 78–86.
11. Akıncı H. Agricultural land use suitability analysis using GIS and AHP technique / H. Akıncı, A.Y. Özalp, B. Turgut // Computers and Electronics in Agriculture. – 2013. – Т.97. – С. 71–82.
12. Bhatta G.D. Farming Differentiation in the Rural-urban Interface of the Middle Mountains, Nepal: Application of Analytic Hierarchy Process (AHP) Modeling / G.D. Bhatta, W. Doppler // Journal of Agricultural Science. – 2010. – Т.2, №4.
13. Bunruamkaew K. Site Suitability Evaluation for Ecotourism Using GIS & AHP / K. Bunruamkaew, Y. Murayam // Procedia - Social and Behavioral Sciences. – 2011. – Т.21. – С. 269–278.
14. Ennaji W. GIS-based multi-criteria land suitability analysis for sustainable agriculture in the northeast area of Tadla plain (Morocco) / W. Ennaji, A. Barakat, M. El Baghdadi, H. Oumenskou, M. Aadraoui, L.A. Karroum, A. Hilali // Journal of Earth System Science. – 2018. – Т.127, №6. – С. 475.
15. Kieu P.T. A Spherical Fuzzy Analytic Hierarchy Process (SF-AHP) and Combined Compromise Solution (CoCoSo) Algorithm in Distribution Center Location Selection: A Case Study in Agricultural Supply Chain / P.T. Kieu, T. van Nguyen, V.T. Nguyen, T.P. Ho // Axioms. – 2021. – Т.10, №2. – С. 53.
16. Mishra A.K. Identification of suitable sites for organic farming using AHP & GIS / A.K. Mishra, S. Deep, A. Choudhary // The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science. – 2015. – Т.18, №2. – С. 181–193.
17. Alphonse C.B. Application of the analytic hierarchy process in agriculture in developing countries / C.B. Alphonse // Agricultural Systems. – 1997. – Т.53, №1. – С. 97–112.
18. Sajadian M. Developing and quantifying indicators of organic farming using analytic hierarchy process / M. Sajadian, K. Khoshbakht, H. Liaghati, H. Veisi, A. Mahdavi Damghani // Ecological Indicators. – 2017. – Т.83. – С. 103–111.
19. Жуковський В.В. Проектування та розробка геоінформаційно-аналітичної системи органічного виробництва / В.В. Жуковський, П.М. Скрипчук, Н.А. Жуковська // Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – 2018. – Т.29, №5. – С. 121–125.
20. Кулиняк І.Я. Метод аналізу ієрархій як інструмент оцінювання рівня інноваційної активності регіонів Західної України / І.Я. Кулиняк, Г.Р. Копець // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2017. – Т.873. – С. 60–71.
21. Онищенко С.В. Визначення стратегічних пріоритетів управління державними фінансами з використанням методу аналізу ієрархій / С.В. Онищенко // Науковий вісник Херсонського державного університету. Сер. Економічні науки. – 2017. – Т.Вип. 23, ч. 3. – С. 101–106.
22. Картограми якісного стану ґрунтів України / Інститут охорони ґрунтів України. – <https://www.iogu.gov.ua/pasportizaciya/karty-po-vmistu-pozhyvnyh-rechovyn-rn-humus-fosfor-kalij/>.
23. Antonenko A. Prediction of pesticide risks to human health by drinking water extracted from underground sources / A. Antonenko, O. Vavrinevych, S. Omelchuk, M. Korshun // Georgian Medical News. – 2015. – №244-245. – С. 99–106.
24. Vavrinevych O. Prediction of soil and ground water contamination with fungicides of different classes according to soil and climate conditions in Ukraine and other European countries / O. Vavrinevych, A. Antonenko, S. Omelchuk, M. Korshun, V. Bardov // Georgian Medical News. – 2015. – №242. – С. 77–84.

25. Барановський В.А. та інші. Україна. Еколого-географічний атлас. Атлас-монографія / В.А. Барановський // К.: Варта. – 2006.
26. Bondar O. Mapping of radiation pollution on the territory of Ukraine / O. Bondar, G. Finin, R. Shevchenko // *Ecological Sciences*. – 2020. – Т.2, №2. – С. 20–30.
27. Vlasyuk A.P. Mathematical Simulation of the Migration of Radionuclides in a Soil Medium Under Nonisothermal Conditions with Account for Catalytic Microparticles and Nonlinear Processes / A.P. Vlasyuk, V.V. Zhukovskii // *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. – 2017. – Т.90, №6. – С. 1386–1398.
28. Vlasyuk A. Parallel Computing optimization of Two-Dimensional Mathematical Modeling of Contaminant Migration in Catalytic Porous Media / A. Vlasyuk, V. Zhukovskyy, N. Zhukovska, S. Shatnyi // 2020 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT): IEEE, 16.09.2020 – 18.09.2020. – С. 23–28.
29. Інститут землеробства НААН розробив карту придатності ґрунтів для органічного землеробства. – http://naas.gov.ua/news/?ELEMENT_ID=5028.

Стаття надійшла до редакції 13.10.2021 і прийнята до друку після рецензування 11.01.2022

REFERENCES

1. Organicinfo.ua. Export of Ukrainian organic products (2020, review). Retrieved from: <https://organicinfo.ua/infographics/ua-organic-export-2020/>.
2. On approval of the National Economic Strategy for the period up to 2030. Retrieved from: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-zatverdzhennya-nacionalnoyi-eko-a179>.
3. Skripchuk, P.M. (2015). Scientific and practical principles of organic production. Rivne [In Ukrainian].
4. Novak, N.P. (2016). Principles and competitive advantages of organic agricultural production in Ukraine. *Agrosvit*, (9), 30–33 [In Ukrainian].
5. Shkuratov, O.I, Chudovskaya, V.A, & Vdovichenko, A.V. (Eds.). (2015). Organic agriculture: ecological and economic imperatives of development: monograph. Kyiv: DIA [In Ukrainian].
6. Pisarenko, V.M., Pisarenko, P.V. & Ponomarenko, S.V. (2017). Organic farming for the private sector. Poltava [In Ukrainian].
7. Pisarenko, P.V., & Chaika, T.O. (2015). Estimation of economic efficiency of organic agriculture. Kharkiv: Striped printing house. Retrieved from: <http://dspace.pdaa.edu.ua:8080/xmlui/handle/123456789/4616>.
8. Shpak, G.M. (2019). Applied aspects of geomangement in organic farming. *Balanced nature management*, (2), 33–41 [In Ukrainian].
9. Skripchuk, P.M. (Ed.). (2018). Information support for the development of organic agriculture. Rivne: NUVHP [In Ukrainian].
10. Khomyuk, N.L., & Skripchuk, P.M. (2018). Regulatory framework in the field of taxation of organic land use. *Innovative Economics*, 7-8, 78–86 [In Ukrainian].
11. Akıncı, H., Özalp, A. Y., & Turgut, B. (2013). Agricultural land use suitability analysis using GIS and AHP technique. *Computers and Electronics in Agriculture*, 97, 71–82. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.07.006>.
12. Bhatta, G.D., & Doppler, W. (2010). Farming Differentiation in the Rural-urban Interface of the Middle Mountains, Nepal: Application of Analytic Hierarchy Process (AHP) Modeling. *Journal of Agricultural Science*, 2(4). <https://doi.org/10.5539/jas.v2n4p37>.
13. Bunruamkaew, K., & Murayam, Y. (2011). Site Suitability Evaluation for Ecotourism Using GIS & AHP: A Case Study of Surat Thani Province, Thailand. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 21, 269–278. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.07.024>.
14. Ennaji, W., Barakat, A., El Baghdadi, M., Oumenskou, H., Aadraoui, M., Karroum, L. A., & Hilali, A. (2018). GIS-based multi-criteria land suitability analysis for sustainable

- agriculture in the northeast area of Tadla plain (Morocco). *Journal of Earth System Science*, 127(6), 475. <https://doi.org/10.1007/s12040-018-0980-x>.
15. Kieu, P.T., van Nguyen, T., Nguyen, V.T., & Ho, T.P. (2021). A Spherical Fuzzy Analytic Hierarchy Process (SF-AHP) and Combined Compromise Solution (CoCoSo) Algorithm in Distribution Center Location Selection: A Case Study in Agricultural Supply Chain. *Axioms*, 10(2), 53. <https://doi.org/10.3390/axioms10020053>.
16. Mishra, A.K., Deep, S., & Choudhary, A. (2015). Identification of suitable sites for organic farming using AHP & GIS. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18(2), 181–193. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2015.06.005>.
17. Alphonse, C.B. (1997). Application of the analytic hierarchy process in agriculture in developing countries. *Agricultural Systems*, 53(1), 97–112. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(96\)00035-2](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(96)00035-2).
18. Sajadian, M., Khoshbakht, K., Liaghati, H., Veisi, H., & Mahdavi Damghani, A. (2017). Developing and quantifying indicators of organic farming using analytic hierarchy process. *Ecological Indicators*, 83, 103–111. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.07.047>.
19. Zhukovskyy, V.V., Skripchuk, P.M., & Zhukovska, N.A. (2018). Design and development of geoinformation-analytical system of organic production. *Scientific notes of Tavriya National University named after V.I. Vernadsky. Series: Technical Sciences*, 29(5), 121–125 [In Ukrainian].
20. Kulinyak, I.Ya., & Kopets, G.R. (2017). Method of analysis of hierarchies as a tool for assessing the level of innovation activity in the regions of Western Ukraine. *Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic"*, 873, 60-71 [In Ukrainian].
21. Onishchenko, S.V. (2017). Determining strategic priorities of public finance management using the method of hierarchy analysis. *Scientific Bulletin of Kherson State University. Ser. Economic Sciences*, Vol. 23, part 3, 101–106 [In Ukrainian].
22. Cartograms of the quality of soils of Ukraine. Institute of Soil Protection of Ukraine. Retrieved from: <https://www.iogu.gov.ua/pasportizaciya/karty-po-vmistu-pozhyvnyh-rechovyn-rn-humus-fosfor-kalij/>.
23. Antonenko, A., Vavrinevych, O., Omelchuk, S., & Korshun, M. (2015). Prediction of pesticide risks to human health by drinking water extracted from underground sources. *Georgian Medical News*, (244-245), 99–106.
24. Vavrinevych, O., Antonenko, A., Omelchuk, S., Korshun, M., & Bardov, V. (2015). Prediction of soil and ground water contamination with fungicides of different classes according to soil and climate conditions in Ukraine and other European countries. *Georgian Medical News*, (242), 77–84.
25. Baranovsky, V.A. (2006). Ukraine. Ecological and geographical atlas. Atlas-monograph. Kyiv: Varta [In Ukrainian].
26. Bondar, O., Finin, G., & Shevchenko, R. (2020). Mapping of radiation pollution on the territory of Ukraine. *Ecological Sciences*, 2(2), 20–30. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.2-29.2.4>.
27. Vlasyuk, A.P., & Zhukovskii, V.V. (2017). Mathematical Simulation of the Migration of Radionuclides in a Soil Medium Under Nonisothermal Conditions with Account for Catalytic Microparticles and Nonlinear Processes. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 90(6), 1386–1398. <https://doi.org/10.1007/s10891-017-1697-4>.
28. Vlasyuk, A., Zhukovskyy, V., Zhukovska, N., & Shatnyi, S. (2020). Parallel Computing optimization of Two- Dimensional Mathematical Modeling of Contaminant Migration in Catalytic Porous Media. In *2020 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*, (pp. 23–28). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ACIT49673.2020.9208878>.
29. The Institute of Agriculture of NAAS has developed a map of soil suitability for organic farming. Retrieved from: http://naas.gov.ua/news/?ELEMENT_ID=5028.

The article was received 13.10.2021 and was accepted after revision 11.01.2022

Жуковський Віктор Володимирович

кандидат технічних наук, Національний університет водного господарства та природокористування

Адреса робоча: м. Рівне, вул. Соборна, 11

ORCID ID: 0000-0002-7088-6930 **e-mail:** v.v.zhukovsky@nuwm.edu.ua

Сидор Андрій Іванович

кандидат технічних наук, Національний університет водного господарства та природокористування

Адреса робоча: м. Рівне, вул. Соборна, 11

ORCID ID: 0000-0003-4911-7034 **e-mail:** a.i.sydor@nuwm.edu.ua

Шпак Галина Миколаївна

кандидат економічних наук, Національний університет водного господарства та природокористування

Адреса робоча: м. Рівне, вул. Соборна, 11

ORCID ID: 0000-0002-8588-441X **e-mail:** Shpak.galochka@gmail.com

Шатний Сергій В'ячеславович

кандидат технічних наук, Національний університет водного господарства та природокористування

Адреса робоча: м. Рівне, вул. Соборна, 11

ORCID ID: 0000-0003-4650-5090 **e-mail:** s.v.shatnyi@nuwm.edu.ua

ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ ТА СИСТЕМИ INFORMATION RESOURCES AND SYSTEMS

UDK 332.6

Serhii Verthehel¹

PhD in Military Sciences, Senior Research Assistant, Main Specialist of the Information and Analytical Center of the National Space Facilities Control and Test Center
ORCID ID: 0000-0001-7633-0389 *e-mail*: sergeygavrilovich54@gmail.com

Viacheslav Vyshniakov¹

PhD in Technical Sciences, Chief of the Radar Data Processing and Stereo Imaging Group of the Information and Analytical Center of the National Space Facilities Control and Test Center
e-mail: wishnya_dzz@ukr.net

Vitalii Hurelia²

PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor of Geodesy and Land Management Department of the Polissya National University
ORCID ID: 0000-0001-8283-0152 *e-mail*: Gurelya.v@gmail.com

Serhii Slastin¹

Chief of the Satellite Data Processing Group of the Information and Analytical Center of the National Space Facilities Control and Test Center
ORCID ID: 0000-0002-4173-265X *e-mail*: sergeyslastin@gmail.com

Oleh Piskun¹

Chief of the Space Systems Department of the Special Programs Center of the National Space Facilities Control and Test Center
ORCID ID: 0000-0002-2009-9314 *e-mail*: piskun@nkau.gov.ua

Serhii Kharchenko¹

Chief of the Department of the Information and Analytical Center of the National Space Facilities Control and Test Center
ORCID ID: 0000-0001-6011-4227 *e-mail*: pochtoka@gmail.com

Viacheslav Moroz¹

Chief of the Security and Defense Forces Support Department of the Information and Analytical Center of the National Space Facilities Control and Test Center
ORCID ID: 0000-0001-5028-6332 *e-mail*: viachesl.savv@gmail.com

¹ National Space Facilities Control and Test Center, Kyiv, Ukraine

² Polissya National University, Zhytomyr, Ukraine

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR CREATING AND UPDATING THE CARTOGRAPHIC BASE USING SPACE IMAGES FROM «SUPER VIEW-1» SATELLITES

Abstract. Data obtained by remote sensing of land (remote sensing) from space, at this time in the world are widely used to create orthophotos in solving the following tasks: creating inventories and land management; creating and updating maps; planning and management of municipal territories; general monitoring of territories; in architecture and construction; in geological works; in design and survey works; when creating a basic cartographic substrate for various applications. The article presents the authors' views on the possibility of using Earth Remote Sensing data from the «SuperView-1» satellites to create and update cartographic bases based on the capabilities of the NSFCTC. The advantages of using digital orthorectification technology based on space images are presented. The technical characteristics of the SuperView-1 satellites and UNSPI-8.2 receiving station, which makes it possible to receive data from satellites are provided. The algorithm and results of practical experiment for orthophotos creation on a scale of 1:10,000 using space images from SuperView-1 satellites are presented. In general, the data from SuperView-1 satellites have been shown to be suitable for creating orthophotos on a scale of 1:10,000. The application of this technology to create digital cartographic support of territories on the basis of space survey materials will significantly reduce the cost of obtaining planning and cartographic materials, which in turn will reduce the time and cost of designing spatial data infrastructure, preparation of relevant documents for spatial planning. At the same time, it is possible to update planning and cartographic materials by monitoring and adjusting their changes.

Keywords: Earth Remote Sensing; space images; orthophoto; topographic and geodetic information

С.Г. Вертегел¹, В.Ю. Вишняков¹, В.В. Гуреля², С.О. Сластін¹, О.М. Піскун¹, С.П. Харченко¹, В.С. Мороз¹

¹ Національний центр управління та випробувань космічних засобів, м. Київ, Україна

² Поліський Національний університет, м. Житомир, Україна

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ СТВОРЕННЯ І ОНОВЛЕННЯ КАРТОГРАФІЧНОЇ ОСНОВИ З ВИКОРИСТАННЯМ КОСМІЧНИХ ЗНІМКІВ ВІД СУПУТНИКІВ «SUPER VIEW-1»

Анотація. Дані, отримані шляхом дистанційного зондування землі (ДЗЗ) з космосу, на цей час у світі знайшли досить широке застосування для створення ортофотопланів у вирішенні наступних завдань: створення кадастрів та ведення землеустрою; створення та оновлення карт; планування та управління муніципальними територіями; загальний моніторинг територій; в архітектурі і будівництві; у геологічних роботах; у проектно-вишукувальних роботах; при створенні базової картографічної підкладки для різних додатків. У статті викладені погляди авторів на можливість використання даних ДЗЗ від супутників «SuperView-1» для створення і оновлення картографічних основ, виходячи з існуючих в НЦУВКЗ можливостей. Викладені переваги використання технології цифрової орторектифікації на основі космічних знімків. Надані технічні характеристики супутників серії «SuperView-1» та приймальної станції с УНСПІ-8.2, що здійснює отримання даних від них. Наведено алгоритм та

результати проведення практичного експерименту для створення ортофотопланів масштабу 1:10000 на базі використання космічних знімків від супутників «SuperView-1». Доведено, що в цілому дані, отримані з супутників «SuperView-1», є придатними для створення ортофотопланів масштабу 1:10000. Застосування зазначеної технології створення цифрового картографічного забезпечення територій за матеріалами космічної зйомки дозволить значно скоротити витрати на отримання планово-картографічних матеріалів, що у свою чергу забезпечить скорочення термінів та витрат на проектування інфраструктури просторових даних, підготовку відповідних документів для територіального планування.

Ключові слова: дистанційне зондування Землі; космічні знімки; ортофотоплан; топографо-геодезична інформація

DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.1.89-101>

Вступ

Ортофотоплани як фотографічний план місцевості на точній геодезичній опорі, отриманий шляхом аерофотозйомки з подальшим перетворенням знімків з центральної проекції в ортогональну за допомогою методу ортотрансформування, були розроблені ще в середині 60-х рр. 20 ст. Отримані знімки дозволяли скласти ортофотоплан на будь-які райони, що істотно розширяло вживання аеро-фотознімальних матеріалів при топографічних, геологічних та ін. проектно-дослідницьких роботах. Основним недоліком проведення аерофотозйомки була її достатньо велика вартість та обмеженість району проведення зйомки.

Сьогодні в космосі працюють десятки апаратів різних типів, що виконують збір даних різними дистанційними методами. Серед них значну роль відіграють комерційні апарати, знімки яких доступні для використання не тільки урядовим та військовим структурам, а й широкому колу користувачів. Дані, отримані шляхом дистанційного зондування землі (ДЗЗ) з космосу, на цей час у світі знайшли досить широке застосування для створення ортофотопланів у вирішенні наступних завдань:

- створення кадастрів та ведення землеустрою;
- створення та оновлення карт;
- планування та управління муніципальними територіями;
- загальний моніторинг територій;
- в архітектурі і будівництві;
- у геологічних роботах;
- у проектно-вишукувальних роботах;
- при створенні базової картографічної підкладки для різних додатків.

Ортотрансформування усуває спотворення на знімку, обумовлені рельєфом місцевості і відхиленнями осі фотоапарата від вертикалі при зйомці. Цифрові ортофотоплани та створені на їх основі цифрові моделі територій є основою для створення та ведення геоінформаційних систем (ГІС) різного призначення: сільськогосподарських земель, ділянок, відведених для будівництва, земель державної та приватної власності тощо.

Постановка проблеми. Одним з найважливіших напрямків ефективного розвитку України та її регіонів є забезпечення раціональної організації територій, яку неможливо здійснити без наявності єдиної актуалізованої цифрової планово-картографічної основи. Необхідність створення планово-

картографічної основи для ведення державного земельного кадастру та обліку об'єктів нерухомості на землях та відповідних територіях було визначено у Законі України від 13.04.2020 р. № 544-IX та постанові Кабінету Міністрів України від 26. 05. 2021 р. № 522 [1, 2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз останніх публікацій показує, що вони мали «загальну цільову спрямованість», в основному стосувались загальних питань, наприклад, таких як формування інфраструктури геопросторових даних, топографічного моніторингу, створення еталонної моделі топографічних даних, і не мали «вузьку цільову спрямованість» практичного характеру [3, 4, 5, 6].

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою статті є на основі наявних в НЦУВКЗ сил та засобів для прийому та обробки даних ДЗЗ від супутників «SuperView-1» оцінити можливість їх використання для створення й оновлення картографічної основи. Для оцінки можливостей та визначення показників точності передбачити проведення практичного експерименту зі створення ортофотопланів за матеріалами космічної зйомки від супутників «SuperView-1», отриманих на приймальню станцію НЦУВКЗ.

Викладення основних матеріалів досліджень

Наявна у державних органах топографо-геодезична інформація повинна відповідати реальній обстановці та регулярно оновлюватись. Це надасть можливість підтримувати її у актуальному стані і забезпечить ефективне вирішення низки важливих завдань, наприклад, таких як землевпорядкування, містобудівництво та проектування об'єктів будівництва, вирішення майнових відносин, оперативного керівництва територіями. Крім того, потрібно зазначити, що досі наявна більшість топографічних матеріалів представлена на паперових носіях, що суттєво ускладнює формування єдиних просторових даних регіону та не дозволяє використовувати сучасні комп'ютерні технології для вирішення проектних, виробничих та управлінських завдань.

Як було зазначено вище, ортофотоплан може бути отриманий різними способами: шляхом цифрової обробки космічних знімків, аерознімків, а також знімків, одержаних від безпілотників. Технологія цифрової орторектифікації аерокосмічних знімків передбачає здійснення наступних процедур:

- виконання зйомки з перекриттям (зазвичай 60% уздовж маршруту і 30% – між маршрутами);
- геодезична прив'язка знімків за допомогою наземних контрольних точок;
- побудова цифрової моделі рельєфу;
- виконання орторектифікації і формування остаточного продукту – ортофотоплану у вигляді цифрової мозаїки ортотрансформованих знімків.

Останнім часом у світі у якості базової основи для забезпечення вирішення завдань топографічного картографування на перший план вийшли космічні знімки. До основних переваг використання супутникових даних ДЗЗ у картографії слід віднести наступні:

- наявність значної кількості супутників ДЗЗ на орбіті, в тому числі космічних апаратів (КА) з характеристиками високого та понад високого розрізнення, що забезпечує великий вибір даних з різноманітними параметрами;
- підвищення точності позиціонування без польової прив'язки до 1-5 м;
- висока оперативність отримання результатів зйомки;

• низька вартість даних ДЗЗ та витрат на їх обробку у порівнянні з аерофотозйомкою та геодезичними методами.

Це обумовлює доцільність залучення супутників ДЗЗ для вирішення завдань топографічного картографування.

НЦУВКЗ на цей час є єдиною в Україні організацією, що забезпечує весь спектр заходів з експлуатації космічних систем різного призначення, зокрема дистанційного зондування Землі. Після проведеної у 2018 році у філії НЦУВКЗ – Центрі прийому та обробки спеціальної інформації та контролю навігаційного поля (ЦПОСІ та КНП) модернізації універсальної наземної станції прийому інформації УНСПІ-8,2 (розташована у с. Залісці, Дунаєвецького р-ну, Хмельницької обл.) з'явилась можливість отримувати інформацію ДЗЗ від супутників серії «SuperView-1» (01, 02, 03, 04) та інших супутників типу SuperView. Встановлене у станції УНСПІ-8,2 нове програмне забезпечення дозволяє здійснювати декодування, розпаковування прийнятих станцією даних ДЗЗ з радіометричною корекцією та системною геометричною корекцією отриманих даних. Станція прийому інформації УНСПІ-8,2 призначена для здійснення прийому, демодуляції, реєстрації і передачі для подальшої обробки сигналів з КА ДЗЗ «SuperView-1» в X-діапазоні та виконання наступних функцій:

- наведення антени на КА і супровід його під час сеансу зв'язку;
- прийом радіосигналу КА і перетворення його в сигнал проміжної частоти;
- демодуляція прийнятого інформаційного сигналу проміжної частоти та перетворення його в бітовий потік;
- реєстрація інформації в темпі прийому;
- оперативне керування режимами роботи станції та документування результатів контролю і якісних показників прийому інформації.

Основні технічні характеристики станції УНСПІ-8,2 наведені у табл. 1, а зовнішній вигляд станції УНСПІ-8,2 та її апаратного залу наведено на рис. 1 і 2.

Таблиця 1 – Основні технічні характеристики станції УНСПІ-8,2

Найменування характеристики	Значення
1 Тип антени	Дзеркально-параболічна
2 Діаметр дзеркала антени, м	12
3 Діапазон робочий частот, ГГц	7,700-8,500
4 Поляризація вхідного сигналу	кругова права, кругова ліва
5 Кількість каналів прийому даних корисного навантаження	5
6 Тип модуляції, швидкість прийому інформації	BPSK, QPSK, OQPSK, UQPSK, AQPSK, 8PSK
7 Швидкість прийому даних, Мб/с	до 500
8 Ширина діаграми спрямованості, кут. хв.	13,5±1,5
9 Управління АС	програмне, ручне
10 Тип опорно-поворотного пристрою	азимутально-кутомісна
11 Діапазон обертання по азимуту, град.	0±270
12 Діапазон обертання по куту місця, град.	7-85
13 Максимальна швидкість наведення по азимуту, град/с.	10
14 Максимальна швидкість наведення по куту місця, град/с.	5

Продовження таблиці 1

Найменування характеристики	Значення
15 Максимальна динамічна похибка наведення при супроводженні за ЦВ, кут. хв.	2
16 Максимально допустима швидкість вітру, м/сек.	25
17 Мінімальний час між сеансами, хв.	10
18 Посилення антенної системи, Дб	50
19 Чутливість приймального тракту, Дб	105
20 Кількість каналів прийому даних корисного навантаження	2
21 Енергоспоживання, кВт	2
22 Маса антенної системи, т	1,5



Рис. 1. Зовнішній вигляд станції УНСП-8.2 при сеансі зв'язку з КА «SuperView-1»



Рис. 2. Зовнішній вигляд апаратного залу станції УНСП-8.2

На цей час у світі лише 4 компанії-оператори ДЗЗ, які надають інформацію з просторовою розрізненістю 50 см та краще: DigitalGlobe (США), Airbus Defence and Space (СН), SI Imaging Services (Пд. Корея), China Great Wall Industry Corporation (Китай). Космічні апарати «SuperView-1» (GaoJing-1) – це орбітальне угруповання китайських супутників ДЗЗ з високою просторовою розрізненістю, що працюють в інтересах цивільних споживачів. Китайська компанія-оператор SpaceView запланувала до 2022 р. повністю завершити розгортання всього супутникового угруповання з 16 оптичних супутників з просторовою розрізненістю 50 см, 4 оптичних супутників з просторовою розрізненістю краще ніж 50 см, 4 радарних супутників Ч діапазону та великої кількості супутників для проведення зйомки у гіперспектральному режимі та відеозйомки. В зв'язку з цим слід зазначити, що з 2018 р. на засобах НЦУВКЗ розпочато постійний прийом даних з супутників серії «SuperView-1» (1, 2, 3, 4), власником яких є компанія «Great Wall», КНР. Основні технічні характеристики супутників серії «SuperView-1» наведені у табл. 2.

Згідно з даними [7] для отримання допустимої точності картографування та граничних масштабів картографування інформація з КА «SuperView-1» теоретично підходить для складання планів масштабу 1:10000. При цьому середньоквадратична похибка в площині для масштабу 1:10000 має становити 1 м, по висоті – 1,7 м. З метою оцінки можливості використання космічних знімків від супутників «SuperView-1» для створення ортофотопланів масштабу 1:10000 було розроблено блок-схему проведення практичного експерименту, яка наведена на рис. 3.

Таблиця 2 – Технічні характеристики супутників серії «SuperView-1»

№ з. п.	Назва характеристики	Значення параметрів
1	Орбіта	530 км кругова сонячно-синхронна
2	Період	97 хв.
3	Період життєдіяльності	8 років
4	Спектральні діапазони	1 Panchromatic: 450-890 nm 4 Multispectral: Blue: 450-520 nm Green: 520-590 nm Red: 630-690 nm Near-IR: 770-890 nm
5	Розрізнення	PAN: 0.5 m; MS: 2.0 m (Надир)
6	Динамічний діапазон	11 bits
7	Смуга зйомки	12.1 км (Надир)
8	Швидкість передачі даних	2 * 450 Мбіт/с
9	Період ревізиту	2-4 доби (залежно від кута нахилу)
10	Точність позиціонування	9,5 м CE90 (Надир)
11	Відхилення платформи	До +/-30° (за потреби до +/-45°)
Режими зйомки:		
12	Смугова (longtrip)	12~24 км (R) 4500 км (A)
13	5 смуг – мозаїка (multi-strip)	60 км (R) x 70 км (A)
14	Точкова зйомка по декількох цілях (multi-point)	12~24 км (R) 500 км (A)
15	Стерео (stereoscopiccollections)	12~24 км (R) 120 км (A)

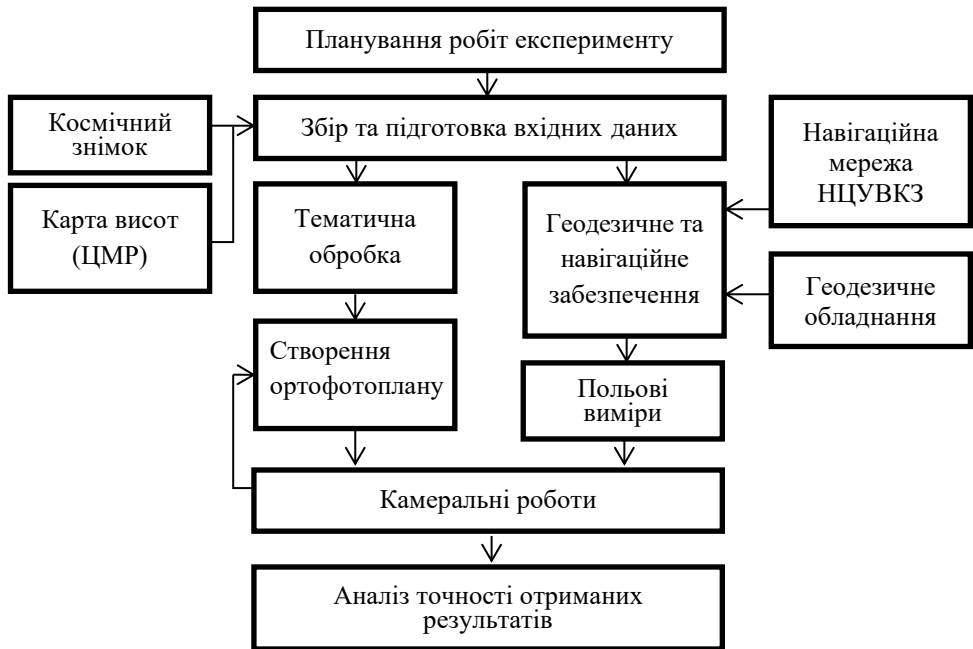


Рис. 3. Узагальнена блок-схема проведення експерименту з оцінки можливостей використання космічних знімків від супутників «SuperView-1» для створення і оновлення картографічної основи

Проведення експерименту здійснювалось у *три етапи*.

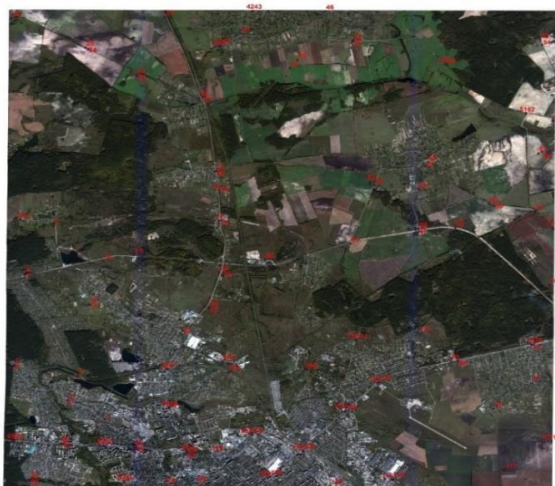
На *першому етапі* здійснювалось планування робіт експерименту, збір та підготовка необхідних вхідних даних. В процесі планування вибиралася ділянка територій, на якій має здійснюватись картографування місцевості з використанням даних ДЗЗ та її просторово-територіальна прив'язка.

В ході проведення робіт з планування:

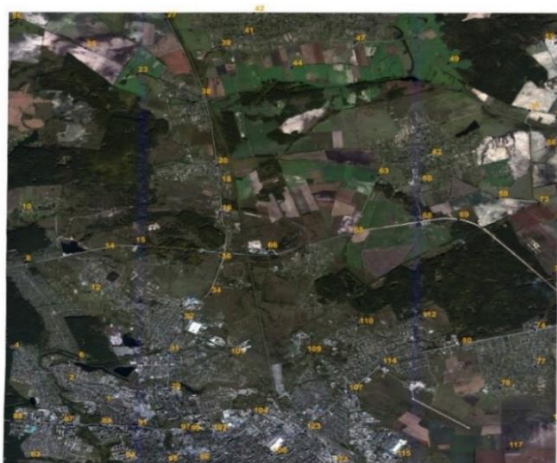
- здійснювалось приведення зображення в задану картографічну проекцію;
- обиралась робоча система координат: Pulkovo_1942_GK_Zone_5, датум - D_Pulkovo_1942);
- обиралась цифрова модель рельєфу (ЦМР): SRTM GL1*;
- здійснювалась попередня обробка космічного зображення з розрахунком RPC коефіцієнтів для проведення операцій орторектифікації з використанням координат опорних точок**;
- здійснювалось визначення контрольних точок для проведення вимірів на зображенні (рис. 4а);
- здійснювалось визначення контрольних точок для проведення геометричної трансформації (рис. 4б);
- здійснювалось визначення контрольних точок для проведення практичної перевірки (рис. 4в);
- проводився вибір та підготовка маршрутів збору наземних польових вимірів.

В ході виконання робіт першого етапу експерименту були визначені та отримані наступні вхідні дані:

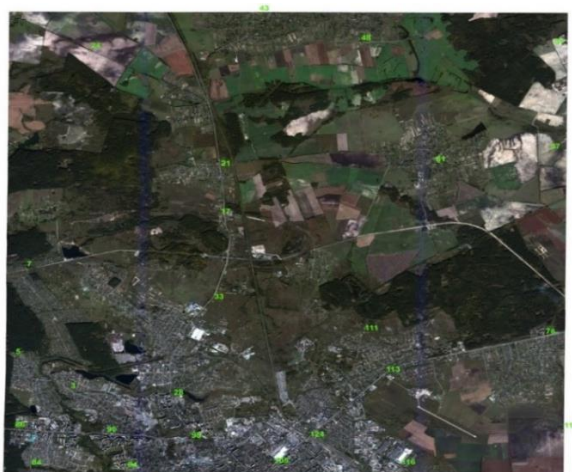
- забезпечено отримання даних РТК сервісу НЦУВКЗ від станції, що розміщена на споруді Поліського національного університету (м. Житомир);
- здійснено отримання даних від геодезичного обладнання НЦУВКЗ (GNSS приймач EInav i70), допустима точність вимірів в місці проведення експерименту: в площині – ± 2 см, по висоті – ± 5 см;
- на космічному знімку з КА «SuperView-1» здійснено підбір об'єктів для визначення їх просторового положення по координатах X, Y та Z, що дозволяють провести їх подальшу ідентифікацію в процесі отримання ортофотоплану;
- сплановано оптимальний маршрут руху для здійснення польових вимірів.



a)



б)



в)

Рис. 4. Розташування контрольних точок на місцевості: а) для планування проведення вимірів на місцевості; б) для проведення геометричної трансформації зображення; в) для проведення перевірки точності

Примітка. * Цифрова модель рельєфу SRTM створена на основі даних радарної інтерферометричної зйомки земної поверхні радарним комплексом SIR-C/X-SAR, з борта КА Shuttle Endeavour у діапазоні хвиль С (5,6 см) та Х (3,1 см), який вимірює висоту радарного відображення, а не висоту топографічної поверхні. В зв'язку з цим коректна оцінка точності рельєфу, як правило, можлива для відкритих незабудованих територій та тих, які не мають рослинності. ЦМР SRTM відкрита для доступу у мережі Інтернет [8].

** Для підвищення точності отримання наземних польових вимірів була задіяна глобальна навігаційна супутникова система (ГНСС) НЦУВКЗ, яка забезпечувала формування та надання диференціальних поправок для користувачів GNSS в стандарті RTCM.

На *другому етапі* проведено польові виміри, здійснено заміри 120 точок.

На *третьому етапі* здійснювались камеральні (лабораторні) роботи, які були спрямовані на створення ортофотоплану та проведення аналізу точності отриманих результатів експерименту.

При створенні *ортофотоплану* виконувались наступні кроки:

- з використанням модулів програмного забезпечення ENVI 5.5 здійснювалась операція ортотрансформування космічного знімку;
- використані RPC коефіцієнти, що були сформовані станцією попередньої обробки (SV1-01_20181011_L2A0000784315_SV20181022114834_01-PAN. rpb);
- використана цифрова модель рельєфу Shuttle Radar Topography Mission (SRTM GL1) Global 30m Ellipsoid.

Після створення ортофотоплану було проведено аналіз якості отриманих результатів експерименту, а саме здійснена оцінка точності геоприв'язаного зображення космічного знімку з КА «SuperView-1» та визначення максимально можливих похибок.

Результати розрахунків максимальних похибок у площині, нев'язок та загальні середньоквадратичні похибки в площині при афінному трансформуванні поліномом 1-го порядку, в залежності від різної кількості опорних точок, з перевіркою по 4 контрольних точках, наведені у табл. 3.

Таблиця 3 – Результати розрахунків максимальних похибок у площині, нев'язок та загальних середньоквадратичних похибок космічних знімків від супутників «SuperView-1»

№ з. п.	Назва характеристики	Значення параметрів, м
1	Результати розрахунку для 5 опорних точок:	
1.1	максимальна похибка по X	0,42
1.2	максимальна похибка по Y	0,12
1.3	максимальна нев'язка	0,44
1.4	загальна середньоквадратична похибка	0,39
2	Результати розрахунку для 9 опорних точок:	
2.1	максимальна похибка по X	0,41
2.2	максимальна похибка по Y	0,14
2.3	максимальна нев'язка	0,43
2.4	загальна середньоквадратична похибка	0,38
3	Результати розрахунку для 35 опорних точок:	
3.1	максимальна похибка по X	0,55
3.2	максимальна похибка по Y	0,21
3.3	максимальна нев'язка	0,58
3.4	загальна середньоквадратична похибка	0,52

Проведений аналіз точності отриманих результатів експерименту показав наступне:

- з огляду на відсутність можливості використати готовий ортофотоплан на зону інтересу, в ході підготовки опорних точок були проведені польові виміри опорних точок з використанням геодезичного обладнання та диференційних поправок з навігаційної системи ГНСС з похибками по горизонталі ± 2 мм, по висоті ± 5 мм;
- знімок з рівнем обробки 2A вимагає проведення додаткових операцій корегістрації, паншарпенінгу та геометричної корекції по опорних точках;
- в процесі ортотрансформації були використані RPC коефіцієнти, що формуються автоматично станцією УНСП-8.2, здійснена геометрична корекція по опорних точках з визначенням максимальних похибок, нев'язок та

загальних середньоквадратичних похибок при афінному трансформуванні для поліному 1-го порядку з використанням 5, 9 та 35 опорних точок;

- встановлено, що середньоквадратичні похибки знаходяться в межах 0,38–0,52 м, що є прийнятним для точності в площині для масштабу 1:10000, причому виявилось достатнім використання 5 опорних точок для додаткової прив'язки зображення;

- точність результатів оцінки по висоті суттєво залежить від обраної цифрової моделі рельєфу, визначено, що для масштабу 1:10000 середньоквадратична похибка по висоті має складати не більше 1,7 м;

- встановлено, що використана в ході експерименту ЦМР SRTM GL1 надає точність в площині близько 30 м та середньоквадратичну похибку по висоті до 16 м, що дозволяє стверджувати про невідповідність умов допуску похибки по висоті для масштабу 1:10000 та вимагає в процесі створення ортофотоплану на основі даних з КА «SuperView-1» використання ЦМР з середньоквадратичною похибкою не гірше 1,7 м;

- в цілому дані, отримані з КА «SuperView-1», є придатними для створення ортофотопланів масштабу 1:10000 за умови забезпечення відповідних вхідних даних.

Отримані в ході проведення практичного експерименту результати дають можливість зробити наступні узагальнені висновки.

Висновки

1. В результаті експерименту була проведена практична перевірка можливостей використання даних з КА «SuperView-1» компанії «Great Wall» для створення на їх основі ортофотопланів масштабу 1:10000. Технологія створення цифрового картографічного забезпечення територій за матеріалами космічної зйомки дає можливість оперативно створювати та оновлювати топографічні плани необхідних масштабів як для території, так і для окремих локальних об'єктів.

2. Отримані цифрові ортофотоплани являють собою трансформоване та масштабоване фотографічне представлення визначених ділянок території. Цифрові ортофотоплани за своєю сутністю можуть стати раціональною основою для виконання робіт, що пов'язані з землевпорядкуванням. Їх використання дозволить практично максимально виключити польові геодезичні роботи, які пов'язані з прокладенням теодолітних проходів та топографічною зйомкою для визначення координат поворотних точок кордонів та меж ділянок землевпорядкування.

3. Застосування зазначеної технології створення цифрового картографічного забезпечення територій за матеріалами космічної зйомки дозволить значно скоротити витрати на отримання планово-картографічних матеріалів, що у свою чергу забезпечить скорочення термінів та витрат на проектування інфраструктури просторових даних, підготовку відповідних документів для територіального планування. При цьому оновлення планово-картографічних матеріалів можливо здійснювати шляхом моніторингу та корегування їх змін.

4. За результатами космічної зйомки можливо буде складати цифрові ортофотоплани, що нададуть можливість відслідковувати картографічні зміни та здійснювати картографічне оновлення. При застосуванні цієї технології ресурсні витрати будуть в основному пов'язані із закупівлею космічних знімків та проведенням камеральних фотограмметричних робіт.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Закон України «Про національну інфраструктуру геопросторових даних» від 13.04.2020 р. № 544-ІХ.
2. Постанова Кабінету Міністрів України «Порядок функціонування національної інфраструктури геопросторових даних» від 26. 05. 2021 р. № 522.
3. Ю.О. Карпінський, А.А. Лященко, Т.М. Квартич. Концептуальні засади створення системи Державного топографічного моніторингу місцевості. Вісник геодезії та картографії. – 2011. – № 3. – С. 27–31.
4. Ю.О. Карпінський. Стратегія формування національної інфраструктури геопросторових даних в Україні [Текст] / Ю.О. Карпінський, А.А. Лященко. – К.: НДІГК, 2006. – 108 с.: іл. – (Сер. "Геодезія, картографія, кадастр").
5. Ю.О. Карпінський. Еталонна модель бази топографічних даних [Текст] / Ю.О. Карпінський, А.А. Лященко, Р.М. Рунець // Вісн. геодез. та картогр. – 2010. – № 2. – С. 28–36.
6. Ю.О. Карпінський. Топографічне картографування в Національній інфраструктурі геопросторових даних [Текст] / Ю.О. Карпінський, А.А. Лященко // Національне картографування: стан, проблеми та перспективи розвитку; зб. наук. пр. – К.: ДНВП "Картографія", 2010. – Вип. 4. – С. 52–60.
7. Основні положення створення та оновлення топографічних карт масштабів від 1:10000 до 1:1000000. Головне управління геодезії, картографії та кадастру України. Наказ №156 від 31.12.1999 р.
8. Цифрова модель рельєфу SRTM. – Режим доступу: <http://dds.cr.usgs.gov/srtm>.

Стаття надійшла до редакції 09.12.2021 і прийнята до друку після рецензування 02.03.2022

REFERENCES

1. Law of Ukraine On the National Infrastructure of Geospatial Data of April 13, 2020 No. 544-IX.
2. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine «Procedure for the functioning of the national infrastructure of geospatial data» of May 26, 2021 No. 522.
3. Karpinsky, Yu.O., Lyashchenko, A.A., & Kvartych, T.M. (2011). Conceptual principles of creating a system of State topographic monitoring of the area. *Geodesy and Cartography Bulletin*, 3, 27-31 [in Ukrainian].
4. Karpinskii, Yu.O., & Lyashchenko, A.A. (2006). Strategy of formation of national infrastructure of geospatial data in Ukraine. Kyiv: NDIGK [in Ukrainian].
5. Karpinskii, Yu.O., Lyashchenko, A.A., & Runets, R.M. (2010). Reference model of topographic data base. *Geodesy and Cartography Bulletin*, 2, 28-36 [in Ukrainian].
6. Karpinskii, Yu.O., & Lyashchenko, A.A. (2010). Topographic mapping in the National Infrastructure of Geospatial Data. *National mapping: state, problems and prospects of development; Collection of scholarly articles*, 4, 52-60 [in Ukrainian].
7. Basic provisions for creating and updating topographic maps of scales from 1:10000 to 1:1000000. The State Service of Ukraine for Geodesy, Cartography and Cadastre. Order №156 of 31.12.1999.
8. SRTM digital terrain model. Retrieved from: <http://dds.cr.usgs.gov/srtm>.

The article was received 09.12.2021 and was accepted after revision 02.03.2022

Вертегел Сергій Гаврилович

кандидат військових наук, старший науковий співробітник, провідний фахівець інформаційно-аналітичного центру Національного центру управління та випробувань космічних засобів

Адреса робоча: 01010 Україна, м. Київ, вул. Московська, 8

ORCID ID: 0000-0001-7633-0389 **e-mail:** sergeygavrilovich54@gmail.com

Вишняков В'ячеслав Юрійович

кандидат технічних наук, начальник групи обробки радіолокаційних даних та стереозйомки інформаційно-аналітичного центру Національного центру управління та випробувань космічних засобів

Адреса робоча: 01010 Україна, м. Київ, вул. Московська, 8

e-mail: wishnya_dzz@ukr.net

Гуреля Віталій Володимирович

кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри геодезії та землеустрою Поліського національного університету

Адреса робоча: 10002 Україна, м. Житомир, бульвар Старий, 7

ORCID ID: 0000-0001-8283-0152 **e-mail:** Gurelya.v@gmail.com

Сластін Сергій Олександрович

начальник групи обробки супутникових даних інформаційно-аналітичного центру Національного центру управління та випробувань космічних засобів

Адреса робоча: 01010 Україна, м. Київ, вул. Московська, 8

ORCID ID: 0000-0002-4173-265X **e-mail:** sergeyslazin@gmail.com

Піскун Олег Миколайович

начальник відділу космічних систем центру спеціальних програм Національного центру управління та випробувань космічних засобів

Адреса робоча: 01010 Україна, м. Київ, вул. Московська, 8

ORCID ID: 0000-0002-2009-9314 **e-mail:** piskun@nkau.gov.ua

Харченко Сергій Петрович

начальник відділу інформаційно-аналітичного центру Національного центру управління та випробувань космічних засобів

Адреса робоча: 01010 Україна, м. Київ, вул. Московська, 8

ORCID ID: 0000-0001-6011-4227 **e-mail:** pockocka@gmail.com

Мороз В'ячеслав Саватійович

начальник відділу забезпечення сил безпеки інформаційно-аналітичного центру Національного центру управління та випробувань космічних засобів

Адреса робоча: 01010 Україна, м. Київ, вул. Московська, 8

ORCID ID: 0000-0001-5028-6332 **e-mail:** viachesl.savv@gmail.com

УДК 502/504

Oleg I. Gerasymov, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of the Academy of High School of Ukraine, Head at the Department of General and Theoretical Physics

ORCID ID: 0000-0003-2999-9834 *e-mail*: gerasymovoleg@gmail.com

Liudmyla M. Sidletska, graduate student of the Department of General and Theoretical Physics

ORCID ID: 0000-0002-1458-011X *e-mail*: milapolonskaa@gmail.com

Odesa State Environmental University, Odesa, Ukraine

DIAGNOSIS OF INHOMOGENEOUS ONE-DIMENSIONAL DISCRETE CHAINS BY PHOTON SCATTERING

Summary. Among the ways to reduce radiation doses (increasing the distance from the source to the person, reducing the time spent in radiation fields, reducing the radiation dose rate of the source) an important role is played by shielding the source of ionizing radiation.

Currently, the use of screens is limited by the small selection of materials and the inconvenience of their use, which complicates their operation, installation and replacement, or disassembly.

The propagation of a plane wave in a one-dimensional force chain with Hertzian contacts is analyzed in a linear approximation for cases with the presence of incorporated single and double impurities (defects). The algorithm of analytical solution of control equations and finding of reflection and transmission coefficients of incident radiation is determined. In terms of phase shifts, the frequency criterion of multi-modes of generation of transparent modes for inhomogeneous chains (with double impurities) similar to the Ramsauer-Townsend effect in the scattering of electrons by inert gas atoms is established. The obtained theoretical results are consistent with the data obtained from alternative sources. Possibilities of application of terahertz spectroscopy of radiation transmission for structural diagnostics and detection of inhomogeneities, impurities and defects in discrete micro-mechanical (granular) systems are discussed. In particular, preliminary experimental data on scattering of terahertz radiation on samples of granular materials with different degrees of packing, from low to densely packed, which clearly indicate the dependence of the transmittance on the degree of packing and the formation of the corresponding band structure of spectra. The obtained results are also discussed in terms of applications to the creation of the element base of photonic circuitry in the sub millimeter range using decorated with impurities and structured low-dimensional discrete power circuits.

Keywords: radiation shields; flat wave; inhomogeneous Hertz chain; transparency effect; THz in homogeneity spectroscopy; decorated waveguides

© O.I. Герасимов, Л.М. Сідлецька, 2022

О.І. Герасимов, Л.М. Сідлецька

Одеський державний екологічний університет, м. Одеса, Україна

РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ПЛОСКОЇ ХВИЛІ В НЕОДНОРІДНОМУ ОДНОВИМІРНОМУ СИЛОВОМУ ЛАНЦЮЖКУ: ЕФЕКТ ПРОЗОРОСТІ

Анотація. Розповсюдження плоскої хвилі в одновимірному силовому ланцюжку із герцівськими контактами проаналізовано в лінійному наближенні для випадків із наявністю інкорпорованої одинарної та подвійної домішок (дефектів). Визначено алгоритм аналітичного розв'язку керуючих рівнянь та знаходження коефіцієнтів відбиття та пропускання падаючого випромінювання.

В термінах фазових зсувів встановлено частотний критерій мультирежимів генерації прозорих мод для неоднорідних ланцюжків (із подвійними домішками), аналогічних ефекту Рамзауера – Таунсенда у розсіянні електронів на атомах інертних газів. Отримані теоретичні результати узгоджуються із даними, отриманими з альтернативних джерел. Обговорюються можливості застосування террагерцівської спектроскопії пропускання випромінювання для структурної діагностики і виявлення неоднорідностей, домішок та дефектів в дискретних мікромеханічних (гранульованих) системах. Зокрема, проаналізовані попередні експериментальні дані з розсіяння террагерцівського випромінювання на зразках з гранульованих матеріалів із різними ступенями впакування, від низько- до щільновпакованих, які наочно вказують на залежність коефіцієнта пропускання від ступеня впакування та формування відповідної зонної структури спектрів. Отримані результати обговорюються також з точки зору застосувань до створення елементної бази фотонної схемотехніки у субміліметровому діапазоні із використанням декорованих домішками та структурованих низьковимірних дискретних силових ланцюжків.

Бажаному підвищенню потужності перешикоджає поріг руйнування кварцу (порядку 1МВт/см^2), тому ключовим елементом схемотехнічного дизайну є збільшення діаметра волокна із збереженням одномодового режиму генерації. Спеціально підібрана структура кільцевих шарів приводить до резонансного згасання поля в оболонці світловода, що перешикоджає витіканню енергії. Цей ефект, аналогічний бреггівському відбиттю в кристалічних ґратках, дозволяє створювати високодобротні оптичні волокна з великою площею моди.

Ключові слова: радіаційні захисні екрани; плоска хвиля; неоднорідний ланцюжок Герца; ефект прозорості; ТГц спектроскопія неоднорідностей; декоровані хвильоводи

DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.1.102-110>

Вступ

Недеструктивний моніторинг домішок, або дефектів, інкорпорованих у однорідну систему, є водночас традиційною і й досі актуальною задачею в багатьох як фундаментальних, так і прикладних галузях науки і виробництва. Одним із інструментаріїв на цьому напрямі є розсіяння випромінювань різної природи на об'єкті, який містить домішкову (часто небажану) компоненту.

Детектування та моніторинг таких систем є, наприклад, вельми актуальною задачею в технологіях захисту навколишнього середовища від шкідливих зовнішніх впливів. Останні можуть полягати якраз у появі неоднорідностей, пов'язаних із появою домішкових компонентів в початкових однорідних системах. Задача розсіяння на трьохвимірних навіть слабо полідисперсних системах з метою детектування включень є досить складною і громіздкою завдяки багатократному процесу взаємодії зонда із складною речовиною. З іншого боку, зважаючи на анізотропний характер більшості систем, що складають практичний інтерес, вивчення навіть деяких окремих загальних закономірностей у розсіянні на низьковимірних системах із включеннями складає цілком практичний інтерес. Саме такою системою виступає періодичний одновимірний силовий ланцюг в якості анізотропної складової більш складної системи. Розповсюдження, скажімо, плоских хвиль (це може бути портретом відповідно поляризованої електромагнітної хвилі) в таких системах із зміненою симетрією за рахунок домішок чи дефектів є об'єктом чисельних досліджень, як теоретичних, так і експериментальних [1]. Незважаючи на значну кількість отриманих на цьому напрямі результатів, які полягають у описі динамічних змін зонної структури в таких системах, що відбуваються внаслідок домішок та відповідної зміни симетрії, актуальним залишається пошук закономірностей, які супроводжують такі процеси, та шляхів їх параметризації. Саме така задача, на прикладі транспортування хвиль у одновимірній силовій мікромеханічній неоднорідній періодичній ґратці, яка містить невелике число включень (домішок) буде розглянута нижче.

Одновимірний 1D кристал із $2N + 1$ сферичних частинок можна описати як ланцюжок нелінійно зв'язаних осциляторів із силовими (наприклад, герцівськими) взаємодіями між кожною парою сусідніх частинок [1–5]. Поведінка такої системи може бути змодельована за допомогою наступних рівнянь руху:

$$\ddot{u}_n = \frac{A_n}{m_n} [\Delta_n + u_{n-1} - u_n]_+^2 - \frac{A_{n+1}}{m_n} [\Delta_{n+1} + u_n - u_{n+1}]_+^2, \quad (1)$$

де m_n – маса n -ої частинки ($n \in \{-N, -N+1, \dots, N\}$), u_n – зміщення n -ої частинки, яке вимірюється від положення рівноваги, A_n – амплітуда взаємодії, яка залежить від геометрії та пружності контактуючих сусідніх частинок, що знаходяться у n -й та $(n-1)$ -й позиціях,

$$\Delta_n = \left(\frac{F_0}{A_n} \right)^{\frac{2}{3}}. \quad (2)$$

Фактично, рівняння (1) описує зміни зміщення між центрами сусідніх частинок у термінах статичного навантаження F_0 , дужка $[x]_+$ визначається, як:

$$[x]_+ = \begin{cases} x, & x > 0 \\ 0, & x \leq 0 \end{cases}. \quad (3)$$

Розглянемо випадок, коли падаюча плоска хвиля в нескінченному ланцюжку періодично рухається в один бік (скажімо, зліва направо). Об'єктом нашого інтересу, на даному етапі, є неоднорідні (скажімо, збурені домішками або дефектами) одновимірні необмежені ланцюжки. Ми розглянемо, зокрема, два випадки, а саме: одиничної та подвійної домішок (умовно зображені на рис. 1a та 1b).

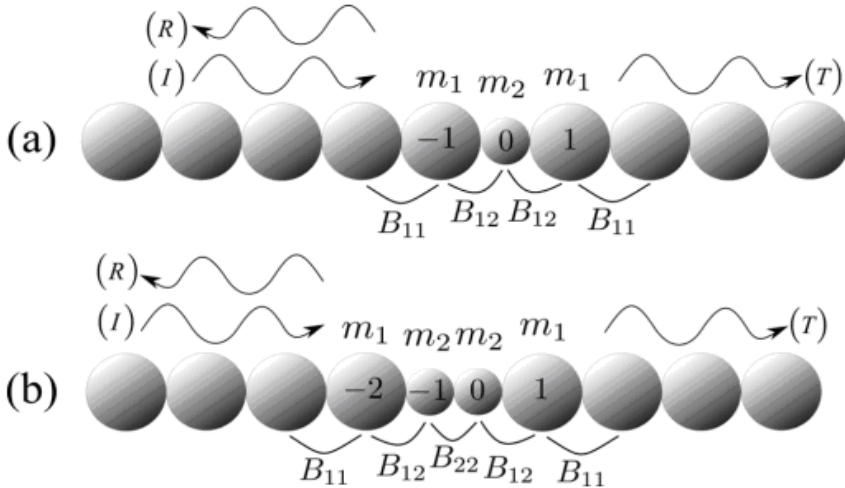


Рис. 1. Схематичне зображення ланцюжків з одинарними (a) і подвійними (b) домішками. Індеси 1 та 2 позначають сорт (вид) окремої частинки. Коефіцієнти I , R та T позначають падаючу, відбиту та таку, що розповсюджується, хвилі, відповідно

Маси частинок складають m_1 і m_2 , відповідно. Припустимо, що механічні пружні властивості контактів обох типів частинок однакові. Радіус частинки домішки покладемо таким, що дорівнює $r_2 = \alpha r_1$, де $\alpha > 0$ – відношення радіусів частинок ланцюжка та домішки. Якщо припустити, скажімо, що частинки типів 1 і 2 мають однакову щільність (тобто $\rho_1 = \rho_2$), але різні розміри, і при цьому $\alpha < 1$, то це означає, що домішки легші за частинки в однорідному ланцюгу, тоді як при $\alpha > 1$ – домішки важчі за частинки ланцюжка. В залежності від відносних значень u_n ефективна нелінійність в рівнянні (1) може бути сильною або слабкою. Зокрема, у випадку досить сильного статичного попереднього стиснення (або малої амплітуди коливань), ми маємо справу із системою із слабкою нелінійністю. Якщо, спираючись на вищесказане, ігнорувати нелінійність, то між частинками діє виключно гармонічна взаємодія, і в цьому випадку динаміку системи можна описати досить простим відомим рівнянням:

$$m_n \ddot{u}_n = B_n u_{n-1} + B_{n+1} u_{n+1} - (B_n + B_{n+1}) u_n, \quad (4)$$

де

$$B_n = \frac{3}{2} A_n \Delta_n^2 = \frac{3}{2} A_n^3 F_0^3. \quad (5)$$

Для вирішення задачі про розповсюдження плоскої хвилі в лінійному режимі зручно використовувати координати положень в ґратці. Запишемо в термінах координат вираз для плоскої хвилі в ґратці, яка містить домішку в положенні із індексом n :

$$u_n = \begin{cases} e^{i(kn-\omega t)} + \text{Re} e^{i(kn-\omega t)}, & n \leq 0, n > 0. \\ T e^{i(kn-\omega t)} \end{cases} \quad (6)$$

У околі домішок у лінійному наближенні можна записати систему рівнянь для визначення коефіцієнтів проходження та відбиття T і R у матричній формі [4]:

$$\begin{pmatrix} \beta_{(i),(ii)} & \delta_{(i),(ii)} \\ \eta_{(i),(ii)} & \gamma_{(i),(ii)} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} T_{(i),(ii)} \\ R_{(i),(ii)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \epsilon_{(i),(ii)} \\ \zeta_{(i),(ii)} \end{pmatrix}, \quad (7)$$

де індекси (i) та (ii) , відповідно, позначають ланцюги з одинарними та подвійними домішками. Розв'язуючи рівняння (7), можуть бути отримані аналітичні вирази для коефіцієнтів відбиття та пропускання R та T . Аналіз вказаних аналітичних розв'язків показує наявність так званої «тіньової» області невідбитих мод, які відповідають плоским хвилям, що майже без змін проходять як через одну, так і через подвійну домішку, не помічаючи їх. Причому, у випадку ланцюжків із одиничними домішками коефіцієнт відбиття $|R|^2$ зникає лише при $\alpha = 1$ або $k = 0$. На відміну від цього, для ланцюжків із подвійними домішками $|R|^2$ занурюється до нуля не тільки при $\alpha = 1$ і $k = 0$, а й при деякому $k = kr \neq 0$ при додатковій умові, що параметр асиметрії α приймає значення більше за деяке критичне αc . Для розглянутої нами моделі можемо записати kr в термінах фізичних параметрів системи, а саме: $kr = \arccos(\phi)$,

$$\phi = \frac{B_{12} B_{22} m_1^2 - 2 B_{11} B_{22} m_1 m_2}{2 B_{11} m_2 [B_{11} m_2 - B_{12} m_1]} + \frac{B_{11} [m_1^2 - 2 m_1 m_2 + 2 m_2^2]}{2 m_2 [B_{11} m_2 - B_{12} m_1]}. \quad (8)$$

При значеннях $k = kr$ хвиля може повністю проходити через домішки (тобто без розсіювання), відчуючи лише фазовий зсув. Таким чином, гранульовані силові ланцюжки, в лінійному наближенні, показують можливість існування режимів розсіювання, зовні аналогічних відомому ефекту Рамзауера – Таунсенда [6, 7], який у своїй традиційній формі виглядає як поява контрастного мінімуму в поперечному перерізі розсіювання електронів при низьких енергіях на атомах інертних газів (наприклад, Xe , Kr і Ar).

Із визначення (8) випливає, що $\phi \in [-1, 1]$. Звернемо увагу на те, що, формально, kr (як функція α) може приймати будь-яке значення в інтервалі $[0, \pi]$. Так, наприклад, $kr = \pi$ при деякому $\alpha = \alpha c$ і $kr \rightarrow 0$ при $\alpha \rightarrow \infty$. Таким чином, резонансна частота може бути змінним, маніпулюємим параметром, визначаючи виділені (бажані) канали прозорості. З іншого боку, розрізняючи

і класифікуючи відповідні моди за допомогою параметра α , отримуємо можливість відтворити параметри домішок (неоднорідностей).

Вибираючи конкретні співвідношення радіусів домішок і частинок ланцюга, можемо порівняти між собою результати, отримані шляхом теоретичних розрахунків на основі розглянутої моделі, та дані чисельного та фізичного експериментів із спостереження вищеописаних ефектів. На цьому шляху ми порівняли результати чисельних розрахунків коефіцієнтів пропускання та відбиття (в залежності від частоти) для однодомішкового та двохдомішкового ланцюгів, відповідно (для двох випадків, коли $\alpha = 0,7$, $\alpha = 1,5$), із даними чисельного та фізичного експериментів, проведених в альтернативних дослідженнях [5].

Для ланцюга з однією домішкою було виявлено, що коефіцієнт пропускання показує тенденцію до зменшення, при збільшенні частоти збудження. Характери зменшення залежать від коефіцієнта, що характеризує асиметрію. Коли $\alpha = 0,7$, зниження спочатку повільніше. Потім спостерігається швидке зменшення в околі частоти 7,25 кГц. Для $\alpha = 1,5$ зменшення носить майже лінійний характер у всьому діапазоні частот. Для ланцюжків із подвійними домішками, при $\alpha = 0,7$ має місце зниження ефективності пропускання зі збільшенням частоти (як у ланцюжку з однією домішкою). Тоді, як у випадку асиметрії $\alpha = 1,5$ коефіцієнт прозорості має контрастно виражену форму подвійного піку (резонанс). При цьому повна передача плоских хвиль через неоднорідну одновимірну систему силових центрів із подвійними домішками, згідно із теоретичними прогнозами, має спостерігатися (у вибраному інтервалі калібрування) для частоти збудження близько 3,0 кГц. Саме такий резонансний режим у контрастній формі спостерігається також як у фізичних експериментах, так і в чисельному моделюванні [5]. Таким чином, аналітичний прогноз узгоджується з результатами чисельного моделювання та експериментів, зокрема, у визначеному частотному діапазоні від 1,0 до 4,0 кГц.

Структурна діагностика із застосуванням методів терагерцівської ТГц спектроскопії

Вищеописані результати є практично важливими для структурної діагностики мікромеханічних (гранульованих) і, зокрема, низьковимірних систем, ланцюжків, які складаються з окремих дискретних частинок із силовими (часто нелінійними) взаємодіями.

Треба додати, що прямий перенос традиційних методів структурного аналізу за допомогою розсіювання зовнішніх випромінювань на випадок гранульованих середовищ є неможливим. Справа в тому, що згадані методи розсіювання (див., наприклад [9–11]) базуються на передачі середовищу імпульсу падаючої хвилі із подальшим вивченням кутової картини розсіювання. Розсіювання на щільних дискретних середовищах відрізняється, скажімо, від розсіювання рентгенівського і видимого світла на атомних або колоїдних комплексах. Відмінність полягає в тому, що в перших з них середній вільний пробіг випромінювання є порівняно коротким, а самі транспортні властивості залежать від власних параметрів ансамблю частинок. Зокрема, аналіз даних терагерцівської (ТГц) спектроскопії дійсно свідчить про те, що

транспортні властивості у випадку гранульованих середовищ стають чутливими до структури (симетрії) упаковки.

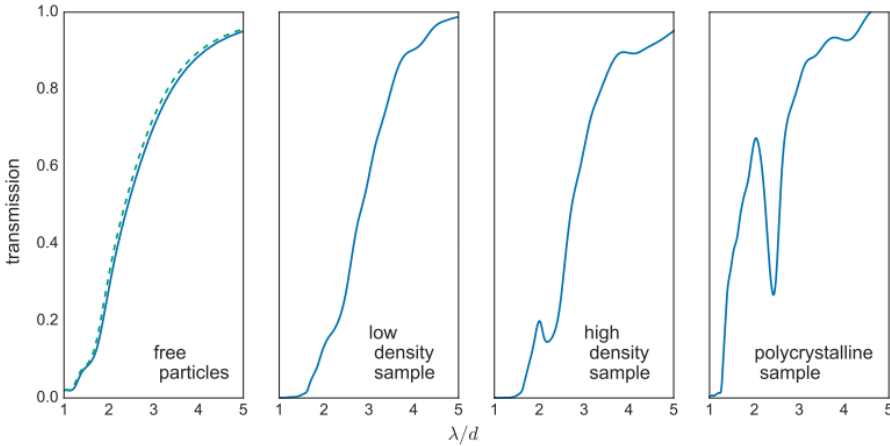


Рис. 2. Порівняльний аналіз даних ТГц спектроскопії дискретної конгломерації з твердих сфер в термінах коефіцієнта пропускання відносно довжини хвилі в одиницях діаметра частинок (за даними роботи [12])

Зразки для вимірювання в [12] вибирались в чотирьох станах із різними ступенями впакування, від станів із низькою щільністю і до полікристалічно впакованих сфер. Спостерігається зменшення пропускання із збільшенням щільності упаковки та появою брегівського розсіювання при $\lambda \neq 2d$ і відповідним зменшенням передачі, починаючи від $\lambda = 2d$ (через збільшення ефективного індексу заломлення, яке має місце із збільшенням щільності упаковки). Пунктирна лінія на лівому фрагменті на рис. 2 відображає характер пропускання через систему вільних частинок із заданою щільністю.

Як вже згадувалося вище, для щільних гранульованих середовищ характерним є вельми короткий середній шлях вільного пробігу у більшості областей спектру. При щільній упаковці гранульованого середовища частинки безпосередньо механічно контактують проміж собою. Вказане створює перешкоду застосуванню типової технології розсіювання до структурного аналізу гранульованих середовищ. На шляху вирішення вказаної проблеми ТГц спектроскопія пропускання є багатообіцяючим підходом до дослідження структурних властивостей гранульованої упаковки великих конгломерацій мікромеханічних частинок методом розсіювання.

Висновки та перспективи подальших досліджень

Використовуючи модель розсіювання плоскої хвилі на ланцюжку з одиночними та бінарними домішками, отримано теоретичні вирази для коефіцієнтів пропускання та відбиття, пропускання при спеціальних детермінованих параметрах падаючої хвилі ($k = kr \in [0, \pi]$) та асиметрії частинок і домішок ланцюга. Ми порівняли наші аналітичні результати з чисельними розрахунками та лабораторними експериментами та спостерігали задовільну узгодженість.

У відповідних експериментах безконтактна лазерна доплерівська віброметрія була використана для візуалізації повного поля плоских хвиль, що поширюються в гранульованому ланцюжку. Це дозволило спостерігати резонанс у випадку подвійних домішок, безпосередньо вимірюючи коефіцієнт пропускання. Знайдений режим створює можливість безвідбиваючого (прозорого) режиму в системах з множинними (впорядкованими чи невпорядкованими) подвійними домішками. Можливість такого “невідбивного” розсіювання підтверджується також результатами чисельного моделювання. Дослідження відкриває шлях до систематичного вивчення та застосування ефектів, ізоморфних до резонансів Рамзауера – Таунсенда в гранульованих середовищах із кристалічним впорядкуванням.

Особливий інтерес представляють такі резонанси, коли кількість домішок велика та для різних (впорядкованих чи невпорядкованих) розподілів домішок (або дефектів). Одним із можливих застосувань є вбудовування сторонніх об’єктів, таких як датчики, у відповідні системи для моніторингу мінімальної межі збурень конструкцій. Також значний інтерес представляє вивчення сегментів неоднорідностей в невпорядкованих гранульованих системах. В одновимірних невпорядкованих гранульованих кристалах останні чисельні прогнози супер-дифузійного транспорту та інших специфічних режимів [8] є особливо цікавими для подальшого вивчення з точки зору їх зв’язку з резонансними модами.

Привабливе поле застосувань отриманих результатів лежить в царині застосувань ТГц спектроскопії для задач структурної діагностики мікромеханічних систем.

Безумовно, що важливою складовою, необхідною для подальшого практичного застосування підходу, який базується на використанні ТГц спектроскопії, є розробка надійної моделі ефективного показника заломлення, придатного до застосування у широкому діапазоні значень λ . Розв’язання цієї проблеми дозволить використовувати ТГц спектроскопію пропускання для дослідження фотонних властивостей невпорядкованих мікромеханічних середовищ у їх власних масштабах [12].

REFERENCES

1. Nesterenko, V. F. (2001). Nonlinear impulses in particulate materials. Dynamics of Heterogeneous Materials. Springer-Verlag, NY, 1-136. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-3524-6_1.
2. Man, Y., Boechler, N., Theocharis, G., Kevrekidis, P. G., & Daraio, C. (2012). Defect modes in one-dimensional granular crystals. *Phys. Rev. E*, 85(3). <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.85.037601>.
3. Achilleos, V., Theocharis, G., & Skokos, Ch. (2016). Energy transport in one-dimensional disordered granular solids. *Phys. Rev. E*, 93(2). <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.93.022903>.
4. Zhang, Y., Hasan, M. A., Starosvetsky, Y., McFarland, D. M., & Vakakis, A. F. (2015). Nonlinear mixed solitary–shear waves and pulse equi-partition in a granular network. *Physica D*, 291, 45-61. <https://doi.org/10.1016/j.physd.2014.10.005>.
5. Miroshnichenko, A. E., Flach, S., & Kivshar, Yu. S. (2010). Fano resonances in nanoscale structures. *Rev. Mod. Phys.* 82(3). <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.82.2257>.
6. Kauppila, W. E., Stein, T. S., & Jesion, G. (1976). Direct Observation of a Ramsauer–Townsend Effect in Positron–Argon Collisions. *Phys. Rev. Lett.*, 36(11) 580 <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.36.580>.

7. Gianturco, F. A. & Thompson, D. G. (1976). The Ramsauer – Townsend effect in methane. *J. Phys. B: Atom. Molec. Phys.*, 9(12).
8. Zakeri, S. S., Lepri, S., & Wiersma, D. S. (2015). Localization in onedimensional chains with Levy-type disorder. *Phys. Rev. E*, 91(3). <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.91.032112>.
9. Glatter, O. & Kratky, O. (1982). *Small Angle X-ray Scattering* (Academic Press, Boston).
10. Xu, Renliang (2002). *Particle Characterization: Light Scattering Methods*. Kluwer Springer Netherlands, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/0-306-47124-8_6.
11. Brown, W. (1996). *Light Scattering: Principles and development*. Clarendon Press, Oxford. V 53.
12. Born, P., & Holldack, K. (2017). Analysis of granular packing structure by scattering of THz radiation. *Review of Scientific Instruments*, 88(5) <https://doi.org/10.1063/1.4983045>.

Стаття надійшла до редакції 16.12.2021 і прийнята до друку після рецензування 02.03.2022

Герасимов Олег Іванович

доктор фізико-математичних наук, професор, академік АН ВШ України, завідувач кафедри загальної та теоретичної фізики Одеського державного екологічного університету

Адреса робоча: Україна, 65016, м. Одеса, вул. Львівська, 15

ORCID ID: 0000-0003-2999-9834 **e-mail:** gerasymovoleg@gmail.com

Сідлецька Людмила Михайлівна

аспірант кафедри загальної та теоретичної фізики Одеського державного екологічного університету

Адреса робоча: Україна, 65016, м. Одеса, вул. Львівська, 15

ORCID ID: 0000-0002-1458-011X **e-mail:** milapolonskaa@gmail.com

УДК 534.2, 681.883

Alexey I. Shundel, PhD, researcher of the Department of Panoramic Acoustic Systems of the State Institution «Scientific Hydrophysical Centre of the National Academy of Sciences of Ukraine»

ORCID ID: 0000-0002-3076-9553 *e-mail*: lixyta666@gmail.com

Sergey G. Fedoseenkov, PhD, head of the Department of Panoramic Acoustic Systems of the State Institution «Scientific Hydrophysical Centre of the National Academy of Sciences of Ukraine»

e-mail: 22lex22s@ukr.net

State Institution «Scientific Hydrophysical Centre of the National Academy of Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine

CREATION OF A SYSTEM OF COMPREHENSIVE MONITORING OF THE AQUATIC ENVIRONMENT STATE OF THE BLACK SEA BY ITS MATHEMATICAL MODELING

***Abstract.** Modeling and forecasting of hydrodynamic processes in the Black Sea with high resolution are important for coastal and shelf zones, because of the biggest anthropogenic pressures. Here are the processes of distribution and transformation of pollutants that emerged in the sea in different ways, the transfer and sedimentation of solid river alluvium, lithodynamic and biochemical processes and more. The peculiarities of such processes are directly related to the dynamic processes that develop in coastal areas. Development of a regional operational system for forecasting the state of the Black Sea northwestern part has to be undoubtedly considered as a significant step forward for oceanography in this area. Creation of the integrated monitoring system of the Black Sea aquatic environment as well as its separate areas by means of mathematical modeling, in conjunction with further forecasting instruments meets the modern needs of society. It will help to prevent and respond in a timely manner to crises caused by natural and man-made risks. The created system will contribute to ensuring national security, improving the quality of life of people, the development of new knowledge-intensive industries.*

***Keywords:** monitoring; forecast; mathematical modeling; Black Sea; oceanographic parameters*

О.І. Шундель, С.Г. Федосєєнков

Державна установа «Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України», м. Київ, Україна

СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ КОМПЛЕКСНОГО МОНІТОРИНГУ СТАНУ ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА ЧОРНОГО МОРЯ ШЛЯХОМ ЙОГО МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

***Анотація.** Моделювання та прогноз гідродинамічних процесів у Чорному морі з високою розрізнявальною здатністю є важливими для прибережних і шельфових зон, оскільки саме ці зони зазнають найбільшого антропогенного навантаження. Тут проходять процеси поширення та трансформації забруднюючих речовин, що потрапили в море різними шляхами, перенесення та седиментація твердих наносів річок, літодинамічні та біохімічні процеси*

та інші. Особливості перебігу таких процесів безпосередньо пов'язані з динамічними процесами, що розвиваються у прибережних зонах. Значним кроком уперед для океанографії північно-західної частини Чорного моря, безумовно, можна вважати створення регіональної оперативної системи прогнозу стану цієї частини морського басейну. Створення системи комплексного моніторингу стану водного середовища Чорного моря й окремих його частин шляхом математичного моделювання, разом з подальшим прогнозуванням, відповідає сучасним потребам суспільства. Це сприятиме запобіганню та своєчасному реагуванню на кризи, зумовлені природними та техногенними ризиками. Створена система вирішуватиме завдання забезпечення національної безпеки, підвищення якості життя людей, розвитку нових наукоємних галузей економіки.

Ключові слова: моніторинг; прогноз; математичне моделювання; Чорне море; океанографічні параметри

DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.1.111-120>

Вступ

Серед причорноморських держав найдовшу берегову лінію (1 628 км) має Україна, їй належить 57% загальної площі чорноморського шельфу, у тому числі 87% північно-західного шельфу (який є найбільш екологічно уразливою ділянкою Чорного моря). Антропогенні проблеми Чорного моря формуються і найбільш гостро проявляються в прибережній та шельфовій зоні морів, де сконцентрована господарська діяльність, зосереджені берегові та основні морські джерела забруднення (діяльність портів, днопоглиблення акваторій портів і підхідних каналів, дампінг ґрунтів, розвідка та видобування вуглеводневих ресурсів). Реалізація державної морської політики України в цій сфері потребує відповідного інформаційного забезпечення [1].

Основним завданням океанографії в забезпеченні морської діяльності є підготовка й своєчасне доведення до кінцевих споживачів діагностичної та прогностичної інформації про основні параметри стану океану та морів, включаючи загрози виникнення небезпечних явищ. Необхідна умова для вирішення цього завдання – наявність розвиненої спостережної мережі, створення наукоємних технологій діагнозу та прогнозу основних характеристик морського середовища, а також доведення цієї інформації до споживачів [2].

Отримання діагностичних і прогностичних оцінок стану океанів та морів в оперативному режимі необхідне для функціонування практично всіх галузей морської діяльності, серед яких морські перевезення, рибальський промисел, розвідка та видобуток вуглеводнів на шельфі, експлуатація гідротехнічних споруд, комплексів аквакультури і рекреації тощо.

Користувачі потребують, в першу чергу, параметрів стану приводного шару атмосфери (атмосферний тиск, швидкість вітру, температура і вологість повітря) та характеристик поверхні моря (температура води, елементи вітрового хвилювання, варіації середнього рівня моря тощо). Поряд з цим у багатьох випадках необхідна інформація про тривимірні поля основних гідрофізичних характеристик не тільки на поверхні, але й у товщі Чорного моря.

У статті розглянуто питання створення в Україні технологій, пов'язаних з відносно новим розділом фізичної океанології, а саме: отримання

діагностичних і прогностичних оцінок стану океанів та морів. Модельний комплекс для вирішення задач як прогнозу, так і діагнозу океанографічних параметрів стану морського середовища може базуватися на використанні двох програмних модулів інтегрованого модельного комплексу Delft3D (розробник – Науково-дослідний інститут прикладних досліджень Deltares, Нідерланди).

Метою роботи є перший етап створення вітчизняної системи комплексного моніторингу стану водного середовища Чорного моря шляхом його математичного моделювання з подальшим прогнозуванням, що будуть забезпечувати регулярний випуск оперативної інформації: система засвоєння океанографічних даних, технологія прогнозування океанографічних параметрів у визначених акваторіях Чорного моря з деталізацією прогнозів в прибережній зоні на терміни до 3-10 діб.

Основна частина

У таких державах-членах НАТО, як Сполучені Штати Америки, Велика Британія, Канада та ін., широко застосовують інформаційні системи детального оперативного (швидкого) прогнозу океанографічних параметрів стану вод морського шельфу (відгінно-нагінних явищ, течій, морського хвилювання та ін.), засновані на сучасних інтегрованих чисельних математичних моделях [3–5].

Розглянемо інтегрований модельний комплекс Delft3D, до складу якого входять два програмних модулі: FLOW та WAVE [6]. Розробник надає вільний доступ широкому колу споживачів до кодів програмних пакетів, а їх використання регулюється ліцензійною угодою GNU General Public License версії 3.0 [7].

Delft3D-FLOW – це базовий гідротермодинамічний модуль інтегрованого пакета програм Delft3D версії 4.04.01, який дає змогу моделювати просторово-часову мінливість таких океанографічних характеристик, як термогалінна структура та густинна стратифікація морських вод; їх циркуляція, зумовлена різними чинниками та їх сукупністю (густинні, градієнтні, вітрові, вітрохвильові та сумарні течії); коливання рівня моря (під дією вітру та атмосферного тиску); перенос (транспортування) як консервативних, так і неконсервативних домішок у морському середовищі.

Модель Delft3D-FLOW базується на чисельному вирішенні тривимірних рівнянь Нав'є – Стокса для нестисливої рідини на мілкій воді у наближенні Бусінеска. Система диференціальних прогностичних рівнянь моделі складається з рівнянь: руху, нерозривності, транспорту скалярних величин (тепла і солей) та двопараметричної $k-\varepsilon$ -моделі турбулентності, яка замикає ці рівняння [8].

Delft3D-WAVE – програмний модуль, в якому використано спектральну модель третього покоління для розрахунку просторово-часової мінливості параметрів вітрового хвилювання SWAN (Simulating Waves Nearshore Model) [9], що базується на чисельному вирішенні рівняння балансу енергії хвиль у спектральній формі з урахуванням її джерел і стоків. У SWAN реалізовані процеси, які пов'язані з генерацією, поширенням у просторі та дисипацією вітрових хвиль: передача енергії від вітру до хвиль (генерація хвиль вітром); поширення хвиль у просторі; рефракція хвиль і трансформація їх параметрів через просторові варіації глибин і течій; взаємодія хвиль і течій; дисипація

хвильової енергії внаслідок донного тертя, обвалення гребенів (забурунювання) хвиль та обвалення хвиль на критичних глибинах (*wave breaking*) через їх зміну; нелінійна взаємодія між хвилями як у глибокому морі (4-хвильова), так і у мілкому морі (3-хвильова).

Обидва програмні модулі реалізуються в горизонтальній площині на криволінійній розрахунковій сітці, інтегровані за допомогою взаємного інтерфейсу та взаємодіють між собою, тобто враховується вплив течій на параметри вітрового хвилювання та їх поширення і, навпаки, внесок хвильових процесів у формування прибережних течій та інтенсивність турбулентного змішування вод. Об'єднаний прогноз вітрового хвилювання і циркуляції вод дає змогу підвищити точність розрахунків швидкості та напрямку морських течій, температури та солоності води у верхньому шарі моря. Поліпшення якості прогнозу досягається завдяки більш коректному обліку ефектів взаємодії морських хвиль і течій за умови використання комплексної прогностичної моделі цих явищ.

Результати та дискусії

На першому етапі створення системи комплексного моніторингу стану водного середовища Чорного моря проведено гідродинамічні розрахунки шляхом реалізації моделі D-Flow Flexible Mesh (D-Flow FM) – програми гідродинамічного моделювання, яка розроблена в Deltares. Вона є частиною унікального, повністю інтегрованого комп'ютерного програмного забезпечення Deltares для реалізації міждисциплінарного підходу та 1D-, 2D- та 3D-обчислень для прибережних, річкових та естуарійних районів, і називається Delft3D Flexible Mesh Suite або D-HYDRO Suite. Комплекс може проводити моделювання гідродинамічного потоку, хвиль, якості води та екологічних параметрів.

Delft3D Flexible Mesh Suite складається з декількох модулів, згрупованих навколо загального інтерфейсу і здатних взаємодіяти один з одним. D-Flow FM є одним із таких модулів, який становить багатовимірну (1D, 2D і 3D) програму гідродинамічного (і транспортного) моделювання, обчислює явища потоку і перенесення, що не встановилися та які виникають в результаті припливного та метеорологічного впливу на структурованих і неструктурованих граничних сітках. У 3D-моделюванні вертикальна сітка використовує підхід σ -координат. В якості альтернативи також можливий підхід із фіксованими z -шарами (в розробці). 2D функціональність у D-Flow FM реалізована повністю, в той час як функціональність для 3D та 1D знаходиться у розробці.

Було розраховано поля течій, рівня моря, зональних і меридіональних компонент швидкості вітру для обчислення параметрів трансформації хвиль. Початкові та закриті граничні умови використано з моделі BLKSEA_ANALYSISFORECAST_PHY_007_001 [10]. Батиметричні дані використано з сайту GEBCO [11].

Океанографічний прогноз побудовано на основі метеорологічного прогнозу на 10 діб з часовою дискретністю 6 годин за глобальною чисельною моделлю прогнозу погоди GFS (Global Forecast System), вебсервіс NOMADS якої (National Operational Model Archive and Distribution System) знаходиться в США [12]. Просторова деталізація прогностичних даних моделі GFS у горизонтальній площині становить $0,25^\circ$ за широтою та довготою.

Національна метеорологічна служба США надає безкоштовний доступ до прогностичних даних моделі GFS. Оперативні поточні прогнози метеорологічних параметрів дозволено використати з веб-ресурсу NOMADS (Data Transfer: NCEP GFS Forecasts (0,25 degree grid) [14].

Окрім того, усі зроблені за останні декілька років у вказані строки прогнози зберігаються в історичному архіві GFS-прогнозів на відповідному веб-ресурсі (NCEP GFS 0,25 Degree Global Forecast Grids Historical Archive) [15] Національного центру атмосферних досліджень США NCAR (National Center for Atmospheric Research) і можуть бути вільно використані. Прогностичну продукцію за моделлю GFS використовує, зокрема, в оперативній діяльності Український гідрометеорологічний центр. Метеорологічні дані завантажили з GFS за допомогою програми ХуGrib [12] у форматі *.grib2.

Використовуючи програму wgrib2 [16], метеорологічні дані конвертовано у формат netcdf. Далі розроблено функцію у середовищі Matlab, яка зчитувала дані у форматі netcdf й окремо записувала у необхідному форматі просторово-часові дані зональних і меридіональних компонент швидкості вітру, температури повітря, вологості, атмосферного тиску та хмарності. При створенні системи комплексного моніторингу стану водного середовища Чорного моря попередні розрахунки виконано на неструктурованій сітці з просторовим розрізненням $\Delta_{xy} = 2,5\text{-}3$ км для Чорноморського басейну (рис. 1).

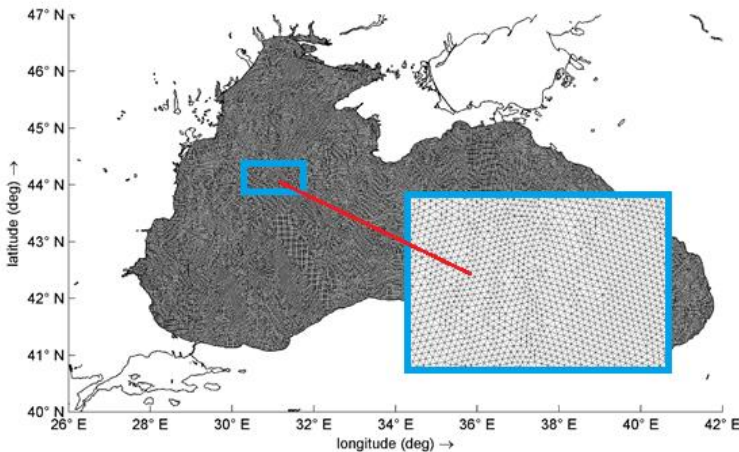


Рис. 1. Положення у просторі неструктурованої розрахункової сітки

З метою тестування функціоналів першого етапу створення системи комплексного моніторингу стану водного середовища Чорного моря було проведено пілотний експеримент щодо функціонування оперативної системи аналізу та прогнозу стану Чорного моря в режимі часу, близькому до реального.

Складовою частиною цього експерименту був розрахунок прогнозу основних гідрофізичних полів (циркуляції, температури, солоності та параметрів вітру) на 4 доби (з високим розрізненням у північно-західній частині Чорного моря) за допомогою Delft3D Flexible Mesh Suite.

На рис. 2 наведено результати прогнозів поверхневої циркуляції акваторії Чорного моря на 4 доби, розраховані за моделлю Delft3D Flexible Mesh Suite.

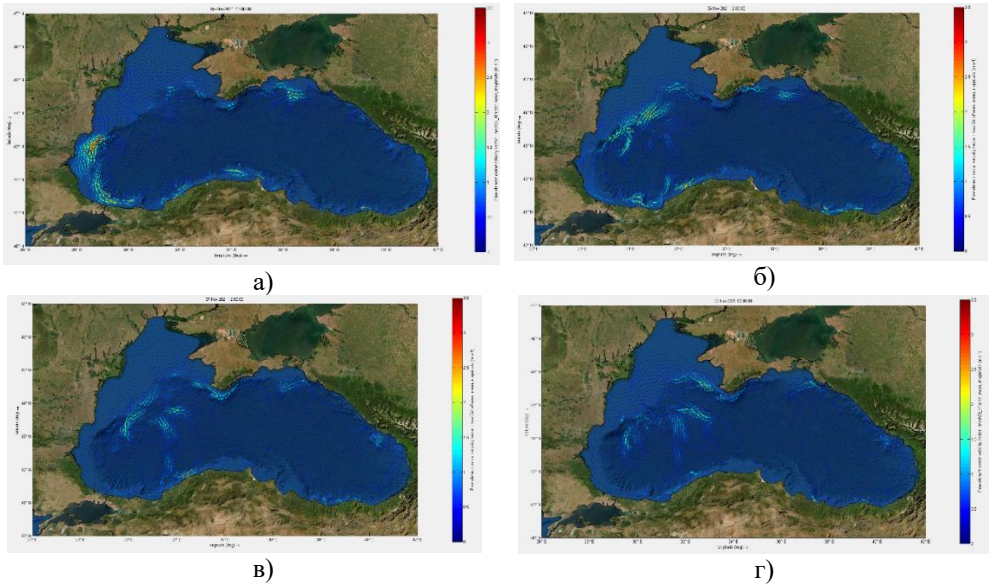


Рис. 2. Прогностичні поля поверхневих течій в акваторії Чорного моря, час 12:00: а) 5 листопада 2021 р.; б) 6 листопада 2021 р.; в) 7 листопада 2021 р.; г) 8 листопада 2021 р.

На рис. 3 показано результати прогнозування поля солоності, розраховані за моделлю Delft3D Flexible Mesh Suite, відповідно, а на рис. 4 – результати прогнозування параметрів вітру.

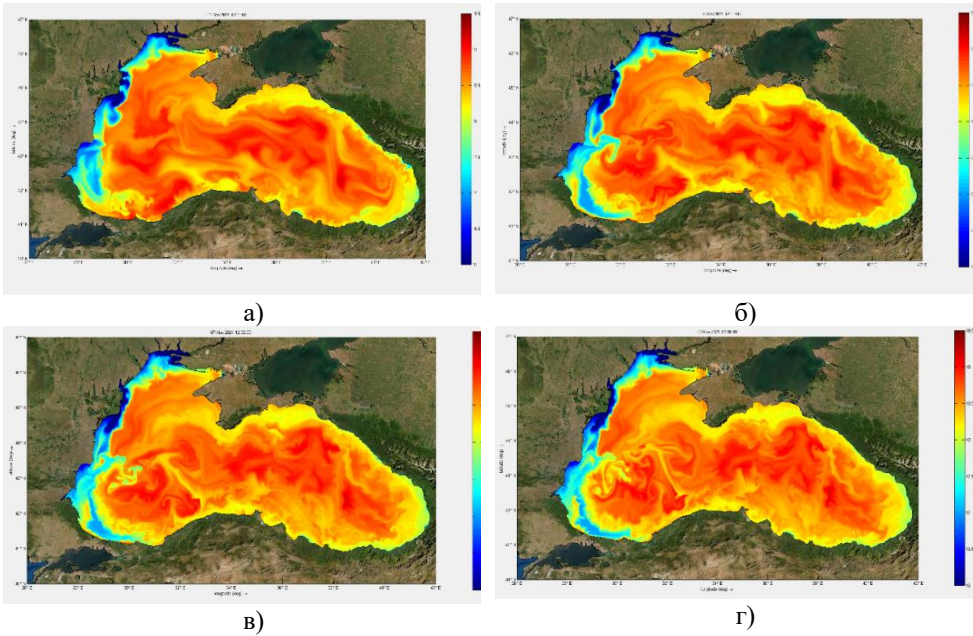


Рис. 3. Прогностичні поля розподілу поля солоності в акваторії Чорного моря, час 12:00: а) 5 листопада 2021 р.; б) 6 листопада 2021 р.; в) 7 листопада 2021 р.; г) 8 листопада 2021 р.

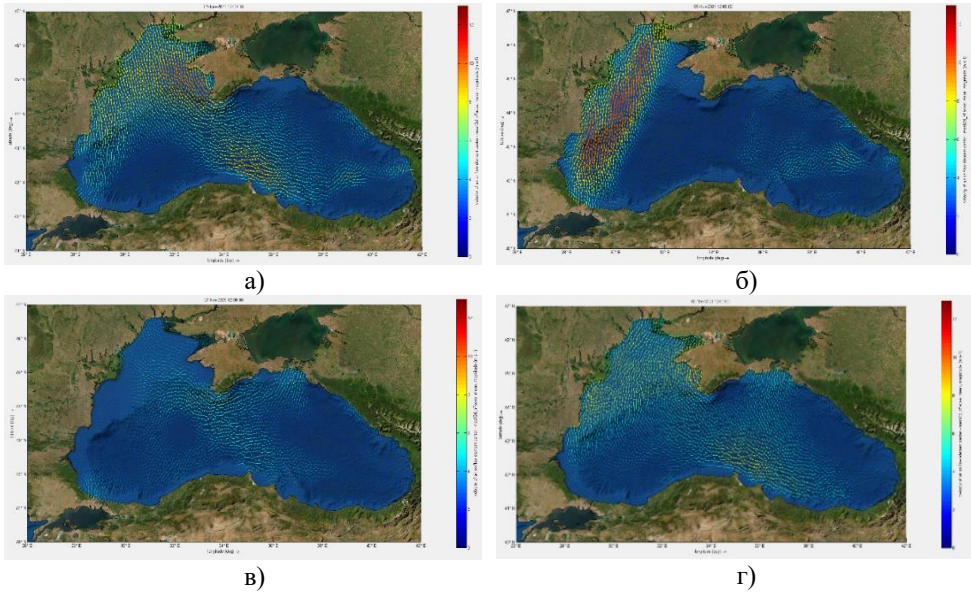


Рис. 4. Прогностичні поля параметрів вітру над акваторією Чорного моря, час 12:00: а) 5 листопада 2021 р.; б) 6 листопада 2021 р.; в) 7 листопада 2021 р.; г) 8 листопада 2021 р.

З рис. 3 видно, що поле солоності добре корелює з поверхневою циркуляцією акваторії Чорного моря в областях розвитку антициклонічного утворення, де, зазвичай, солоність вод нижча, ніж у зонах циклонічних вихорів, що пояснюється динамічними особливостями циркуляції.

У циклонічних утвореннях відбувається підйом більш солоних вод із глибинних шарів, а в антициклонічних вихорах розриваються низхідні потоки, які опускають менш солоні води з верхніх шарів униз.

Зіставлення результатів розрахованих прогнозів з натурними даними показало здатність моделі достовірно передбачати гідрофізичні поля Чорного моря. Порівняння розрахованих температур поверхні моря із супутниковими зображеннями поверхневої температури, отриманими з супутників NOAA, показало хороший якісний збіг прогностичних і реальних температурних полів.

На наступному етапі розробки системи комплексного моніторингу стану морського середовища Чорного моря слід врахувати, що підвищення роздільної здатності моделі в районах сприятиме кращій ідентифікації прибережних малих вихорів. Також розрахунки прогнозів показали, що північно-західна частина Чорного моря, яка включає Одеську затоку, є динамічно активною зоною. Тут розвиваються циркуляційні процеси, що характеризуються різко вираженою сезонною мінливістю.

Висновки

Створення системи комплексного моніторингу стану водного середовища Чорного моря з використанням супутникових даних з подальшим його прогнозом на базі сучасних об'єднаних моделей Delft3D циркуляції моря й атмосфери з контролем та засвоєнням океанографічних даних, отриманих в експедиційних дослідженнях і натурних вимірюваннях, є відображенням

сучасних потреб суспільства. Вона забезпечить інформацією для вжиття превентивних заходів і своєчасного реагування на кризи, які зумовлені природними та техногенними ризиками. Створена система буде вирішувати завдання забезпечення національної безпеки, підвищення якості життя людей, сталого розвитку нових наукоємних галузей економіки.

Окрім врахування даних початкового тривимірного розподілу температури і солоності в розрахунковій області, витрат річкового стоку (наприклад, витрати стоку річок Дунаю, Дніпра та Південного Бугу, Дністра за багаторічними або поточними даними спостережень), архітектура графічного інтерфейсу Delft3D дає змогу включити в розрахунки додаткові гідрофізичні процеси, пов'язані з просторово-часовою мінливістю температури та солоності води. Це дасть змогу отримувати оцінки мінливості вертикальної стратифікації вод, враховувати окремо густинні та сумарні (густинні + вітрові) течії, розраховувати акустичні характеристики на ділянках акваторії моря.

Подальша розробка системи комплексного моніторингу стану водного середовища Чорного моря має стати базою для розвитку комплексної системи моделювання. Така система дозволить передбачати не лише динамічні процеси моря, а й різні процеси, пов'язані, наприклад, з поширенням нафтопродуктів та інших забруднюючих речовин у морському басейні, а також вирішувати рятувально-пошукові задачі тощо.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дорофеев В.Л., Сухих Л.И. Анализ изменчивости гидрофизических полей Черного моря в период 1993–2012 годов на основе результатов выполненного реанализа. *Морской гидрофизический журнал*. 2016. № 1. С. 33–48.
2. Коротаев Г.К., Лишаев П.Н., Кныш В.В. Методика анализа данных измерений температуры и солености Черного моря с использованием динамического альтиметрического уровня. *Морской гидрофизический журнал*. 2015. № 2. С. 26–42.
3. Co-creating Operational and Strategic Modelling Systems to Reduce Economic and Social Impacts on Coastal Hazards: Wave modelling. Project summary. *SWEEP*: веб-сайт. URL: <https://sweep.ac.uk/wp-content/uploads/IP-001-A4-ESummary.pdf> (дата звернення: 26.09.2021).
4. Apecechea M.I., Verlaan M., Zijl F., Le Coz C., Kernkamp H. Effects of self-attraction and loading at a regional scale: a test case for the Northwest European Shelf. *Ocean Dynamics*. 2017. № 67 (6). URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10236-017-1053-4> (дата звернення: 26.09.2021).
5. Veeramony J., Orzech M.D., Edwards K.L., Gilligan M., Choi J., Terrill E. and Tony De Paolo. Navy nearshore ocean prediction systems. *Oceanography*. 2014. Vol. 27, № 3. P. 80-91.
6. *Delft3D Open Source Community*: веб-сайт. URL: <https://oss.deltares.nl/web/delft3d/home> (дата звернення: 26.09.2021).
7. Terms of use Delft3D Community. *Delft*: веб-сайт. URL: <https://oss.deltares.nl/web/delft3d/terms-of-use> (дата звернення 26.09.2021).
8. User Manual: Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flow sand transport phenomena, including sediments. URL: <https://content.oss.deltares.nl/delft3d/manuals/> (дата звернення: 06.10.2021).
9. User Manual: Simulation of short-crested waves with SWAN. URL: https://content.oss.deltares.nl/delft3d/manuals/Delft3D-WAVE_User_Manual.pdf (дата звернення: 06.10.2021).

10. Black Sea Physics Analysis and Forecast. *E.U. Copernicus Marine Service Information*. URL: https://resources.marine.copernicus.eu/productdetail/BLKSEA_ANALYSISFORECAST_PHY_007_001/ (дата звернення: 05.11.2021).
11. GEBCO aims to provide the most authoritative, publicly available bathymetry data sets for the world's oceans. URL: <https://www.gebco.net> (дата звернення: 05.11.2021).
12. OpenGribs' Mission Statement. URL: <https://opengribs.org/en> (дата звернення: 05.11.2021).
13. National Operational Model Archive and Distribution System (NOMADS). NOAA: веб-сайт. URL: <https://nomads.ncep.noaa.gov/> (дата звернення: 07.11.2021).
14. Data Transfer: NCEP GFS Forecasts (0.25 degree grid). URL: http://nomads.ncep.noaa.gov/cgi-bin/filter_gfs_0p25.pl (дата звернення: 25.10.2021).
15. NCEP GFS 0.25 Degree Global Forecast Grids Historical Archive. *Research Data Archive at the Computational and Information Systems Laboratory*: веб-сайт. URL: <https://rda.ucar.edu/datasets/ds084.1/> (дата звернення: 05.11.2021).
16. NCEP Global Ocean Data Assimilation System (GODAS). URL: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/wesley/wgrib2/index.html> (дата звернення: 05.11.2021).

Стаття надійшла до редакції 21.10.2021 і прийнята до друку після рецензування 25.01.2022

REFERENCES

1. Dorofeev, V.L., & Suhij, L.I. (2016). Analysis of the variability of Black Sea hydrophysical fields between 1993 and 2012 based on the results of the reanalysis. *Morskoj gidrofizičeskij žurnal*, 1, 33-48 [in Russian].
2. Korotaev, G.K., Lishaev, P.N., Knysh, V.V. (2015). Methodology for analysis of temperature and salinity measurements of the Black Sea using dynamic altimetry. *Morskoj gidrofizičeskij žurnal*, 2, 26-42 [in Russian].
3. Site «SWEEP» (2019). Co-creating Operational and Strategic Modelling Systems to Reduce Economic and Social Impacts on Coastal Hazards: Wave modelling. Project summary. *sweep.ac.uk*. Retrieved 26.09.2021 from <https://sweep.ac.uk/wp-content/uploads/IP-001-A4-ESummary.pdf>.
4. Apecechea, M.I., Verlaan, M., Zijl F., Le Coz, C. & Kernkamp, H. (2017). Effects of self-attraction and loading at a regional scale: a test case for the Northwest European Shelf. *Ocean Dynamics*. 67(6), 729-749. Retrieved 26.09.2021 from <https://link.springer.com/article/10.1007/s10236-017-1053-4>.
5. Veeramony, J., Orzech, M.D., Edwards, K.L., Gilligan, M., Choi, J., Terrill, E. & Tony De Paolo (2014). Navy nearshore ocean prediction systems. *Oceanography*, 27(3), 80-91.
6. Site «Delft3D Open Source Community». *oss.deltares.nl*. Retrieved 26.09.2021 from <https://oss.deltares.nl/web/delft3d/home>.
7. Deltares. Terms of use Delft3D Community. Retrieved 26.09.2021 from <https://oss.deltares.nl/web/delft3d/terms-of-use>.
8. Deltares. Delft3D-FLOW, User Manual: Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flow and transport phenomena, including sediments. Retrieved 06.10.2021 from https://content.oss.deltares.nl/delft3d/manuals/Delft3DFLOW_User_Manual.pdf.
9. Deltares. Delft3D-WAVE, User Manual: Simulation of short-crested waves with SWAN. Retrieved 06.10.2021 from https://content.oss.deltares.nl/delft3d/manuals/Delft3D-WAVE_User_Manual.pdf.
10. Site «E.U. Copernicus Marine Service Information». Black Sea Physics Analysis and Forecast. *resources.marine.copernicus.eu* Retrieved 05.11.2021 from https://resources.marine.copernicus.eu/productdetail/BLKSEA_ANALYSISFORECAST_PHY_007_001/.

11. GEBCO. *GEBCO aims to provide the most authoritative, publicly available bathymetry data sets for the world's oceans*. Retrieved from <https://www.gebco.net>.
12. OpenGribs'. *OpenGribs' Mission Statement*. Retrieved from <https://opengribs.org/en>.
13. Site «NOAA». National Operational Model Archive and Distribution System (NOMADS). *nomads.ncep.noaa.gov*. Retrieved from <https://nomads.ncep.noaa.gov/>.
14. NOMADS. *Data Transfer: NCEP GFS Forecasts (0.25 degree grid)*. Retrieved from http://nomads.ncep.noaa.gov/cgi-bin/filter_gfs_0p25.pl.
15. Site «Research Data Archive at the Computational and Information Systems Laboratory». NCEP GFS 0.25 Degree Global Forecast Grids Historical Archive. *rda.ucar.edu* Retrieved from <https://rda.ucar.edu/datasets/ds084.1/>
16. NOAA. *NCEP Global Ocean Data Assimilation System (GODAS)*. Retrieved from <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/wesley/wgrib2/index.html>.

The article was received 21.10.2021 and was accepted after revision 25.01.2022

Шундель Олексій Іванович

кандидат фізико-математичних наук, науковий співробітник відділу панорамних акустичних систем Державної установи «Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України»

Адреса робоча: Україна, 03187, м. Київ, просп. Академіка Глушкова, 42

ORCID ID: 0000-0002-3076-9553 **e-mail:** lixyta666@gmail.com

Федосенков Сергій Геннадійович

кандидат геологічних наук, завідувач відділу панорамних акустичних систем Державної установи «Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України»

Адреса робоча: Україна, 03187, м. Київ, просп. Академіка Глушкова, 42

e-mail: 22lex22s@ukr.net

© Авторські і суміжні права належать авторам окремих публікацій, Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, Київському національному університету будівництва і архітектури.

Copying © authors of publications, Institute of Telecommunications and Global Information Space of NAS of Ukraine, Kyiv National University of Construction and Architecture. All rights reserved.

ДО УВАГИ АВТОРІВ ЗБІРНИКА

Зміст матеріалів, що направляються до редакції, повинен відповідати профілю та науково-технічному рівню збірника.

Кожна наукова стаття повинна мати вступ, розділи основної частини та висновки, а також анотацію і ключові слова (не менше п'яти) двома мовами (українською та англійською).

Підготовка статті здійснюється в текстовому редакторі MS WORD for WINDOWS, з використанням шрифту Times New Roman, Суг, кегль 11, одинарний інтервал, полями 2,0 см з кожного боку, заданим розміром сторінок 17x26 см.

Усі формули мають бути набрані в редакторі MathType.

Ілюстрації повинні обов'язково нумеруватися, мати книжкову орієнтацію і не можуть перевищувати за розміром задану сторінку (параметри сторінки 17x26 см з полями 2,0 см). Перелік літературних джерел перекладається англійською мовою (або транслітерується в романському алфавіті) і подається відповідно до міжнародного стандарту оформлення наукових публікацій **APA (American Psychological Association) style** загальним списком у кінці статті за чергою посилань у тексті.

Наприкінці статті наводиться коротка довідка про авторів, де вказуються прізвище, повне ім'я та по батькові авторів, науковий ступінь, вчене звання, посада, назва підрозділу (кафедри) та організації, особисті дані кожного з авторів (адреса, місто, країна, контактний телефон, e-mail), ORCID ID.

Обов'язково слід надати електронну версію статті в редакторі Microsoft Word.

Усі представлені в редакцію рукописи проходять ретельне багатоланкове рецензування відповідними фахівцями за профілем статті. Якщо сумарна оцінка рецензентів менша за встановлений поріг, рукописи відхиляються.

Зміст статті та якість написання або перекладу (українською або англійською мовами) переглядаються коректорами збірника, проте відповідальність за зміст та якість статті несуть автори матеріалу. До статті можуть бути внесені зміни редакційного характеру без згоди автора.

Розділ збірника, до якого буде віднесена стаття, визначається редакцією, узгоджується – головним редактором або його заступником. Остаточний висновок щодо публікації матеріалів схвалює редакційна колегія збірника.

Електронна версія збірника, правила оформлення та вимоги до статей містяться в Інтернеті на сайті <http://www.es-journal.in.ua>, який систематично оновлюється.

Збірник наукових праць також представлений на сайті Національної бібліотеки України ім. В.І. Вернадського, на сайті Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України <http://itgip.org/> у розділі «Видавнича діяльність» та на сайті бібліотеки Київського національного університету будівництва і архітектури <http://library.knuba.edu.ua/node/883>.

Редактор – В.П. Берчун

Надруковано в ТОВ «Видавництво «Юстон»
01034, м. Київ, вул. О. Гончара, 36а.
Тел.: (044) 360-22-66
www.yuston.com.ua

**Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру
видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції
серія дк № 497 від 09.09.2015 р.**

Підписано і здано до друку 15.04.2022. Формат 70x108/16. Папір офсетний.
Офсетний друк. Умовн. друк. арк. 10.68
Обл.-вид. арк. 12.1
Замовлення № _____

КИЇВ 2022