

ISSN 2522-1388

МІНІСТЕРСТВО ЕНЕРГЕТИКИ ТА ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ УКРАЇНИ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАУКОВО-ДОСЛІДНА УСТАНОВА
«УКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ
ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМ»

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ В. Н. КАРАЗІНА

**ПРОБЛЕМИ
ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО
ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА
ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ**

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

ВИПУСК 42

Харків — 2020

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР

А. В. Гриценко, д-р геогр. наук, УКРНДІЕП; м. Харків, Україна;

ЗАСТУПНИКИ ГОЛОВНОГО РЕДАКТОРА

І. Г. Черваньов, д-р техн. наук, ХНУ імені В. Н. Каразіна; м. Харків, Україна;

О. Г. Васенко, канд. біол. наук, УКРНДІЕП; м. Харків, Україна;

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Адаменко М. І., д-р техн. наук, ХНУ імені В. Н. Каразіна; м. Харків, Україна;

Аніщенко Л. Я., д-р техн. наук, УКРНДІЕП; м. Харків, Україна;

Бабіч О. В., канд. техн. наук, УКРНДІЕП; м. Харків, Україна;

Варламов Г. Б., д-р техн. наук, НТУУ «КПІ»; м. Київ, Україна

Варламов Є. М., канд. техн. наук, УКРНДІЕП; м. Харків, Україна;

Василенко С. Л., д-р техн. наук, КП «Харківводоканал»; м. Харків, Україна;

Внукова Н. В., д-р техн. наук, ХНАДУ; м. Харків, Україна;

Генова С. І., д-р екон. наук, Комратський державний університет, м. Комрат, Республіка Молдова

Гурець Л. Л., д-р техн. наук, СумДУ; м. Суми, Україна;

Дмитрієва О. О., д-р екон. наук, УКРНДІЕП; м. Харків, Україна;

Дубенюк С. А., канд. техн. наук, зам. директора по науковій роботі РУП "ЦНИИКИВР", г. Минск, Республіка Беларусь

Жуковський Т. Ф., канд. техн. наук, УКРНДІЕП; м. Харків, Україна;

Клімов О. В., канд. геогр. наук, УКРНДІЕП; м. Харків, Україна;

Крайнюкова А. М., д-р біол. наук, УКРНДІЕП; м. Харків, Україна;

Нємець К. А., д-р геогр. наук; ХНУ імені В. Н. Каразіна; м. Харків, Україна;

Нємець Л. М., д-р геогр. наук; ХНУ імені В. Н. Каразіна; м. Харків, Україна;

Пересадько В. А., д-р геогр. наук; ХНУ імені В. Н. Каразіна; м. Харків, Україна;

Рибалова О. В., канд. техн. наук, НУЦЗУ; м. Харків, Україна;

Романова Н. С., канд. фіз.-мат. наук, професор Сакред Харт Академії, г. Хемден, Штат Коннектикут, США

Савцова О. В., д-р техн. наук, ХНУМГ; м. Харків, Україна;

Соловей В. В., д-р техн. наук; ІПМ ім. А. М. Підгорного НАН України; м. Харків, Україна;

Телюра Н. О., канд. техн. наук, ХНУМГ; м. Харків, Україна;

Тітенко Г. В., канд. геогр. наук; ХНУ імені В. Н. Каразіна; м. Харків, Україна;

Тютюник В. В., д-р техн. наук., НУЦЗУ; м. Харків, Україна;

Фик І. М., д-р техн. наук., ХНУ імені В. Н. Каразіна; м. Харків, Україна.

Хабарова Г. В., канд. техн. наук, УКРНДІЕП; м. Харків, Україна;

Христич О. В., канд. техн. наук, НУЦЗУ; м. Харків, Україна;

Цапко Н. С., канд. техн. наук, УКРНДІЕП; м. Харків, Україна;

Чумаченко С. М., д-р техн. наук, НУХТ; м. Київ, Україна.

Свідоцтво про державну реєстрацію
друкованого засобу масової інформації:
серія KB № 22515-12415ПР від 28.12.2016 р.

Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки: зб. наук. пр. / УКРНДІЕП; ХНУ імені В. Н. Каразіна – Х.: ПП «Стиль-Іздат», 2020. — Вип.42. – 214 с.

Збірник призначено для висвітлення результатів наукових досліджень у галузі екології, охорони навколишнього середовища та екологічної безпеки. Розраховано на наукових та інженерно-технічних фахівців, діяльність яких пов'язана з охороною довкілля.

Автори опублікованих матеріалів несуть відповідальність за достовірність наведених відомостей, точність даних по цитованій літературі та за використання в статтях даних, що не підлягають відкритій публікації.

Затверджено до друку рішенням Вченої ради УКРНДІЕП (протокол № 13 від 03.12.2020 р.)

Затверджено до друку рішенням Вченої ради ХНУ імені В. Н. Каразіна (протокол № 12 від 17.12.2020 р.)

© УКРНДІЕП, оформлення, 2020
© ХНУ імені В. Н. Каразіна, оформлення, 2020

*Л. Я. АНИЩЕНКО, А. В. ГРИЦЕНКО, Б. С. СВЕРДЛОВ, Л. А. ПІСНЯ,
О. В. КЛІМОВ, І. В. БАРМІНА*

ОСОБЛИВОСТІ СТРАТЕГІЧНОЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ ОЦІНКИ ДЕРЖАВНОЇ СТРАТЕГІЇ УПРАВЛІННЯ ЛІСАМИ УКРАЇНИ НА ПІДСТАВІ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ

Розглянуто особливості впровадження процедури стратегічної екологічної оцінки (СЕО) у вітчизняну практику розробки документів державного планування. Показано, що науковим підґрунтям виконання СЕО Державної стратегії управління лісами України до 2035 року має бути системний підхід та врахування особливостей оцінки, пов'язаних з подвійним призначенням лісової галузі: ліси як складова довкілля і ліси як ресурс для економіки. Наведені результати комплексного багатофакторного аналізу ймовірних впливів на складові довкілля, запропонованих в Стратегії 100 заходів, розподілених за чотирма цілями. На підставі аналізу, виконаного методом бальних оцінок для трьох варіантів розвитку галузі, визначено пріоритетний варіант Стратегії та пріоритетну ціль розвитку. Розроблено пропозиції щодо реалізації Стратегії з урахуванням визначених пріоритетів розвитку.

Ключові слова: стратегічна екологічна оцінка, багатофакторний аналіз, стратегії розвитку, бальні оцінки впливів, складові довкілля, альтернативи, пріоритети, індикатори.

Рассмотрены особенности внедрения процедуры стратегической экологической оценки (СЭО) в отечественную практику разработки документов государственного планирования. Показано, что научным основанием выполнения СЭО Государственной стратегии управления лесами Украины до 2035 года должен быть системный подход и учет особенностей оценки, связанных с двойным назначением лесной отрасли: леса как составляющая окружающей среды и леса как ресурс для экономики. Приведены результаты комплексного многофакторного анализа вероятных воздействий на составляющие окружающей среды, предложенных в Стратегии 100 мероприятий, распределенных по четырем целям. На основании анализа, выполненного методом балльных оценок для трех вариантов развития отрасли, определены - приоритетный вариант Стратегии и приоритетная

цель развития. Разработаны предложения по реализации Стратегии с учетом установленных приоритетов развития.

Ключевые слова: стратегическая экологическая оценка, многофакторный анализ, стратегии развития, балльные оценки воздействий, составляющие окружающей среды, альтернативы, приоритеты, индикаторы.

The features of the introduction of the procedure for strategic environmental assessment (SEA) into the domestic practice of developing state planning documents are considered. It is shown that the scientific basis for the implementation of the SEA of the State Strategy for Forest Management of Ukraine until 2035 should be a systematic approach and taking into account the assessment features associated with the dual purpose of the forest industry: forests as a component of the environment and forests as a resource for the economy. The results of a comprehensive multivariate analysis of the likely impacts on the environmental components of the 100 measures proposed in the Strategy, distributed over four goals, are presented. Based on the analysis carried out by the method of scoring for three options for the development of the industry, the priority version of the Strategy and the priority development goal are determined. Proposals were developed for the implementation of the Strategy, taking into account the established development priorities.

Key words: strategic environmental assessment, multivariate analysis, development strategies, impact scores, environmental components, alternatives, priorities, indicators.

Актуальність, постановка та стан проблеми.

Стратегічна екологічна оцінка (СЕО) документів державного планування (ДДП) – це процедура визначення, опису та оцінювання наслідків виконання ДДП для довкілля, у тому числі для здоров'я населення, виправданих альтернатив та розроблення заходів із запобігання, зменшення та відшкодування можливих негативних наслідків [1].

Відповідно до пункту 3 частини першої статті 1 Закону України «Про стратегічну екологічну оцінку», до документів державного планування, які підлягають стратегічній екологічній оцінці, належать стратегії, плани, схеми, містобудівна документація, загальнодержавні програми, державні цільові програми та інші програми і програмні документи, включаючи зміни до них, які розробляються та/або підлягають затвердженню органом державної влади.

Міністерством екології та природних ресурсів розроблено проект «Державна стратегія управління лісами України до 2035 року» [2, 3] (далі – Стратегія), що пропонується до затвердження розпорядженням Кабінету Міністрів України і згідно Закону [1] підлягає процедурі СЕО.

Стратегія визначає стратегічні напрямки забезпечення сталого ведення та управління лісовим господарством [2, 3]:

1. Ефективне управління лісами
2. Забезпечення екологічної стійкості
3. Забезпечення вагомого внеску лісів в розвиток економіки
4. Рекреація та відкрите суспільство
5. Дослідження та освіта

Стратегія розроблена з урахуванням потреби здійснення єдиної державної політики у сфері лісових відносин з урахуванням змін, які відбулися у лісовому господарстві за останні роки, і пов'язана з іншими документами державного планування, зокрема:

- Указ Президента України № 722/2019 «Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року»;
- Державна стратегія регіонального розвитку на 2021 – 2027 роки, затверджена постановою КМУ від 05 серпня 2020 р. № 695;
- Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року, схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 р.;
- Основні засади (стратегія) державної екологічної політики України на період до 2030 року, затверджені Законом України від 28 лютого 2019 року № 2697-VII.

Стратегія також відповідає низці міжнародних зобов'язань України.

Однією з проблем втілення в практику процедури СЕО є недостатність належної методичної бази. В Законі [1] регламентується порядок оцінки, перелік документів, до яких вона застосовується, та коло питань, які необхідно розглянути. Але досі не існує достатньо детально розроблених методичних вказівок та обґрунтувань щодо впровадження такої процедури для різних типів стратегій, планів, програм.

Серед існуючих розробок щодо цього питання слід виділити наступні. Це, в першу чергу, інформаційно-довідковий посібник із застосуванням Протоколу ЄЕК ООН по СЕО [4], приклади практичного застосування [5], Методичні рекомендації [6] та ряд інших [7-12].

В існуючих методичних розробках ідеологія СЕО визначається на основі розвитку принципів, процедур та методів, які використовуються при оцінці впливів планованої діяльності на навколишнє середовище (ОВНС), оцінці впливів на довкілля (ОВД) та на здоров'я населення (ОВЗ).

У порівнянні з процедурами ОВНС та ОВД, для яких виконуються оцінки впливу окремих об'єктів, процедура СЕО має ряд переваг, які відкривають нові можливості щодо зменшення негативних наслідків для довкілля. Це пов'язано з тим, що в СЕО закладаються основи для майбутніх проектів та для багатьох інших ініціатив, впровадження яких може спричинити негативний вплив на довкілля. При цьому оскільки на стадії СЕО можливе врахування екологічних чинників при визначенні фундаментальних основ документа, що оцінюється (чому, де і в який спосіб проводитиметься планована діяльність), потенціал СЕО значно збільшує можливості подальших процедур ОВД щодо зменшення негативних впливів на довкілля.

Таким чином, переваги СЕО, які необхідно враховувати методологічно, полягають в наступному [7, 9, 11, 12]:

- на етапі СЕО надається можливість розгляду широкого кола альтернатив регіонального, секторального або галузевого розвитку;
- часові та географічні рамки, які встановлюються на рівні ДДП, що оцінюється, сприяють більш широкомасштабному врахуванню наслідків впливів планованої діяльності;
- уможливлується оптимізація і вдосконалення подальших звітів про ОВД шляхом їх ув'язки зі звітом про СЕО, зокрема, удосконалюється обґрунтування місця розташування і варіантів планованої діяльності на підставі заздалегідь визначених екологічних наслідків;
- виникає можливість зниження витрат на природоохоронні заходи, оскільки більш екологічно несприятливі варіанти можуть бути відхилені на стадії СЕО;
- думка громадськості враховується на ранній стадії планування.

Розглядаються різні типи альтернатив, а саме: розгляду альтернатив в процедурі СЕО приділяється особлива увага. Розглядаються різні типи альтернатив:

- варіанти ДДП, альтернативні по відношенню до початкового варіанту;
- альтернативні варіанти окремих елементів ДДП;
- альтернативні варіанти цілей документа.

Взагалі, для СЕО ДДП рівня стратегії розвитку галузі економіки, оцінка цілей розвитку, їх співвідношення, оцінка альтернативних цілей має вирішальне значення. Цілями визначаються напрямки розвитку галузі, способи реалізації та заходи, які при подальшій розробці планів заходів конкретизуються контрольними індикаторами.

Науковим підґрунтям виконання СЕО є системний підхід, що базується на системному аналізі стратегії, що оцінюється. З позиції системного підходу стратегія розвитку або управління конкретною галуззю становить складну систему, що формується із множини елементів та підсистем, які пов'язані між собою та об'єднані для виконання певних цілей. Особливістю такої системи є об'єднання в одній структурі штучної (розвиток конкретної галузі) та природної (довкілля) складової.

При екологічній оцінці стратегії розвитку лісової галузі додатково має бути враховано, що самі ліси - це частина навколишнього середовища, а наслідком розвитку галузі може бути або покращення стану довкілля в цілому, або його погіршення. Тому екологічна складова стратегії управління галуззю має бути спрямована на формування діалектичного балансу між розвитком лісів, як частини довкілля та використанням лісів, як ресурсу. І якщо стратегія розвитку лісової галузі, в якій ліс розглядається як ресурс для економіки, тобто безпосередньо для споживання, має значні перспективи [13], то ліс як частина довкілля потерпає від суттєвих порушень екологічних вимог до цього споживання. Це призводить не тільки до негативних впливів на самі ліси, але й на інші складові довкілля через регулярні паводки та пожежі. Тому суттєвим елементом при виконанні СЕО стратегії управління лісами України є оцінка пріоритетності вибраних цілей розвитку.

Враховуючи подвійне призначення лісової галузі (складова довкілля і ресурс для економіки), впливи розвитку цієї галузі на оточуюче середовище можна поділити на дві частини, а саме: 1) впливи на довкілля, що спричиняються змінами в окремій його частині; 2) впливи на довкілля споживанням лісу як ресурсу. В свою чергу, розвиток галузі як частини довкілля зазнає впливів з боку самого довкілля. В першу чергу це впливи, що спричинятимуться змінами в оточуючому середовищі. Найбільш суттєві з них, пов'язані з потеплінням клімату, що спостерігається в останні роки, мають бути враховані в Стратегії належними заходами та оцінені в СЕО.

Ще однією особливістю СЕО Стратегії [2,3] є масштаби зони впливів, а саме: майже вся територія України і все її населення, та необхідність аналізу транскордонних аспектів поблизу значної частини кордону.

Таким чином, при виконанні СЕО Стратегії управління лісами України мають враховуватися перелічені особливості оцінки.

Мета роботи. Результати досліджень.

В ході здійснення СЕО Стратегії [2, 3] оцінити (з врахуванням особливостей екологічної оцінки впливів розвитку лісової галузі) ймовірні наслідки впливів за напрямками: А) складові довкілля та здоров'я населення; Б) території з природоохоронним статусом; В) ймовірні транскордонні впливи; Г) відповідність встановленим на міжнародному рівні зобов'язанням України у сфері охорони довкілля та запобіганню негативним наслідкам впливів на здоров'я населення.

Екологічна оцінка впливів зазначених в Стратегії [2, 3] заходів здійснена на базі комплексного багатофакторного аналізу ймовірних впливів на довкілля кожного заходу і їх сукупності за методом бальних оцінок. Результати оцінки наведені в таблиці 1.

Заходи (1-100) розподілені згідно цілей (I–IV), на досягнення яких направлений конкретний захід, способів їх реалізації (1-22) та оцінені за напрямками (А, Б, В, Г) щодо їх впливу на 12 складових довкілля.

У табл. 1 кожному частковому позитивному або негативному впливу на певну складову довкілля відповідає позначка «+» чи «-». Якщо загальний вплив заходу на окрему складову довкілля може мати як негативні, так і позитивні наслідки, то у відповідному стовпчику таблиці проставлені обидві позначки. За кожну позначку нараховується, відповідно, один позитивний чи негативний бал. Якщо частковий вплив не прогнозується, то у відповідному стовпчику таблиці проставляється цифра «0». Комплексна багатофакторна оцінка впливів кожного заходу відображається в окремому стовпчику дробом, у числівнику якого проставлена сума позитивних балів, а у знаменнику – сума негативних.

Аналіз проведено для трьох варіантів Стратегії з відповідними комплексами заходів: для варіанту, опублікованому в [2, 3], альтернативи 1 та альтернативи 2. Всього оцінено 100 заходів.

Таблиця 1 Аналіз імовірних впливів на довкілля від реалізації «Державної стратегії управління лісами України до 2035 року»

№ заходу згідно CEO Стратегії [14]	Цілі Стратегії(I-IV). Спосіб реалізації заходів (1-22). Назва заходу(перелік заходів скорочено)	Ймовірні наслідки для складових довкілля(+ - позитивні, -- негативні, 0 - невизначені)												Комплексна бальна оцінка впливу, Σ+ / Σ-	
		флора, фауна, біорізноманіття	грунт	надра	клімат	повітря	вода	ландшафт	Природні території та об'єкти ПЗФ	Безпека життєдіяльності населення	здоров'я населення	Матеріальні активи	об'єкти культурної спадщини		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
ІЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЗБІЛЬШЕННЯ ЛІСІВ, ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ДО ШКІДНИКІВ І ЗМІН КЛІМАТУ															
1)Збільшення площі, підвищення стійкості та якості, нарощення потенціалу															
1.	Загальнодержавна програма збільшення лісистості	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	0	10/0
2.	Збереження самосійних лісів на сільськогосподарських угіддях та перевод їх до лісового фонду	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	0	10/0
3.	Лісорозведення на деградованих та малопродуктивних землях	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	0	10/0
4.	Запровадження механізмів стимулювання лісорозведення приватними власниками земель	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	0	10/0
5.	Відмова від передачі земель лісового фонду під інші форми землекористування крім випадків передачі для суспільно важливих цілей	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	12/0
6.	Вибірковий спосіб заготівлі деревини в неексплуатаційних категоріях лісів	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	12/0
7.	Збільшення обсягу проведення рубок догляду в лісах	+	0	0	0	0	0	0	0	0	+	+	0	0	3/0
8.	Під час лісорозведення максимально використовувати породи (в т.ч. інтродуковані), які не пошкоджуються	-	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0	0/3

	шкідниками (акація, червоний дуб та ін.)													
9.	При лісовідновленні відмовитись від використання інвазійних порід дерев крім випадків, передбачених чинним законодавством	+	0	0	0	0	0	+	+	0	0	0	0	3/0
2) Збільшення поглинання й утримання вуглецю лісами														
10.	Компенсаційні механізми	+	0	0	+	+	0	0	+	+	+	+	+	8/0
11.	Управлінські рішення	+	0	0	+	+	0	0	+	+	+	+	+	8/0
12.	Створення енергетичних плантацій із швидкоростучих видів дерев	0	0	0	0	-	+	0	0	-	-	0	0	1/3
3) Адаптація лісів до змін клімату та перехід до формування лісів природного складу														
13.	Вдосконалення нормативно-правової бази, щодо проведення рубок з врахуванням необхідності адаптації лісів до змін клімату	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	0	10/0
14.	Формування лісів різнопородних та різновікових місцевих порід дерев	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	0	10/0
15.	Використання природного поновлення лісів	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	0	10/0
16.	Збереження та відтворення генетичного різноманіття лісів	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	0	10/0
17.	Попередження розповсюдження та боротьба з інвазійними чужорідними видами	+	+	0	+	+	+	+	+	+	+	0	0	9/0
18.	Попередження ерозії на лісосіках, особливо в горах	+	+	+	0	0	+	+	+	+	+	+	+	10/0
19.	Використання природозберігаючих технологій лісозаготівлі, особливо в горах	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	12/0
20.	Впровадження інноваційних технологій у лісовирощуванні, догляді, охороні і захисті лісів	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	12/0

	4) Удосконалення існуючої системи охорони лісів від пожеж	$\Sigma(21, 22)$											24/0	
	5) Збереження та відтворення генетичного різноманіття лісів	$\Sigma(23 - 25)$											33/0	
	6) Розроблення системи захисту насаджень від шкідників та хвороб лісу	$\Sigma(26, 27)$											16/0	
	7) Розвиток захисного лісорозведення та агролісомеліорації	$\Sigma(28 - 30)$											24/0	
	8) Боротьба з інвазійними чужорідними видами	$\Sigma(31 - 33)$											27/0	
	9) Розвиток мисливського господарства	$\Sigma(34 - 38)$											17/0	
	10) Збереження біологічного різноманіття	$\Sigma(39 - 48)$											61/0	
	11) Підтримка водоохоронної та ґрунтозахисної ролі лісів	$\Sigma(49 - 51)$											36/0	
52.	Подрібнення і розкидання відходів лісозаготівлі після рубок	+	+	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	2/2
	12) Ефективне управління лісами зони відчуження, зони ООС та у Південно-східному регіоні України	$\Sigma(53 - 57)$											49/0	
	13) Інтегрування розвитку транспортної мережі заготовленої деревини із розвитком туристичного потенціалу у Карпатському регіоні	$\Sigma(58, 59)$											16/10	
	Комплексна бальна оцінка впливу щодо цілі ІСтратегії, $\Sigma+/\Sigma-$												$\frac{474}{12}$	
II ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВАГОМОГО ВНЕСКУ ЛІСІВ В РОЗВИТОК ЕКОНОМІКИ (3 ПІДРОЗДІЛУ IV.3)														

14) Підвищення економічного потенціалу лісів														
60.	Збільшення обсягів заготівлі деревини до науково обґрунтованого рівня невиснажливого лісокористування	-	-	0	-	-	0	-	-	0	-	+	0	1/7
61.	Отримання та реалізація деревини вищої якості	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	1/0
62.	Зведення до обґрунтованого мінімуму залишків відходів лісозаготівлі	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	0	10/0
63.	Зменшення залишків нереалізованої деревини на складах	0	0	0	+	+	0	0	0	+	+	0	0	4/0
64.	Розширення кількості і асортименту іншої деревної і недеревної продукції та послуг	0	0	0	0	0	0	0	0	+	+	+	0	3/0
	15) Підвищення конкурентоздатності лісогосподарського виробництва	$\Sigma(65 - 67)$												18/2
	16) Формування загальнодержавного балансу заготівлі та споживання деревини	$\Sigma(68, 69)$												14/12
17) Популяризація використання виробів з деревини в суспільстві														
70.	Пропагування дерев'яного домобудівництва											+	-	7/6
71.	«Каскадне» використання вжитої деревини в подальшій переробці											+	-	7/6
72.	Використання відходів галузі, на енергетичні потреби											0		4/3
73.	Перехід на опалення з використанням твердопаливних котелень на дровах, пелетах та деревинній трісці											+		3/3

	18) Монетизація екосистемних послуг лісового господарства та збільшення їхньої частки	$\Sigma(74, 75)$											12/0	
	19) Популяризація і впровадження використання недеревинних ресурсів лісу	$\Sigma(76 - 80)$											20/0	
	Комплексна бальна оцінка впливу щодо цілі II Стратегії, $\Sigma+ / \Sigma-$												<u>104</u> 37	
	III РЕКРЕАЦІЯ ТА ВІДКРИТЕ СУСПІЛЬСТВО													
	20) Покращення використання рекреаційного потенціалу лісів	$\Sigma(81 - 90)$											38/0	
	21) Підвищення якості та доступності інформації про ліси та лісове господарство	$\Sigma(91 - 95)$											25/0	
	IV ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОСВІТА													
	22) Покращення системи лісової освіти	$\Sigma(96 - 100)$											50/0	
	Інтегральна та комплексна бальні оцінки впливу для опублікованого варіанту стратегії, $\Sigma+ / \Sigma-$	<u>6</u>	<u>0</u>	<u>3</u>	<u>0</u>	<u>5</u>	<u>0</u>	<u>5</u>	<u>6</u>	<u>92</u> 4	<u>0</u>	<u>5</u>	<u>9</u>	<u>691</u> 52
	Інтегральна та комплексна бальні оцінки впливу для альтернативи 1, $\Sigma+ / \Sigma-$	<u>1</u> 0	<u>6</u>	<u>3</u>	<u>6</u>	<u>1</u>	<u>7</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>88</u> 4	<u>6</u>	<u>5</u>	<u>9</u>	<u>652</u> 55
	Інтегральні та комплексна бальні оцінки впливу для альтернативи 2, $\Sigma+ / \Sigma-$	<u>6</u>	<u>8</u>	<u>3</u>	<u>0</u>	<u>4</u>	<u>8</u>	<u>4</u>	<u>6</u>	<u>91</u> 3	<u>8</u>	<u>5</u>	<u>9</u>	<u>682</u> 43

В якості альтернативи 1 розглянуто варіант Стратегії з відсутністю заходів проти поширення інвазійних видів (в табл. 1 це заходи 9, 17, 31, 32, 33) та наявністю додаткового заходу (табл. 1 захід 8), який передбачає застосування у лісорозведенні інтродукованих порід.

В якості альтернативи 2 розглянуто варіант, з якого виключено заходи, у яких передбачено збільшення обсягів спалення деревини та деревинних відходів (табл. 1, заходи 12, 72, 73).

Інші заходи присутні в усіх розглянутих варіантах.

У кінцевому стовпчику таблиці 1 (стовпчик 15) для кожного розглянутого варіанту Стратегії представлені інтегральні комплексні часткові оцінки заходів як співвідношення сум позитивних і негативних часткових впливів на кожен складову довкілля. Більшість оцінених у контексті Стратегії видів діяльності є невід'ємними складовими при веденні лісового господарства або складають з ним єдиний комплекс і можуть мати значний позитивний економічний і екологічний ефект.

За результатами комплексної багатофакторної оцінки кількість негативних балів у відсотках від загальної кількості балів для заходів цілі I становить 2,5 %, для заходів цілі II становить 26,3%. Тобто за комплексною бальною оцінкою ймовірних екологічних наслідків реалізації Стратегії значну перевагу мають заходи щодо збереження та збільшення лісів, підвищення їх стійкості до шкідників та змін клімату (ціль I).

За результатами бальних оцінок кількість негативних балів у відсотках від загальної кількості балів для опублікованого варіанта Стратегії [2, 3] становить 7,0%, для альтернативи 1 – 7,8%, для альтернативи 2 – 5,9%. Тобто, найменший відсоток негативних балів одержано для альтернативи 2.

Таким чином, за результатами комплексної багатофакторної оцінки ймовірних впливів реалізації Стратегії на складові довкілля та здоров'я населення за напрямками оцінки А та Б пріоритетним варіантом визначено альтернативу 2.

Стосовно відповідності СЕО Стратегії [14] напрямкам оцінки (В, Г) можна сказати наступне. Заходи, передбачені Стратегією [2, 3], охоплюватимуть практично всю територію України, включаючи прикордонні заліснені території, смуга яких простягається від кордону з Румунією на південному заході України, далі вздовж кордону з Молдовою, Угорщиною, Словаччиною, Польщею, Білоруссю і закінчуючи північними і східними кордонами з Росією. Проведена оцінка впливів реалізації Стратегії на довкілля (табл. 1) не дає підстав прогнозувати ймовірність будь-яких негативних транскордонних впливів, у тому числі для здоров'я людини, пов'язаних з

виконанням передбачених Стратегією заходів. Незважаючи на це при здійсненні моніторингових досліджень наслідків впровадження Стратегії прикордонним територіям слід приділяти особливу увагу.

При цьому ключовими територіями мають стати території природно-заповідного фонду, розташовані поблизу державного кордону України. Їх перелік наведений у таблиці 2.

Таблиця 2 – Транскордонні лісові території природно-заповідного фонду України

№	Назва території	Місцезнаходження (область)	Площа (га)	Суміжна країна
1	Карпатський біосферний заповідник: Кузійський заповідний масив Мармароський заповідний масив	Закарпатська	4925 8990	Румунія
2	Ужанський національний природний парк	Закарпатська	39159	Словаччина
3	Регіональний ландшафтний парк «Надсянський»	Львівська	19428	Польща
4	Шацький національний природний парк	Волинська	32515	Білорусь, Польща
5	Національний природний парк «Прип'ять-Стохід»	Волинська	39315	Білорусь
6	Ботанічний заказник загальнодержавного значення «Вичівський»	Рівненська	2762	Білорусь
7	Рівненський природний заповідник	Рівненська	42289	Білорусь
8	Загальнозоологічний заказник місцевого значення «Борутинський»	Житомирська	3116	Білорусь
9	Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник	Київська	226965	Білорусь
10	Міжрічинський регіональний ландшафтний парк	Чернігівська	102473	Білорусь
11	Національний природний парк «Деснянско-Старогутський»	Сумська	16214	Росія
12	Ландшафтний заказник загальнодержавного значення «Шалигинський»	Сумська	2868	Росія
13	Гетьманський національний природний парк	Сумська	23360	Росія
14	Ландшафтний заказник місцевого значення «Сіверськодонецький»	Харківська	2531	Росія

15	Ландшафтний заказник місцевого значення «Шарів кут»	Луганська	731	Росія
16	Ландшафтний заказник місцевого значення «Кружилівський»	Луганська	123	Росія
17	Загальнозоологічний заказник місцевого значення «Суходольський»	Луганська	483	Росія

Стосовно напрямку Г запропонована Стратегія [2, 3] має відповідати низці міжнародних зобов'язань України, зокрема:

- Добровільні зобов'язання України в рамках виконання «Стратегічного плану ООН щодо лісів на період 2017-2030 роки»;
- Добровільні зобов'язання України в рамках національного досягнення цілі 15 збалансованого розвитку «Збереження екосистем суші»;
- Добровільні зобов'язання України в рамках співпраці з процесом «Лісова Європа»;
- Юридично обов'язкові зобов'язання в рамках виконання Протоколу про стале управління лісами в рамках Карпатської конвенції;
- Зобов'язання в рамках Бернської конвенції про охорону дикої флори та фауни і природних середовищ існування в Європі;
- Зобов'язання в рамках Конвенції про біологічне різноманіття;
- Добровільні зобов'язання стосовно надання міжнародної звітності в рамках глобальної оцінки лісових ресурсів та звітності стосовно виконання загальноєвропейських критеріїв та індикаторів сталого лісоуправління, тощо;
- Угода про асоціацію між Україною та ЄС.

Крім того, двостороннє співробітництво здійснюється з Турецькою, Польською, Австрійською, Словацькою, Фінляндською республіками, Словенією, Республікою Білорусь в рамках міждержавних угод та меморандумів про взаєморозуміння.

В СЕО [14] проаналізовані положення міжнародних зобов'язань України, що стосуються проблематики Стратегії, і оцінена відповідність заходів Стратегії цим положенням. Результати аналізу свідчать про відповідність запропонованих в Стратегії заходів екологічним принципам та вимогам, що містяться у проаналізованих міжнародних документах. Але зважаючи на те, що більшість положень розглянутих документів має декларативний характер, то і урахування їх в СЕО Стратегії [14] відповідне. Тому доцільно в СЕО акцентувати увагу на тих заходах, що стосуються найбільш проблемних питань. Серед таких слід відмітити наступні. Виконання статті 294 Угоди про Асоціацію, в якій зазначено зобов'язання

«працювати разом для покращення правозастосування та управління в лісовій галузі та торгівлі легальною сталою лісовою продукцією», а також статті 297, щодо врахування «наукової та технічної інформації та відповідних міжнародних стандартів, настанов та рекомендацій». В табл. 1 та CEO [14] це заходи за номерами 60, 61, 64, 66, 68-70, 77-80.

Слід також відмітити важливість виконання Протоколу про стале управління лісами до Рамкової конвенції про охорону та сталий розвиток Карпат, статті 8 Підтримка та збільшення лісового покриву, п.2 «Кожна сторона вживає заходів на своїй національній території для розширення лісового покриву в Карпатах...». В табл. 1 та CEO [14] це заходи за номерами 13-27, 31-60, 66, 67, 74-100.

В CEO Стратегії [14] також передбачено, що моніторинг щорічно проводитиме Міндовкілля. З метою дотримання об'єктивності та неупередженості до його проведення запропоновано залучати наукові установи, неурядові організації та незалежні інститути. Крім того, моніторингову інформацію щодо стану довкілля одержуватимуть існуючі суб'єкти державного екологічного, санітарно-хімічного та медико-санітарного моніторингу України.

Для належної оцінки виконання заходів Стратегії на стадії формування плану заходів слід розробити відповідні індикатори для кожного заходу та ряд спеціальних екологічних показників-індикаторів, що дасть змогу оцінювати ефективність реалізації Стратегії.

Якщо в плані заходів положення та заходи Стратегії будуть супроводжені конкретними індикаторами, бажано в цифровій формі, можна вважати, що при досягненні контрольних показників Стратегії [2, 3] ліси України будуть управлятися у режимі реалізації їх сталого розвитку та стійкості, буде забезпечений природоохоронний та економічний потенціал лісів, їх адаптація до змін клімату, зменшено деградацію лісів за рахунок збільшення площі та продуктивності, що в результаті покращить стан довкілля і якість життя громадян.

Висновки

1. На основі аналізу існуючого досвіду втілення в практику процедури CEO встановлено:

- науковим підґрунтям виконання CEO Державної стратегії управління лісами України має бути системний підхід з використанням методології комплексного багатофакторного аналізу;

- в CEO стратегії розвитку лісової галузі мають бути враховані особливості оцінки, пов'язані з подвійним призначенням лісової галузі, а саме ліси як складова довкілля і ліси як ресурс для економіки;

- розвиток галузі як частини довкілля зазнає впливів з боку самого довкілля (потепління клімату);

- для CEO документів державного планування рівня стратегії розвитку галузі економіки вирішальне значення має оцінка цілей розвитку, їх співвідношення, оцінка альтернативних цілей.

2. Проведено комплексний багатофакторний аналіз ймовірного впливу на складові довкілля 100 заходів проєкту Державної стратегії управління лісами України до 2035 року, розподілених за чотирма цілями. За результатами аналізу, виконаного методом бальних оцінок для трьох варіантів розвитку, визначено:

- пріоритетний варіант розвитку галузі (альтернатива 2);

- пріоритетну ціль розвитку (ціль I- збереження та збільшення лісів, підвищення їх стійкості до шкідників та змін клімату).

3. Інструментом реалізації розробленої Стратегії має бути План заходів, що затверджується окремим актом Кабінету Міністрів України. Для кожного заходу Плану необхідно розробити відповідні індикатори (бажано в цифровій формі), ряд спеціальних екологічних показників-індикаторів, строки виконання та перелік виконавців.

4. Найбільш суттєвою складовою реалізації заходів є фінансове забезпечення, яке планується здійснювати за рахунок державних та місцевих бюджетів, коштів лісокористувачів, міжнародних організацій та іноземних інвесторів. Але якщо розвиток галузі, пов'язаний з використанням лісу як ресурсу, може спиратись на ініціативу і зацікавленість підприємницьких кіл суспільства, то захист, збереження та відновлення лісу як частини довкілля, посилення захисних (водорегулюючих, ґрунтозахисних, кліматичних та інших) функцій лісу для інших складових довкілля потребує чіткого контролю та підтримки держави. Підґрунтям такого контролю має стати підпорядкованість досягнення індикаторів заходів розвитку галузі як ресурсу (ціль II, табл. 1) реалізації індикаторів заходів за пріоритетною, згідно CEO, ціллю Стратегії (ціль I, табл.. 1).

5. Зважаючи на міжнародний тренд щодо переходу світових економік на зелений курс, потрібно скорегувати міжнародні зобов'язання України в напрямку приєднання до зеленого курсу з визначенням особливої ролі лісу, що може сприяти

залученню коштів міжнародних зелених фондів у розвиток лісової галузі України і пом'якшити для економіки такий перехід.

Література

1. Закон України «Про стратегічну екологічну оцінку від 20.03.18 № 2354-VIII /Голос України від 11.04.2018.- №67
2. Повідомлення про опублікування проекту Державної стратегії управління лісами України до 2035 року /Електронний ресурс.- Режим доступу:<https://mepr.gov.ua/news/36108.htm/>
3. Повідомлення про оприлюднення заяви про визначення обсягу стратегічної екологічної оцінки проекту Державної стратегії управління лісами України до 2035 року та проект Державної стратегії управління лісами України до 2035 року / Електронний ресурс. Режим доступу: <https://mepr.gov.ua/news/36526.htm/>
4. Информационно-справочное руководство по применению Протокола ЕЭК ООН по стратегической экологической оценке. ECE/MP/EIA/17 / Европейская Экономическая Комиссия Организации Объединенных Наций. – ООН, Нью-Йорк и Женева. – 2014.
5. Звіт про стратегічну екологічну оцінку проекту обласної програми поводження з ТПВ на 2012-2020 р.р. (проект) / МБО «Екологія-Право-Людина» - Львів: 2013.- 42 с. Режим доступу: <http://epl.org.ua/human-posts/zvit-pro-stratehichnu-ecolohichnu-otsinku-proektu-oblasnoi-prohramy-povodzhennia-z-tpv-na-2012-2020-rr-proekt/>
6. Про затвердження Методичних рекомендацій із здійснення стратегічної екологічної оцінки документів державного планування. Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України від 10.08.2018 № 296. Режим доступу: https://menr.gov.ua/files/docs/nakazy/2018/nakaz_296.pdf
7. Розроблення методичних рекомендацій з впровадження основних засад та механізмів реалізації стратегічної екологічної оцінки (СЕО) у розробки планів та програм: Звіт про НДР / УкрНДІЕП – Х., 2016. – 105 с.
8. В'ячеслав Потапенко. Методичні рекомендації проведення СЕО в Україні. Режим доступу: https://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/eia/meetengs/2017/Feb_17_RoundTable_Ukraine/5_MR_SEA_Potapenko_UKR.pdf
9. Аніщенко Л.Я. Перспективи впровадження процедури стратегічної екологічної оцінки в Україні / Л.Я. Аніщенко, А.В. Гриценко, Л.А. Пісня, Б.С. Свердлов // Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки:

- Зб. наук. пр. / УКРНДІЕП; ХНУ імені В.Н. Каразіна -Х.: ФОП Столярова І.М., 2017.- Вип. 39. С. 14-30.
10. Аніщенко Л.Я. Застосування методу аналізу ієрархій у процедурі стратегічної екологічної оцінки /Л.Я. Аніщенко, Л.А. Пісня, Б.С. Сverdлов / XV Міжнародна науково-практична конференція «Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення» (м. Харків, 9-13 вересня 2019 р.)// Зб. наук. ст. УКРНДІЕП.-Х.: ПП «Стиль-Іздат», 2019. С. 14-17.
11. Розроблення «Методичних рекомендацій щодо впровадження комплексної багатофакторної екологічної оцінки при реалізації процедур СЕО». Звіт про НДР / УКРНДІЕП.-Х., 2020 (ДР № 0120U01412).-143 с.
12. Гриценко А.В. Системний підхід до процедури стратегічної екологічної оцінки / А.В. Гриценко, Л.Я. Аніщенко, Б.С. Сverdлов / XVI Міжнародна науково-практична конференція «Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення» (м. Харків, 14-18 вересня 2020 р.) // Зб. наук. ст. – УКРНДІЕП.-Х.: ПП «Стиль-Іздат», 2020. С. 7-12.
13. Формування стратегічних пріоритетів розвитку лісопромислового комплексу України: монографія / М.О. Кизим, І.В. Ярошенко, В.С. Хаустова, І.О. Губарева – Х.: ФОП Лібуркіна Л.М., 2019. С. 476.
14. Повідомлення про оприлюднення Звіту про стратегічну екологічну оцінку проекту Державної стратегії управління лісами України до 2035 року. Режим доступу: <https://mepr.gov.ua/news/36891.html>

Referenses

1. *Zakon Ukrayiny «Pro stratehichnu ekolohichnu otsinku vid 20.03.18 № 2354-VIII /Holos Ukrayiny vid 11.04.2018.- №67*
2. *Povidomlennya pro opublikuvannya proektu Derzhavnoyi stratehiyi upravlinnya lisamy Ukrayiny do 2035 roku /Elektronnyy resurs. - Rezhym dostupu: <https://mepr.gov.ua/news/36108.htm/>*
3. *Povidomlennya pro oprylyudnennya zayavy pro vyznachennya obsyahu stratehichnoyi ekolohichnoyi otsinky proektu Derzhavnoyi stratehiyi upravlinnya lisamy Ukrayiny do 2035 roku ta proekt Derzhavnoyi stratehiyi upravlinnya lisamy Ukrayiny do 2035 roku / Elektronnyy resurs. Rezhym dostupu: <https://mepr.gov.ua/news/36526.htm/>*
4. *Informatsionno-spravochnoye rukovodstvo po primeneniyu Protokola YEEK OON po strategicheskoy ekolohicheskoy otsenke. YESE/MR/EIA/17 / Yevropeyskaya Ekonomicheskaya Komissiya Organizatsii Ob'yedinennykh Natsiy. – OON, N'yu-York i Zheneva. – 2014.*
5. *Zvit pro stratehichnu ekolohichnu otsinkuproektu oblasnoyi prohramy povodzhennya z TPV na 2012-2020 r.r. (proekt) / MBO «Ekolohiya-Pravo-Lyudyna» - L'viv: 2013.- 42 s. Rezhym dostupu:*

<http://epl.org.ua/human-posts/zvit-pro-stratehichnu-ecolohichnu-otsinku-proektu-oblasnoi-prohramy-povodzhennia-z-tpv-na-2012-2020-rr-proekt/>

6. Pro zatverdzhennya Metodychnykh rekomendatsiy iz zdiysnennya stratehichnoyi ecolohichnoyi otsinky dokumentiv derzhavnoho planuvannya. Nakaz Ministerstva ekologiyi ta pryrodnykh resursiv Ukrainy vid 10.08.2018 № 296. Rezhym dostupu: https://menr.gov.ua/files/docs/nakazy/2018/nakaz_296.pdf

7. Rozroblennya metodychnykh rekomendatsiy z vprovadzhennya osnovnykh zasad ta mekhanizmiv realizatsiyi stratehichnoyi ecolohichnoyi otsinky (SEO) u u rozrobky planiv ta prohram: Zvit pro NDR / UkrNDIEP – KH., 2016. – 105 s.

8. V"yacheslav Potapenko. Metodychni rekomendatsiyi provedennya SEO v Ukraini. Rezhym dostupu:

https://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/eia/meetings/2017/Feb_17_RoundTable_Ukraine/5_M_R_SEA_Potapenko_UKR.pdf

9. Anishchenko L.YA. Perspektyvy vprovadzhennya protsedury stratehichnoyi ecolohichnoyi otsinky v Ukraini / L.YA. Anishchenko, A.V. Hrytsenko, L.A. Pisnya, B.S. Sverdlov // Problemy okhorony navkolyshn'oho pryrodnoho seredovyscha ta ecolohichnoyi bezpeky: Zb. nauk. pr. / UKRNDIEP; KHNU imeni V.N. Karazina -KH.: FOP Stolyarova I.M., 2017.-Vyp. 39. S. 14-30.

10. Anishchenko L.YA. Zastosuvannya metodu analizu iyerarkhiy u protseduri stratehichnoyi ecolohichnoyi otsinky /L.YA. Anishchenko, L.A. Pisnya, B.S. Sverdlov / XV Mizhnarodna naukovopraktychna konferentsiya «Ecolohichna bezpeka: problemy i shlyakhy vyrishennya» (m. Kharkiv, 9-13 veresnya 2019 r.)// Zb. nauk. st. UKRNDIEP. -KH.: PP «Styl'-Izdat», 2019. S. 14-17.

11. Rozroblennya «Metodychnykh rekomendatsiy shchodo vprovadzhennya kompleksnoyi bahatofaktornoji ecolohichnoyi otsinky pry realizatsiyi protsedur SEO». Zvit pro NDR / UKRNDIEP. -KH., 2020 (DR № 0120U01412). -143 s.

12. Hrytsenko A.V. Systemnyy pidkhid do protsedury stratehichnoyi ecolohichnoyi otsinky / A.V. Hrytsenko, L.YA. Anishchenko, B.S. Sverdlov / XVI Mizhnarodna naukovopraktychna konferentsiya «Ecolohichna bezpeka: problemy i shlyakhy vyrishennya» (m. Kharkiv, 14-18 veresnya 2020 r.)// Zb. nauk. st. – UKRNDIEP. -KH.: PP «Styl'-Izdat», 2020. S. 7-12.

13. Formuvannya stratehichnykh priorytetiv rozvytku lisopromyslovoho kompleksu Ukrainy: monohrafiya / M.O. Kyzym, I.V. Yaroshenko, V.S. Khaustova, I.O. Hubaryeva – KH.: FOP Liburkina L.M., 2019. S. 476.

14. Povidomlennya pro oprylyudnennya Zvitu pro stratehichnu ecolohichnu otsinku projektu Derzhavnoyi stratehiyi upravlinnya lisamy Ukrainy do 2035 roku. Rezhym dostupu: <https://mepr.gov.ua/news/36891.html>

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Гриценко Анатолій Володимирович – доктор географічних наук, професор. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УКРНДІЕП, м. Харків; тел.: 057-702-15-89; e-mail: ekohydro@ukr.net.
Orcid: <http://orcid.org/0000-0001-7562-7156>

Гриценко Анатолий Владимирович – доктор географических наук, профессор. Научно-исследовательское учреждение «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем», УКРНИИЭП., г. Харьков; тел.: 057-702-15-89; e-mail: ekohydro@ukr.net. Orcid: <http://orcid.org/0000-0001-7562-7156>

Gritsenko Anatoliy Vladimirovich – Doctor of Geographical Sciences, Professor. Ukrainian Research Institute of Environmental Problems, USRIEP. Kharkov; phone: 057-702-15-89; e-mail: ekohydro@ukr.net., Orcid: <http://orcid.org/0000-0001-7562-7156>

Аніщенко Людмила Яківна – завідувач лабораторії, доктор технічних наук, доцент. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УКРНДІЕП, м. Харків; тел.: 057-702-15-82, e-mail: anishenko@ukr.net.

Анищенко Людмила Яковлевна – заведующий лабораторией, доктор технических наук, доцент. Научно-исследовательское учреждение «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем», УКРНИИЭП., г. Харьков; тел.: 057-702-15-82, e-mail: anishenko@ukr.net.

Anishchenko Lyudmyla Yakivna – head of the laboratory, doctor of technical sciences, associate professor. Ukrainian Research Institute of Environmental Problems, USRIEP. Kharkov; phone: 057-702-15-82, e-mail: anishenko@ukr.net

Свердлов Борис Соломонович – старший науковий співробітник. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УКРНДІЕП, м. Харків; тел.: 057-702-15-82

Свердлов Борис Соломонович – старший научный сотрудник. Научно-исследовательское учреждение «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем», УКРНИИЭП., г. Харьков; тел.: 057-702-15-82

Sverdlov Boris Solomonovich – Senior Researcher. Ukrainian Research Institute of Environmental Problems, USRIEP. Kharkov; phone: 057-702-15-82

Пісня Леонід Андрійович – кандидат технічних наук., провідний науковий співробітник. Лабораторія оцінки впливу на навколишнє середовище та екологічної

експертизи. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», м. Харків, e-mail: pisnya@niiep.kharkov.ua

Писня Леонід Андреевич – кандидат технических наук. Лаборатория оценки влияния на окружающую среду и экологической экспертизы. Научно-исследовательское учреждение «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем», УкрНИИЭП., г. Харьков, e-mail: pisnya@niiep.kharkov.ua

Pisnya Leonid Andriyovich – candidate of Technical Sciences. Laboratory of environmental impact assessment and environmental expertise. Scientific Research Institution «Ukrainian Scientific Research Institute of Ecological Problems», USRIEP, Kharkov, e-mail: pisnya@niiep.kharkov.ua

Клімов Олександр Васильович – завідувач «Сектору досліджень природних територій особливої охорони», кандидат географічних наук. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УкрНДІЕП, м. Харків; тел. (057) 702-16-02, e-mail: klimalexvas@gmail.com.

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0949-904X>

Климов Александр Васильевич – заведующий «Сектора исследований природных территорий особой охраны», кандидат географических наук. Научно-исследовательское учреждение «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем», УкрНИИЭП., г. Харьков; тел. (057) 702-16-02

e-mail: klimalexvas@gmail.com., Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0949-904X>

Klimov Oleksandr Vasilievich – Head of the Special Protected Areas Research Area Sector Candidate of Geographical Sciences. Ukrainian Research Institute of Environmental Problems, USRIEP. Kharkiv; phone: (057)702-16-02, e-mail: klimalexvas@gmail.com. Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0949-904X>

Барміна Ірина Володимирівна – науковий співробітник. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УкрНДІЕП, м. Харків; тел.: 057-702-15-82

Бармина Ирина Владимировна – научный сотрудник. Научно-исследовательское учреждение «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем», УкрНИИЭП., г. Харьков; тел.: 057-702-15-82

Barmina Iryna Volodymyrivna – researcher. Ukrainian Research Institute of Environmental Problems, USRIEP. Kharkiv; phone: 057-702-15-82

Г. В. АДАМОВА, Л. А. ПІСНЯ

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ТРАНСПОРТНО-ДОРОЖНЬОГО КОМПЛЕКСУ НА ДОВКІЛЛЯ НА ПРИКЛАДІ ДІЛЯНКИ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ М-29 ХАРКІВ-ДНІПРО

У статті розглядається вплив транспортно-дорожнього комплексу на складові довкілля. Побудовано структуру класифікації автомобільних доріг України та наведено характер впливу системи «автомобіль-дорога» на навколишнє середовище в залежності від джерела впливу. Зазначено, що забруднення, викликане функціонуванням системи «автомобіль-дорога» необхідно оцінювати за рівнем його негативного впливу на складові довкілля, а саме атмосферу, ґрунти, ґрунтові та поверхневі води, рослинність, тварин і людей та поділяється на дві категорії: транспортне та позатранспортне. Побудовано структуру забруднень в розрізі цих категорій. Зазначено необхідність дослідження важких металів в придорожньому просторі у складі моніторингу екологічної безпеки експлуатації автомобільної дороги. Наведено основні результати дослідження щодо накопичення важких металів в ґрунтах та рослинності придорожнього простору ділянки автомобільної дороги міжнародного значення М-29 Харків-Дніпро.

Ключові слова: придорожній простір, складові довкілля, важкі метали, дорожня мережа, комплексна станція прямих вимірів, спектрометр, ранговий ряд накопичення важких металів.

В статье рассматривается влияние транспортно-дорожного комплекса на составляющие окружающей среды. Построено структуру классификации автомобильных дорог Украины и приведен характер влияния системы «автомобиль-дорога» на окружающую среду в зависимости от источника воздействия. Отмечено, что загрязнение, вызванное функционированием системы «автомобиль-дорога» необходимо оценивать по уровню его негативного влияния на составляющие окружающей среды, а именно атмосферу, почвы, грунтовые и поверхностные воды, растительность, животных и людей и делится на две категории: транспортное и внетранспортное. Построено структуру загрязнений в разрезе этих категорий. Указана необходимость исследования тяжелых металлов в придорожном

пространстве в составе мониторинга экологической безопасности эксплуатации автомобильной дороги. Приведены основные результаты исследования накопления тяжелых металлов в почвах и растительности придорожного пространства участка автомобильной дороги международного значения М-29 Харьков-Днепр.

Ключевые слова: придорожное пространство, составляющие окружающей среды, тяжелые металлы, дорожная сеть, комплексная станция прямых измерений, спектрометр, ранжированный ряд накопления тяжелых металлов.

The article examines the impact of the transport and road complex on the components of the environment. The structure of the classification of highways in Ukraine has been built and the nature of the impact of the "car-road" system on the environment, depending on the source of impact, is given. It is noted that the pollution caused by the functioning of the "car-road" system must be assessed by the level of its negative impact on the components of the environment, namely the atmosphere, soil, ground and surface waters, vegetation, animals and people and is divided into two categories: transport and post-transport. The structure of pollution in the context of these categories has been built. The need to study heavy metals in the roadside space as part of monitoring the environmental safety of the operation of the highway is indicated. The main results of the study of the accumulation of heavy metals in soils and vegetation of the roadside space of the section of the international road M-29 Kharkov-Dnepr are presented.

Key words: roadside space, environmental components, heavy metals, road network, complex direct measurement station, spectrometer, ranked series of heavy metals accumulation.

В теперішніх умовах інтенсивного розвитку транспортної інфраструктури транспортно-дорожній комплекс (ТДК) спричиняє досить вагомий негативний вплив на всі складові довкілля та навколишнє природне середовище в цілому.

Зростаюча інтенсивність руху транспорту автомобільною дорогою, активна розбудова автомобільної мережі, яка особливо активно розпочалась у 2020 році та технологічні процеси автодорожніх робіт – це ті комплексні чинники, які з кожним роком погіршують екологічну ситуацію в країні.

Метою статті є визначення впливу транспортно-дорожнього комплексу на складові навколишнього природного середовища на прикладі ділянки дороги М-29 Харків-Дніпро за накопиченням у біоті придорожнього простору важких металів дорожньо-транспортного походження.

Відповідно до заяви Укравтодору протяжність оновлених доріг у 2020 році – найбільша за всі роки Незалежності. Більше 80% усіх робіт на 4 200 км автошляхів державного значення та 100 мостів вже виконано. Серед планів Укравтодору на 2021 рік - відремонтувати і побудувати 6 800 км доріг [1].

Автомобільні дороги в Україні розподіляються за категорією, призначенням та покриттям (рис.1).

Комплексний негативний вплив системи «автомобіль-дорога» на навколишнє природне середовище складається з автотранспортних забруднень, безпосередньо самого дорожнього полотна, а також впливу технологічних процесів будівництва, реконструкції та утримання доріг.

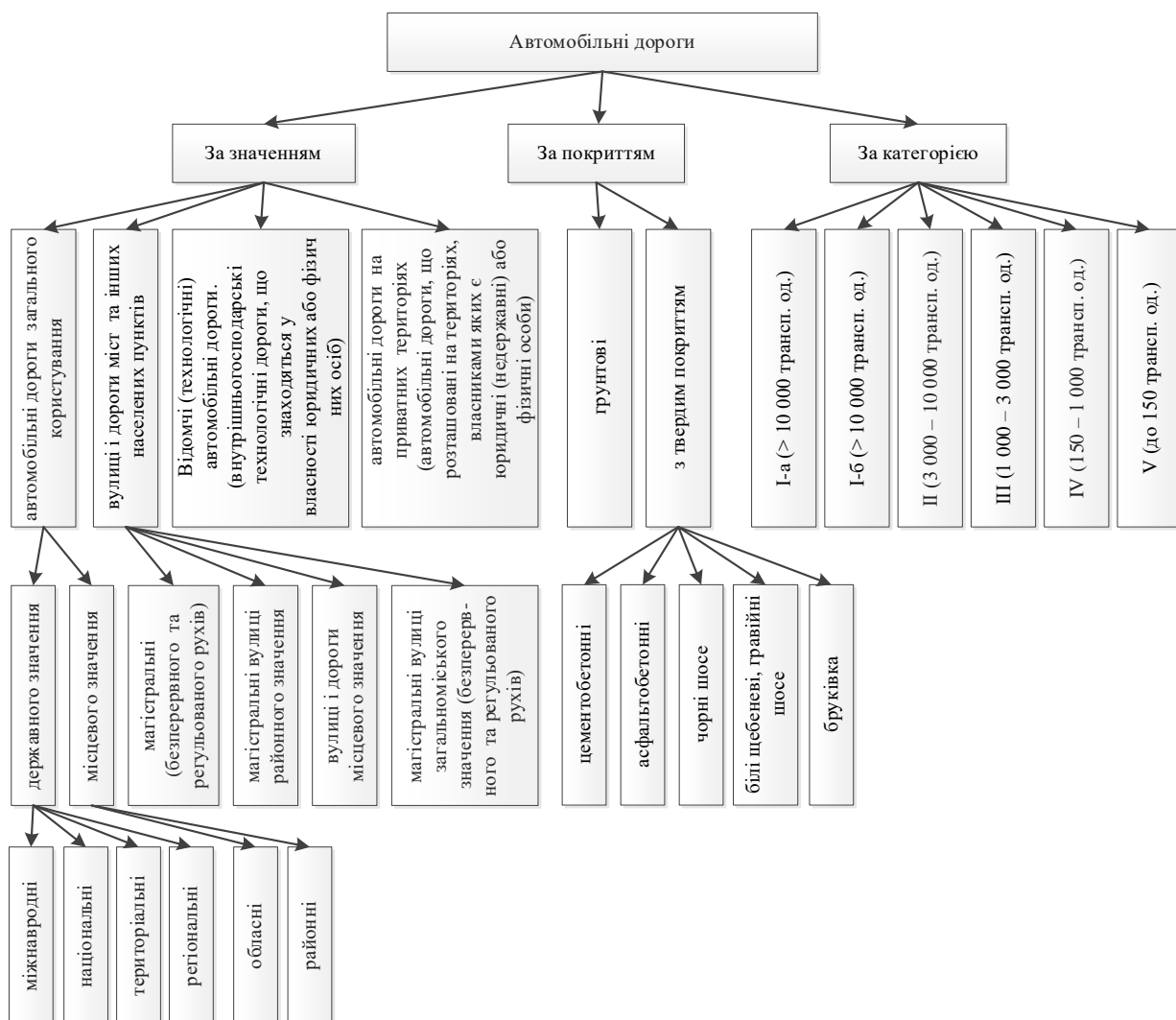


Рисунок 1 – Класифікація автомобільних доріг України

В табл. 1 наведено джерела впливу експлуатації автомобільної дороги на навколишнє природне середовище та їх характер

Таблиця 1 – Характер впливу системи «автомобіль-дорога» на навколишнє середовище

Джерело впливу	Характер
Автомобільна дорога як інженерна споруда	Не пов'язаний з рухом транспортних засобів, постійний, широкого охоплення, прямий та побічний
Транспортний рух	Залежний від інтенсивності режимів руху та складу транспортного потоку, постійний, місцевого охоплення, прямий, побічний
Технологічні процеси будівництва та реконструкції	Тимчасовий, інтенсивний, локальний, прямий
Технологічні процеси утримання доріг	Тимчасовий, мало інтенсивний, локальний, прямий, побічний

Вагомий внесок у дослідження та розв'язання проблем, пов'язаних з негативним впливом автомобільних доріг, автомобільного транспорту та розширення дорожньої мережі на складові навколишнього природного середовища у своїх наукових працях зробили такі науковці як Угненко Є. Б., Луканін В. Н., Шаповалов А. Л., Гриценко А. В., Внукова Н. В., Желновач Г. М., Гончаренко В. В., Білятинський О. А., Забишний О. С., Чоборовська І. С.; Сизоненко В. В., та ін.

В Україні виділяють наступні зони впливу автомобільної дороги на навколишнє природне середовище:

- зона впливу – територія, на якій внаслідок будівництва та експлуатації доріг у природних системах виникають прямі чи непрямі зміни;
- захисна смуга – територія, що прилягає до смуги відведення, у межах якої забруднення від автомобільного транспорту можуть перевищувати встановлені гранично-допустимі концентрації, що, в свою чергу, може викликати досить істотні зміни у природних системах;
- резервно-технологічна смуга – територія, що прилягає безпосередньо до полотна автомобільної дороги, в межах якої постійно перевищуються санітарні норми забруднення, внаслідок чого ландшафт повністю трансформується [2].

Забруднення довкілля, викликане функціонуванням системи «автомобіль-дорога» необхідно оцінювати за рівнем його негативного впливу на складові

довкілля, а саме атмосферу, ґрунти, ґрунтові та поверхневі води, рослинність, тварин та людей.

В загальному розумінні таке забруднення поділяється на дві категорії: транспортні та позатранспортні (рис.2).

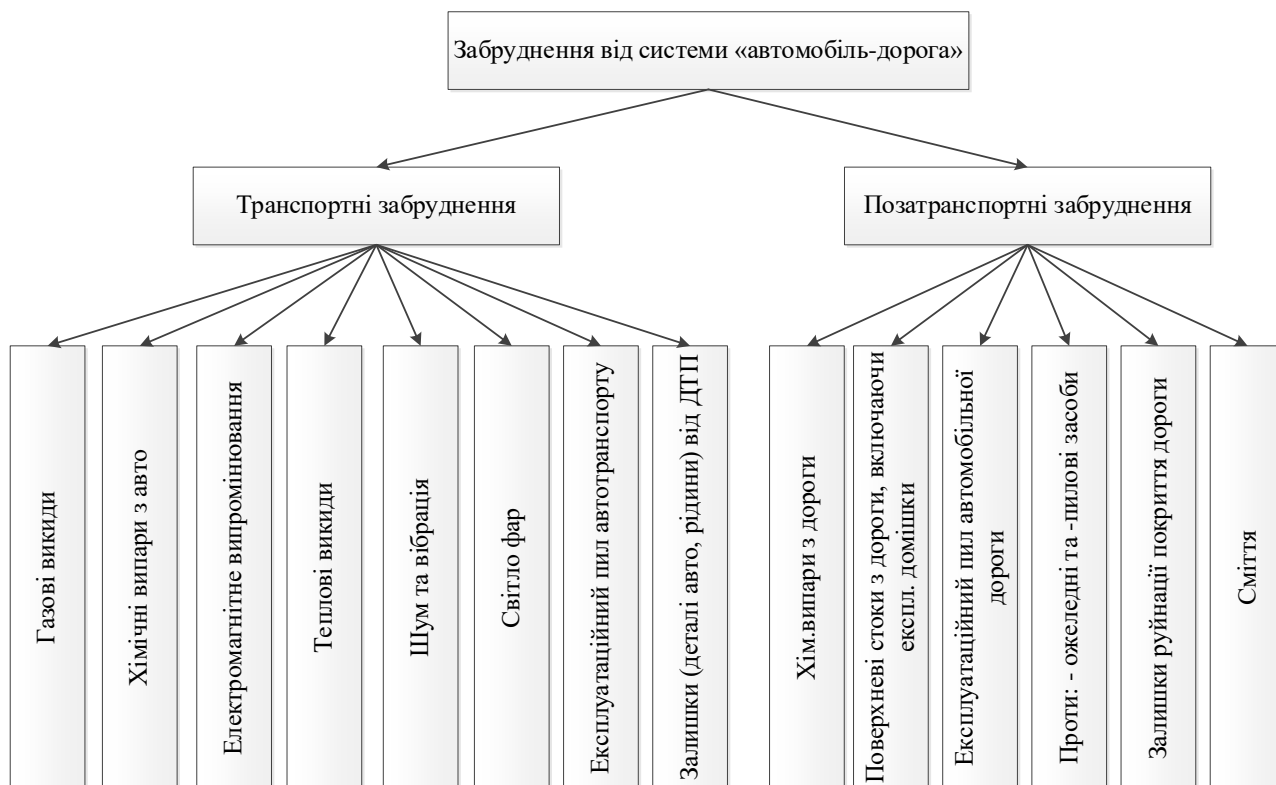


Рисунок 2 – Категорії забруднення довкілля

Серед забруднюючих речовин, які надходять у придорожній простір під час експлуатації автомобільної дороги і спричиняють токсичну дію на складові довкілля одними з найнебезпечніших є важкі метали передусім кадмій, нікель, хром, мідь, кобальт, свинець та марганець. Ці речовини, потрапляючи у придорожній простір, справляють на біоту довкілля, в тому числі і на людину, канцерогенний, мутагенний та тератогенний вплив.

До придорожного простору важкі метали потрапляють під час руху автотранспортних засобів автомобільною дорогою (стирання автопокришок та циліндрів двигуна, знос шин, підшипників, вкладишів, покриттів кузовів гальмівні масла, антидетонаційні добавки, присадки до палив та мастил,) та власне під час стирання самого дорожнього полотна при його експлуатації [3].

Виходячи з вище наведеного, у складі моніторингу екологічної безпеки експлуатації автомобільної дороги невід'ємною частиною повинно бути дослідження важких металів в придорожному просторі.

Об'єкт дослідження впливу транспортно-дорожнього комплексу на довкілля - ділянка дороги міжнародного значення М-29 Харків-Дніпро, що є частиною Європейського маршруту Е105 (20км – 22 км від перетину з М-03).

Ділянка автомобільної дороги характеризується наступними транспортно-експлуатаційними показниками:

- магістральна автомобільна дорога;
- інтенсивність руху 2 680 авт./добу;
- склад руху (Р %):
 - легкі вантажні автомобілі (до 2,5 т) – 21,6 %,
 - середні вантажні автомобілі (до 5 т) – 13,4 %,
 - важкі вантажні автомобілі (більше 8 т) – 6,0 %,
 - мікроавтобуси – 17,2 %, автобуси – 1,5 %,
 - легкові автомобілі – 40,3 %;
- середня швидкість руху 110 км/годину.

Геометричні параметри ділянки дороги наступні:

- ширина проїзної частини 16 м (4 смуги руху);
- тип покриття – асфальтобетон;
- центральна розділова смуга – 8 м;
- ширина смуги для зупинки – 2,5 м.

Для вибору оптимальних ділянок відбору проб використовували комплексну станцію прямих вимірів з часом відгуку – лише 1с. До станції входить лазерний датчик якості повітря PM2.5 пилу Nova SDS011 та датчик параметрів середовища Bosch Sensortec | BME680 HSMI. Крім цього, мікросхема BME680, використана у станції, має вбудований металооксидний датчик (Metal Oxide Semiconductor) летких органічних сполук (ЛОС) та датчики, що дозволяють вимірювати тиск, температуру, вологість і якість повітря. Використовуваний в SDS011 принцип лазерного розсіювання дозволяє оцінювати концентрацію частинок пилу у повітрі за загальноприйнятою класифікацією - розміром від 0,3 до 2,5 мкм і від 2,5 до 10 мкм з точністю макс. ± 10 мкг/м³ [4,5,6].

Завдяки застосуванню експрес-оцінки прямих вимірів було проведено відбір проб лише в тих точках де спостерігається динаміка наявного складу ЗР в атмосферному повітрі.

Оцінку впливу вибраної ділянки автомобільної дороги проводили за показниками вмісту важких металів в рослинах, а саме у листі дерев та лікарських

трав, та ґрунті придорожнього простору, використовуючи для цього метод атомно-абсорбційної спектроскопії.

За допомогою зазначеної вище станції, на тих ділянках придорожнього простору, де було зафіксовано зміну стану атмосферного повітря, проводили відбір проб рослинності та ґрунту, а саме на відстані 10 м, 50 м та 100 м від полотна дороги. Контрольні зразки рослинності та ґрунту відбирались на відстані 450 м від полотна дороги [7].

Для дослідження вмісту важких металів відбирались зразки типових для прилеглої до дороги місцевості рослинності, а саме: береза бородавчаста (*Betula pendula*), деревій щетинистий (*Achillea setacea*), верба біла (*Salix alba*), сосна звичайна (*Pinus sylvestris*), парило звичайне (*Eupatoria*), вільха клейка (*Ainus glutinosa*), осика звичайна (*Populus tremula*). Відбір та аналіз проб на вміст важких металів здійснювали з трикратною повторюваністю протягом вегетаційного періоду рослинності.

За результатами проведених лабораторних досліджень в лабораторії «Еколого-аналітичних досліджень» УКРНДІЕП на атестованому оптико-емісійному спектрометрі високої роздільної здатності з індуктивно-зв'язаною плазмою PlasmaQuant PQ 9000 Elite виявлено накопичення в рослинності придорожнього простору важких металів вище ГДК на відстані 10м, 50м та 100 м від полотна дороги:

- осика звичайна - Mn, Co, Zn, Cr;
- верба біла - Cu, Mn, Co, Cd, Cr;
- деревій щетинистий - Cu, Mn, Cr;
- парило звичайне, сосна звичайна, береза бородавчаста та вільха клейка - Mn та Cr.

Поряд з цим встановлено також перевищення ГДК важких металів і в зразках ґрунту за Cu, Mn, Cd, Cr, Ni та Pb [6,8].

Діапазон перевищень ГДК для різних хімічних речовин у різних рослинах та ґрунті різний і в загальному вигляді представлений у таблиці 2.

Таблиця 2 – Загальний діапазон перевищень ГДК у відібраних зразках ґрунту та рослинності.

Важкий метал	Перевищення ГДК	Важкий метал	Перевищення ГДК
Cu	1,3 ГДК – 1,5 ГДК	Co	1,1 ГДК – 1,9 ГДК
Mn	1,3 ГДК – 3,6 ГДК	Cd	1,3 ГДК – 2,5 ГДК
Pb	1,3 ГДК – 2,7 ГДК	Ni	1,1 ГДК – 2,4 ГДК
Cr	2,3 ГДК – 4,3 ГДК	Zn	не більше 1,3 ГДК

Після опрацювання лабораторних досліджень було встановлено ранговий ряд накопичення важких металів у досліджуваних зразках придорожньої рослинності та ґрунту (табл.3).

Таблиця 3 – Ранговий ряд накопичення важких металів у рослинності та ґрунті придорожнього простору.

Зразок рослинності/ґрунту	Ранговий ряд
Береза бородавчаста Сосна звичайна	Mn > Fe > Zn > Cu > Cr > Ni > Cd > Pb > Co
Парило звичайне Вільха клейка Деревій щетинистий	Fe > Mn > Zn > Cu > Cr > Ni > Pb > Cd > Co
Верба біла	Fe > Zn > Mn > Cu > Ni > Cr > Co > Cd > Pb
Осика звичайна	Zn > Mn > Fe > Cu > Ni > Cr > Co > Cd > Pb
Ґрунт	Fe > Mn > Cr > Zn > Cu > Ni > Co > Pb > Cd

Аналіз отриманих результатів корелює зі схожими результатами попередніх досліджень інших дослідників, що займались даною тематикою.

Згідно з лабораторними дослідженнями спостерігається тенденція до зменшення вмісту важких металів у рослинності та ґрунтах придорожнього простору відповідно до збільшення відстані від полотна дороги до точки відбору проби у зразках, відібраних навесні та влітку. При цьому у зразках, відібраних восени, навпаки виявлено тенденцію до збільшення накопичення важких металів, що свідчить про їх акумуляцію впродовж усього вегетаційного періоду рослин, а також про збільшення переносу забруднюючих речовин на більші відстані від дороги у зв'язку зі зрідженням крони дерев та кущів.

Сучасні темпи розвитку транспортно-дорожнього комплексу, що призводять до збільшення навантаження на природні системи і як наслідок погіршення екологічного стану в країні, все це вказує на необхідність здійснення комплексного моніторингу екологічного стану навколишнього середовища в зоні впливу автомобільних доріг, невід'ємною складовою якого повинно бути дослідження вмісту важких металів у складових придорожнього простору.

Література

1. ДЕРЖАВНЕ АГЕНТСТВО АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРИГ УКРАЇНИ. [Електронний ресурс] URL: <https://ukravtodor.gov.ua/>.

2. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Споруди транспорту. Частина I. Частина II.
3. Лёвкін Н.Д. Распространение тяжелых металлов в зоне движения автотранспорта/ Н.Д. Лёвкін, А.В. Лазеба//Известия ТулГУ. Науки о земле. – Научный Журнал ТулГУ – 2014. – Вып. 3 – С. 9-16.
4. Аболмасова Г.В. Комплексна екологічна оцінка впливу системи «автомобіль-дорога-середовище» на об'єкти навколишнього природного середовища/ Г.В. Аболмасова, Л.А.Пісня, І.А. Черепньов, І.В. Калінін// Науковий Журнал “Інженерія природокористування”– X. – 2019. – №4(14). – С.75-85
5. Аболмасова Г. В. Елементи інтегрального підходу в екологічній оцінці стану забрудненості придорожного простору/ Г. В. Аболмасова, Л.А. Пісня, О.В. Черба// *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення*: зб. наук, статей XV міжнар. наук.-практ. конф., м. Харків, 9 –13 верес. 2019 р. УКРНДІЕП. – ПП «Стиль-Іздат» – 2019. – С.5-8.
6. Аболмасова Г.В., Пісня Л.А. Важкі метали у ґрунтах та рослинності придорожного простору /*Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення*: зб. наук, статей XVI Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 14-18 вересня 2020 р.) / УКРНДІЕП. – ПП «Стиль-Іздат», 2020.
7. Руководство по методам и критериям согласованного отбора проб, оценки, мониторинга и анализа влияния загрязнения воздуха на леса. Часть IV. Отбор проб и анализ хвои и листвы» (Международная совместная программа по оценке и мониторингу влияния загрязнения воздуха на леса).
8. Аболмасова Г.В. Система «автомобіль-дорога» як джерело надходження важких металів у придорожній простір / Збірник тез доповідей IV Спеціалізованого міжнародного Запорізького екологічного форуму «ЕКО ФОРУМ - 2020» (м Запоріжжя, 15-17 жовтня 2020 р.)/Запорізька міська рада, Запорізька торгово-промислова палата, 2020.

References

1. DERZHAVNE AGENTSTVO AVTOMOBIL'NYX DORIG UKRAYINY.URL: <https://ukravtodor.gov.ua/>.
2. DBN V.2.3-4:2015 Avtomobil`ni dorogy`. Sporudy` transportu. Chasty`na I. Chasty`na II.
3. Lëvkin N.D. Rasprostranenie tjazhelyh metallov v zone dvizhenija avtotransporta/ N.D. Lëvkin, A.V. Lazeba//Izvestija TulGU. Nauki o zemle. – Nauchnyj Zhurnal TulGU – 2014. – Vyp. 3 – S. 9-16.

4. Abolmasova G.V. *Kompleksna ekologichna ocinka vplyvu sy'stemy «avtomobil'-doroga-seredovy'shhe» na ob'yekty navkoly'shn'ogo pry'rodnogo seredovy'shha*/ G.V. Abolmasova, L.A.Pisnya, I.A. Cherepn'ov, I.V. Kalinin// *Naukovy'j Zhurnal "Inzheneriya pry'rodokory'stuvannya"*– X. – 2019. – #4(14). – S.75-85
5. Abolmasova G. V. *Elementy` integral'nogo pidxodu v ekologichnij ocinci stanu zabrudnenosti pry`dorozhn`ogo prostoru/* G. V. Abolmasova, L.A. Pisnya, O.V. Cherba// *Ekologichna bezpeka: problemy` i shlyaxy` vy`rishennya: zb. nauk, statej XV mizhnar. nauk.-prakt. konf., m. Xarkiv, 9–13 veres. 2019 r. UKRNDIEP. – PP «Sty`l`-Izdat» – 2019. – S.5-8.*
6. Abolmasova G.V., Pisnya L.A. *Vazhki metaly` u g`runtax ta rosly`nnosti pry`dorozhn`ogo prostoru /Ekologichna bezpeka: problemy` i shlyaxy` vy`rishennya: zb. nauk, statej XVI Mizhnarodnoyi naukovo-prakty`chnoyi konferenciyi (m. Xarkiv, 14-18 veresnya 2020 r.) / UKRNDIEP. – PP «Sty`l`-Izdat», 2020.*
7. *Rukovodstvo po metodam i kriterijam soglasovannogo otbora prob, ocenki, monitoringa i analiza vlijanija zagryaznenija vozduha na lesa. Chast' IV. Otbor prob i analiz hvoi i listvy` (Mezhdunarodnaja sovmestnaja programma po ocenke i monitoringu vlijanija zagryaznenija vozduha na lesa).*
8. Abolmasova G.V. *Sy`stema «avtomobil'-doroga» yak dzherelo nadxodzhennya vazhky`x metaliv u pry`dorozhnij prostir / Zbirny`k tez dopovidej IV Specializovanogo mizhnarodnogo Zaporiz`kogo ekologichnogo forumu «EKO FORUM - 2020» (m Zaporizhzhya, 15-17 zhovtnya 2020 r.)/Zaporiz`ka mis`ka rada, Zaporiz`ka torgovo-promy`slova palata, 2020.*

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Адамова Ганна Вячеславівна – аспірант, науковий співробітник. Лабораторія еколого-аналітичних досліджень. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», м. Харків,

e-mail: abolmasova@niiep.kharkov.ua

Адамова Анна Вячеславовна – аспірант, научный сотрудник. Лаборатория эколого-аналитических исследований. Научно-исследовательское учреждение «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем», УКРНИИЭП., г. Харьков, e-mail: abolmasova@niiep.kharkov.ua

Adamova Ganna V'yacheslavivna – PhD student, researcher. Laboratory of ecological and analytical research. Scientific Research Institution «Ukrainian Scientific Research Institute of Ecological Problems», USRIEP. Kharkov; e-mail: abolmasova@niiep.kharkov.ua

Пісня Леонід Андрійович – кандидат технічних наук., провідний науковий співробітник. Лабораторія оцінки впливу на навколишнє середовище та екологічної експертизи. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», м. Харків, e-mail: pisnya@niiep.kharkov.ua

Писня Леонид Андреевич – кандидат технических наук. Лаборатория оценки влияния на окружающую среду и экологической экспертизы. Научно-исследовательское учреждение «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем», УкрНИИЭП., г. Харьков, e-mail: pisnya@niiep.kharkov.ua

Pisnya Leonid Andriyovich – candidate of Technical Sciences. Laboratory of environmental impact assessment and environmental expertise. Scientific Research Institution «Ukrainian Scientific Research Institute of Ecological Problems», USRIEP, Kharkov, e-mail: pisnya@niiep.kharkov.ua

Т. В. БОЖКО, М. В. ЛИСЕНКО, О. В. ЧЕРБА, О. С. СІТКО

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ

Обґрунтовано теоретико-методологічні засади державної політики у сфері раціонального природокористування, проаналізовано діючі економічні механізми природокористування. Досліджено особливості різних моделей господарювання з використанням економічних механізмів у природокористуванні. Запропоновано перспективні напрями залучення нових економічних механізмів раціонального природокористування.

Ключові слова: природні ресурси, капіталізація, рентна плата, фіскальна політика, сталий розвиток.

Обоснованы теоретико-методологические основы государственной политики в сфере рационального природопользования, проанализированы действующие экономические механизмы природопользования. Исследованы особенности различных моделей хозяйствования с использованием экономических механизмов в природопользовании. Предложены перспективные направления привлечения новых экономических механизмов рационального природопользования.

Ключевые слова: природные ресурсы, капитализация, рентная плата, фискальная политика, устойчивое развитие.

The theoretical and methodological foundations of state policy in the field of rational environmental management have been substantiated, and the current economic mechanisms of environmental management have been analyzed. The features of various models of management with the use of economic mechanisms in nature management are investigated. Prospective directions of attracting new economic mechanisms of rational nature management are proposed.

Key words: natural resources, capitalization, rent, fiscal policy, sustainable development.

Актуальність. Найактуальнішим питанням сьогодні є високоефективне публічне управління природними ресурсами, їх комплексна еколого-економічна оцінка та використання всіх наявних природних ресурсів, їх капіталізація, високоефективне залучення в господарський обіг та побудова на цій основі інноваційних корпоративних форм господарювання. Останні, засновані на принципах «синьої» економіки (орієнтація екологобезпечних виробництв на місцеву багатокomпонентну сировинну базу), відповідають перспективним завданням соціально-економічного розвитку регіонів. Для забезпечення цього необхідно виконати комплексну еколого-економічну оцінку природного багатства як природного капіталу на регіональному рівні.

Метою роботи є окреслення загального концепту формування в Україні економічних механізмів забезпечення раціонального використання природних ресурсів України, побудованих на застосуванні інноваційних фінансових механізмів капіталізації природних ресурсів та різноманітних формах і інструментах публічно-приватного партнерства в умовах поточної неспроможності публічного сектору забезпечити раціональне природокористування та сталий розвиток територій.

Останні комплексні дослідження вартості природних ресурсів регіонів України проводилися в середині 90-х років, а природного багатства держави в цілому – у середині минулого десятиліття. Тому методики і вартісні показники такої оцінки є застарілими, а економічне вартісне оцінювання окремих видів ресурсів (екологічного, повітряного та ін.) загалом не здійснювалося [1-4].

Ураховуючи актуальність вивчення кола питань з оцінки природного багатства, пов'язаних із національним багатством, акцентуємо увагу на його змістовних ознаках. У широкому розумінні, до національного багатства належить усе те, чим так чи інакше володіє нація. Пропонуємо наступну його структуру: основні виробничі й невиробничі засоби; оборотні виробничі засоби і матеріальні запаси та резерви; природні ресурси, які вже включені або можуть бути включені до використання.

Природним капіталом є сукупність ресурсів – об'єктів і систем живої та неживої природи, компонентів природного середовища, які несуть у собі природно-ресурсний потенціал, мають споживчу вартість і можуть бути використані у процесі суспільного виробництва для задоволення матеріальних і культурних потреб людини й суспільства. Основною ознакою, за якою виділяється природний капітал, є його потенціал щодо використання в системі національного господарства і споживча вартість. Натомість, природне багатство визначається як накопичений у державі матеріально-енергетичний ресурс (капітал) природного походження, що володіє

актуальним потенціалом безпосереднього використання у виробництві в системі національної економіки в умовах ринку.

Формування новітніх уявлень про природний капітал, сучасних механізмів його капіталізації повинно базуватися на більш широких наукових поглядах, ніж традиційна природно-економічна теорія. Теперішнє уявлення про нього ввібрало в себе різні аспекти використання елементів природи в господарському процесі, проте й досі не існує завершеної економічної теорії природокористування. Основними проблемними питаннями, на які вказувалось ще у роботах фізіократів (Ф. Кене, Ж.-Б. Сей, С.А. Подолинський та ін.), є адекватна вартісна оцінка природного капіталу, що залежить від його споживчої вартості та визначення його природної продуктивності, тобто внутрішньої (без прямого втручання людини) здатності створювати, відтворювати капітал.

Щодо першого питання варто зазначити, що оскільки один і той же ж природний капітал може бути використаний у різних галузях господарства, його ринкова (мінова) вартість для різних господарських цілей може також відрізнятися (особливо це стосується землі як природного ресурсу). Щодо другого, то здатність природних продуктивних сил до самовідновлення, розвитку, створення нових природних ресурсів багато років вважалося дискусійним через відсутність адекватної облікової методології та інструментарію підрахунку процесів природного самовідтворення [5 – 7]. Проте з кінця ХІХ – протягом ХХ століття економічна теорія природокористування розвивалася, зокрема, у напрямі всебічної оцінки властивостей природного капіталу, в основу яких покладено погляди фізіократів, у тому числі вчення Ф. Кене про «початкові аванси» природного капіталу, котрі створюють його абсолютну додаткову вартість. В українській національній економічній науці відомим представником цієї школи є М.Д. Руденко [8], у роботах якого детально висвітлюється походження абсолютної додаткової вартості із самої природи, тоді як відносна додаткова вартість походить із людської праці. Такий підхід дає змогу розглянути проблему класифікації природних ресурсів з нового боку, фактично доповнити загальноприйнятту систему класифікації природних ресурсів із позицій оцінки їх самовідтворення та капіталізації.

Завдання економічної оцінки природного багатства України є найнагальнішими з огляду на те, що неоцінені ресурси не можуть бути капіталізованими. У багатьох країнах світу проблема капіталізації природних ресурсів стоїть чи не найбільш гостро і розглядається багатьма сучасними економістами нарівні з такими болючими глобальними проблемами ХХІ століття, як бідність або зміни клімату. Саме

недокапіталізація природних ресурсів та інших наявних активів (до речі, і людського, і меншою мірою виробничого капіталу також) названа головною причиною існування бідних держав з кількісно наявними значними природними і людськими ресурсами видатними сучасними економістами Е.Де Сото та Е. Райнертом [9 – 10]. Їх роботи присвячені проблемам капіталізації економіки і подоланню бідності, необхідності повноцінного, перш за все інституціонального та калькуляційно-облікового, залучення некапіталізованих та недокапіталізованих ресурсів суспільного виробництва в господарський обіг із застосуванням найновітніших технологічних та економічних механізмів, які випробували себе в інших сферах використання національного багатства – виробничого, фінансового та людського капіталу тощо. Для запровадження адекватних сучасному ринку механізмів природокористування економічна оцінка природного багатства відіграє ключову роль як підґрунтя для визначення реально досягнутих доходів від використання природних ресурсів у господарському обігу.

Питання капіталізації, а звідси й адекватної оцінки природного капіталу як складової національного багатства залишається сьогодні чи не найбільш гострим. Аналіз багатьох наукових праць (Е. Бозе, В. Гейця, І.А. Ніколаєва, М. Квак, С. Дорогунцова, О. Смоліної, К. Соніна та ін.), присвячених проблемам оцінки національного багатства світової та національної економіки, свідчить, що при всій неоднозначності тлумачень поняття національне багатство, воно, з одного боку, включає, безумовно, природно-ресурсний потенціал, але з іншого – саме природні ресурси є чи не найбільш проблемною щодо оцінки складовою національного багатства. Вони залишаються тим джерелом капіталу, який у сучасних умовах оцінити найважче, а окремі види ресурсів (наприклад, водні) у системі національного багатства України в останніх дослідженнях фактично не оцінювалися.

Найважливішими причинами цього є наступні:

- недосконалість існуючої системи обліку наявності й технологічної оцінки багатьох видів ресурсів;
- відсутність дієвих методик обчислення природної ренти та оцінки ресурсів у цілому, заниження реальної вартості багатьох видів ресурсів через неврахування специфічних видів ренти, які виникають при використанні ресурсу (лісової, водної, гірничої та ін.);
- відсутність оцінки екосистемного ресурсу, тобто неврахування у своїй більшості високої екологічної цінності багатьох видів природних ресурсів, які в гармонійному поєднанні між собою утворюють унікальні природно-господарські

комплекси;

- відсутність щодо більшості компонентів природно-ресурсного потенціалу інституціональної сфери та ефективних ринкових (фінансових, правових, організаційно-економічних, адміністративних тощо) механізмів господарювання, що мають забезпечити адекватну капіталізацію, а отже, і цінність ресурсу.

Здатність природного капіталу відновлюваних ресурсів (земельних, водних, лісових, фауністичних, природно-рекреаційних) до самовідтворення з певною швидкістю дає змогу говорити про його системну особливість відновлювати свою первинну споживчу вартість і створювати абсолютну додаткову вартість через очищення води, нарощування ґрунтового покриву, збільшення запасів деревини та інших біологічних ресурсів.

Найбільш фундаментальна класифікація суто природних ресурсів спирається на їх поділ в залежності від приналежності до складу явищ природи. Відтак, за компонентами природного середовища (простору) природні ресурси поділяються на земельні, водні, лісові, мінерально-сировинні, повітряні, фауністичні, кліматичні, природно-рекреаційні, екологічні (екосистемні).

На сьогоднішній момент загальноприйнятим є визнання того, що перші чотири види ресурсів (земельні, водні, лісові ресурси та корисні копалини) складають загальносистемну основу природно-ресурсного потенціалу території та природного її багатства в системі національного багатства країни у цілому.

Дуже важливою є характеристика природних ресурсів за особливостями їх економічної оцінки, яка є основою для капіталізації природних ресурсів. Згідно з загальноприйнятим поділом, економічна оцінка ресурсів включає три основні концептуальні підходи до цього процесу, за якого виділяють природні ресурси:

- оцінювані методом ринкової оцінки мінової вартості ресурсу на основі формування вільної ринкової ціни природного капіталу та похідних від нього видів капіталів;

- оцінювані методом визначення витрат на природокористування, затрат на відтворення, охорону природних ресурсів тощо, порівняння витрат і вигод від природокористування (включаючи метод еколого-економічних оцінок);

- оцінювані доходними методами через диференціальну ренту і замикаючі витрати виробництва, дисконтування чистих грошових потоків тощо.

Комплексна оцінка природокористування є можливою тільки через застосування еколого-економічних методів для визначення екологічно виправданих

обмежень розміщення й розвитку продуктивних сил за науково обґрунтованими критеріями використання ресурсів.

На цій основі можна запропонувати класифікацію природних ресурсів за особливостями їх капіталізації:

- капіталізовані на основі абсолютної природно-ресурсної ренти, отримуваної від природного ресурсу, як об'єкт власності;
- капіталізовані на основі абсолютної та диференціальної природно-ресурсної ренти, отримуваної від природного ресурсу як об'єкта власності та об'єкта господарювання;
- капіталізовані на основі монопольної ренти;
- капіталізовані на основі відтворювальної ренти;
- капіталізовані на основі екологічної виробничої (диференціальної) ренти I та II роду;
- капіталізовані на основі екологічної антиренти (асиміляційного природно-ресурсного потенціалу);
- капіталізовані на основі енергетичної ренти;
- капіталізовані на основі транспортної та інших похідних від природно-ресурсних видів ренти.

Адекватною сьогодні є й класифікація природних ресурсів за інституціональною ознакою, зокрема, в цьому аспекті можна виділити природні ресурси: державні, муніципальні, корпоративні, колективної власності, приватної власності тощо.

Отже, сьогодні загальноприйнятим є визнання того, що земельні, водні, лісові ресурси та корисні копалини становлять загальносистемну основу природно-ресурсного потенціалу території та її природного багатства в системі національного багатства країни в цілому. Екосистемний ресурс відіграє важливу роль, створюючи умови для високоефективного функціонування та відтворення інших компонентів природного багатства як єдиної природно-господарської системи і безперечно розглядається як об'єкт публічного управління та раціонального природокористування.

Формування сучасного концепту розвитку природно-ресурсних відносин стосується з одного боку, побудови їх філософсько-економічної парадигми, а з іншого – формування інноваційних економічних та організаційних механізмів господарювання. Фактично, концептуальний підхід до природокористування на практиці залишається на рівні минулого століття і не враховує найактуальніші

завдання забезпечення стійкості економічного зростання, досягнення високих економічних, соціальних та екологічних стандартів господарювання в Україні.

Причин такого становища декілька. Так, *перша* з них полягає у тому, що природні ресурси за діючою схемою господарського процесу не розглядаються в якості повноцінного об'єкта господарювання (управління тощо), оскільки вони здебільшого сировинною базою для формування галузей виробництва на певній території, власне ж діяльність з використання природних ресурсів у господарській діяльності людини є допоміжною, обслуговуючою відносно інших галузей господарювання.

Другою причиною є те, що на відміну від вказаних складових національного багатства, природний ресурс як джерело капіталу, що в своїй основі має певні фізичні властивості, аналогічно до капіталу виробничого, у багатьох, якщо не в більшості країн на даний час залишається фактично майже на тому ж рівні капіталізації, як і століття тому.

Третій аспект пов'язаний з особливим місцем сфери природокористування та екології в ідеології сталого розвитку, яка наразі є парадигмою господарювання на XXI століття. На сьогодні ідеологема сталого розвитку несе в собі більше концептуальний, аніж інструментальний зміст, потребує свого розкриття в дієвих економічних моделях розвитку, які стали б альтернативою фронтальній або, за іншим визначенням, "коричневій" індустріальній економіці і сформували принципово відмінний від нинішнього природомісткого й екологічно шкідливого та потенційно небезпечного технологічного укладу виробництва.

Висновки

Органічним висновком з досвіду впровадження ідей сталого розвитку стала необхідність створення такого економічного середовища, яке б повноцінно реалізовувало концепцію сталого розвитку за рахунок як адміністративних і організаційних, так і дієвих у розвинутому ринковому середовищі економічних, у т. ч. фінансових механізмів піднесення світового та національного господарства, що забезпечуватимуть і високі екологічні та соціальні ефекти. Отже, на майбутнє ідеологія сталого розвитку має бути розгорнута в трьох його названих концептах за двома напрямками – стійкості, тобто усталеності розвитку виробничих систем та системної справедливості розподілу й споживання, а саме повернення до природних законів системного розвитку.

Основним господарським інструментарієм, за допомогою якого

позабудовуватиметься економічна складова сталого розвитку, враховуючи екологічні й соціальні пріоритети зростання, є методологічні принципи нової філософії господарювання, що розкривається у концептах «зеленої» та «синьої» економіки. Так, з одного боку, це розвиток керованої «зверху до низу» «Зеленої» економіки з таким інструментарієм, як екологічні обмеження й податки, ринкова інтерналізація й капіталізація природно-виробничих відносин, державне втручання й видатки на охорону навколишнього середовища, цільові програми бюджетного розвитку соціальної сфери, глобальні ініціативи та їх підтримка на національному рівні. З іншого боку, це принципи «Синьої» економіки, основним напрямом впровадження яких є рух «знизу до верху» – екологічні соціальні та бізнес-ініціативи, розвиток екологічно безпечного безвідхідного виробництва, альтернативної, малої енергетики, органічної промисловості і сільського господарства, муніципалізація та регіоналізація еколого-економічних відносин, розвиток корпоративної соціальної й екологічної відповідальності.

Отже, на основі цього можна сформулювати новітній економіко-філософський концепт розвитку природно-ресурсних відносин – його сутність перебуває в переорієнтації на інтереси і потреби людини як частини природи й водночас економічно-активного елемента природно-антропогенної системи.

Підсумовуючи вищесказане, можна визначити, що інтегральний, комплексний підхід до забезпечення конкурентоспроможності території у процесі децентралізації та євроінтеграції (у першу чергу це стосується економіки територіального об'єднання громад муніципального рівня), таким чином, повинен бути багатоаспектним за рахунок ефективного використання її природно-ресурсного потенціалу.

Література

1. Беляєв О. О. Політична економія: навч. посіб./ О. О. Беляєв, А. С. Бебело. – К.: КНЕУ, 2001. – 328 с.
2. Cambridge Dictionaries Online. Інформаційна система [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://dictionary.cambridge.org/dictionary/business-english/national-wealth>.
3. Бізнес-словник [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.businessdictionary.com/definition/national-wealth.html>.
4. Інформаційна система [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.wikiprogress.org/index.php/National_wealth.
5. Корнійчук Л.Я. Сергей Подолинский – выдающийся украинский ученый,

- общественный деятель/ Л.Я. Корнійчук // Экономика Украины. – 2000. – № 7. – С. 72–78.
6. Корчагин Ю. А. Инвестиции и инвестиционный анализ / Ю. А. Корчагин, И. П. Маличенко. – Рн/Д.: Феникс, 2010. – 605 с.
7. Ляховець О. О. Оцінка національного багатства України / О .О. Ляховець // Наукові праці [Чорноморського державного університету імені Петра Могили комплексу «Києво-Могилянська академія»]. – 2010. – Т. 126, Вип. 113. – С. 5–10. – (Серія «Економіка»).
8. Руденко М. Д. Енергія прогресу: нариси з фізичної економії/ М. Д. Руденко. – 2-ге вид., доп. – Тернопіль : Джура, 2005. – 412 с.
9. Нестеров Л. Национальное богатство и человеческий капитал / Л. Нестеров, Г. Аширова // Вопросы экономики. – 2003. – № 2. – С. 103–110.
10. Шумська С .С. Національне багатство: методологічні підходи та оцінки по Україні/ С.С. Шумська // Економічна теорія. – 2006. – № 4. – С. 62–76.

References

1. *Byelyayev O.O. Politychna ekonomiya: navch. posib./ O.O. Byelyayev, A.S. Bebelo. – K.: KNEU, 2001. – 328 s.*
2. *Cambridge Dictionaries Online. Informatsiyna systema [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: <http://dictionary.cambridge.org/dictionary/business-english/national-wealth>.*
3. *Biznes-slovyk [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: <http://www.businessdictionary.com/definition/national-wealth.html>.*
4. *Informatsiyna systema [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: http://www.wikiprogress.org/index.php/National_wealth.*
5. *Korniychuk L.YA. Sergey Podolinskiy – vydayushchiysya ukrainskiy uchenyy, obshchestvennyy deyatel'/ L.YA. Korniychuk // Ekonomika Ukrainy. – 2000. – № 7. – S. 72–78.*
6. *Korchagin YU.A. Investitsii i investitsionnyy analiz / YU.A. Korchagin, I.P. Malichenko. - RN / D .: Feniks, 2010. - 605 s.*
7. *Lyakhovets` O.O. Otsinka natsional`noho bahat`stva Ukrayiny / O.O. Lyakhovets` // Naukovi pratsi [Chornomors`koho derzhavnoho universytetu imeni Petra Mohyly kompleksu «Kyyevo-Mohylyans`ka akademiya»]. – 2010. – T. 126, Vyp. 113. – S. 5–10. – (Seriya «Ekonomika»).*
8. *Rudenko M.D. Enerhiya prohresu: narysy z fizychnoyi ekonomiyi/ M.D. Rudenko. – 2-he vyd., dop. – Ternopil` : Dzhura, 2005. – 412 s.*
9. *Nesterov L. Natsional'noye bogatstvo i chelovecheskiy kapital / L. Nesterov, G. Ashirova // Voprosy ekonomiki. – 2003. – № 2. – S. 103–110.*
10. *Shums`ka S.S. Natsional`ne bahat`stvo: metodolohichni pidkhody ta otsinky po Ukrayini/*

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Божко Тетяна Василівна – науковий співробітник, аспірантка. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УКРНДІЕП, м. Харків; тел.: (057)702-16-06, e-mail: mana1990@meta.ua

Божко Татьяна Васильевна – научный сотрудник, аспирант. Научно-исследовательское учреждение «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем», УКРНИИЭП., г. Харьков; тел.: (057)702-16-06, e-mail: mana1990@meta.ua

Bozhko Tetyana Vasylivna – Researcher, Graduate student. Scientific Ukrainian Research Institute of Environmental Problems, USRIEP. Kharkiv; phone: (057)702-16-06, e-mail: mana1990@meta.ua

Лисенко Марія В'ячеславівна – аспірантка. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УКРНДІЕП, м. Харків; тел.: (098)17-91-466, e-mail: lysenko595@ukr.net

Лысенко Мария Вячеславовна – аспирант. Научно-исследовательское учреждение «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем», УКРНИИЭП., г. Харьков; тел.: (098)17-91-466, e-mail: lysenko595@ukr.net

Lysenko Maria Vyacheslavivna – Graduate student. Scientific Ukrainian Research Institute of Environmental Problems, USRIEP. Kharkiv; phone: (098)17-91-466, e-mail: lysenko595@ukr.net

Черба Ольга Володимирівна – науковий співробітник, аспірантка. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УКРНДІЕП, м. Харків; тел.: (057) 702-16-06, e-mail: o.cherba@gmail.com.

Черба Ольга Владимировна – научный сотрудник, аспирант. Научно-исследовательское учреждение «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем», УКРНИИЭП., г. Харьков; тел.: (057) 702-16-06, e-mail: o.cherba@gmail.com.

Cherba Ol'ha Volodymyrivna – Researcher, Graduate student. Scientific Ukrainian Research Institute of Environmental Problems, USRIEP. Kharkiv; phone: (057) 702-16-06, e-mail: o.cherba@gmail.com.

Снітко Олександр Сергійович – начальник відділу договірної роботи. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів, м. Київ, тел.: (044)594-91-23
e-mail: vitarik1972@ukr.net.

Снитко Александр Сергеевич – начальник отдела договорной работы. Министерство защиты окружающей среды и природных ресурсов, г. Киев, тел.: (044)594-91-23, e-mail: vitarik1972@ukr.net.

Snitko Oleksandr Serhiiovych – Head of the Contract Work Department. Ministry of Environmental Protection and Natural Resources. Kyiv, phone: (044)594-91-23, e-mail: vitarik1972@ukr.net

В. В. БРУК, В. В. ЗАБОЛОЦЬКА

ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ВІДНЕСЕННЯ МАСИВУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД ДО ОДНОГО З КЛАСІВ ХІМІЧНОГО СТАНУ

Метою даної статті є підвищення ефективності класифікації масивів поверхневих вод України за їх хімічним станом. Для досягнення цієї мети були проаналізовані чинна методика віднесення масивів поверхневих вод до одного з класів хімічного стану, а також методики комплексної оцінки якості води за гідрохімічними показниками, що були розроблені в Україні раніше. Базуючись на проведеному аналізі, була визначена низка суттєвих недоліків чинної методики. Були розроблені пропозиції щодо модифікації чинної методики класифікації масивів поверхневих вод за хімічним станом з урахуванням умов України. По-перше, було розширено перелік груп забруднюючих речовин, за якими слід оцінювати хімічний стан масивів поверхневих вод. По-друге, було запропоновано виділяти в межах другого класу хімічного стану («недосягнення доброго») підкласи. Була запропонована аналітична формула для віднесення масиву поверхневих вод до одного з підкласів у межах другого класу. Представляється доцільним врахування розроблених пропозицій в новій редакції методики віднесення масивів поверхневих вод до одного з двох класів і одного з підкласів другого класу хімічного стану.

Ключові слова: поверхневі води, хімічний стан, комплексне оцінювання, пріоритетні речовини, хімічні забруднюючі речовини.

Целью данной статьи является повышение эффективности классификации по химическому состоянию массивов поверхностных вод Украины. Для достижения данной цели были проанализированы действующая методика отнесения массивов поверхностных вод до одного из классов химического состояния, а также методики комплексной оценки качества воды водных объектов по гидрохимическим показателям, которые ранее были разработаны в Украине. На основе проведенного анализа был определен ряд существенных недостатков действующей методики и разработаны предложения по модификации определения химического состояния водных объектов и их классификации с учетом условий Украины. Во-первых, был расширен перечень групп загрязняющих веществ, по которым нужно оценивать химическое состояние массивов поверхностных вод. Во-вторых, было предложено

выделять в пределах второго класса химического состояния («недостижение хорошего») подклассы. Была предложена аналитическая формула для отнесения массива поверхностных вод к одному из подклассов в пределах второго класса. Представляется целесообразным учет разработанных предложений в новой редакции методики отнесения массивов поверхностных вод к одному из двух классов и одного из подклассов второго класса химического состояния.

Ключевые слова: поверхностные воды, химическое состояние, комплексное оценивание, приоритетные вещества, химические загрязняющие вещества.

According to the Water Code of Ukraine, it is necessary to define the class chemical status of the surface water bodies. In 2019 was accepted the appropriate assignment methodology of surface water to one of the classes ecological and chemical status of surface waters bodies prepared under the Water Framework Directive (WFD). However, the use of this methodology in the conditions of Ukraine is inefficient or even impossible. Therefore, it is urgent to solve the problem of the accepted methodology adaptation to the Ukrainian conditions. The purpose of this article is to increase the efficiency of classification of surface water bodies of Ukraine according to their chemical status by adapting the methodology accepted in 2019 to the conditions of Ukraine.

To achieve this target were analyzed the current assignment methodology of surface water bodies to one of the classes chemical status, as well as methods of comprehensive assessment of water quality by hydrochemical indicators, which were previously developed in Ukraine. Based on the conducted analysis there were identified, a number of significant shortcomings: the need for a separate pre-type-specific classification of the ecological status of each type of surface water bodies throughout Ukraine, the lack of regular control in Ukraine by the majority of pollutants from the list of priority substances, too tough environmental quality standards (EQS) used in the current methodology, and some others.

Based on the conducted analysis methodologies comprehensive assessment of water quality developed in Ukraine earlier there were developed proposals to modify the current methodology of classification of surface water bodies by chemical status with considering the conditions of Ukraine. First, the list of pollutant groups by which the chemical status of surface water bodies should be assessed has been expanded. Besides the group of priority substances, the list included 3 more groups: components of salt composition, indicators of ecological and sanitary condition and a group of specific pollutants. Concentrations corresponding to EQS were determined for all

pollutants. Secondly, it was proposed to distinguish within the second class of chemical state ("failure to achieve good") subclasses. To classify the surface water bodies as one of the two classes of chemical status and one of the subclasses within the second class was proposed an analytical formula, similar to the formula used in the methodology for the complex classification of water quality by pollution coefficient.

It seems expedient to take into account the developed proposals in the new version of the methodology for assignment to one of the classes of chemical and ecological status of surface water bodies.

Key words: surface water bodies, chemical status, integrated assessment, priority substances, chemical pollutants.

Відповідно до Водного кодексу України (ВКУ) [1] необхідно визначати клас хімічного стану масиву поверхневих вод. В 2019 році було прийнято відповідну методику віднесення масиву поверхневих вод до одного з класів екологічного та хімічного станів масиву поверхневих вод [3], підготовлену за Водною рамковою директивою (ВРД) [2]. Проте, застосування даної методики в умовах України є неефективним або навіть неможливим. Тому актуальним є вирішення проблеми адаптації прийнятої методики до умов України

До 2019 року система нормування якості вод в Україні базувалась на визначених гранично допустимих концентраціях (ГДК) забруднюючих речовин у водних об'єктах. Для комплексного оцінювання якості поверхневих вод, необхідного для сукупної оцінки і порівняння ступеню забруднення різних водних об'єктів (або їх ділянок), використовувалися інтегральні індекси, засновані на порівнянні вимірних показників якості з їх відповідними ГДК.

До таких оцінок належить одна із перших інтегральних оцінок ІЗВ (індекс забруднення вод) [5]. ІЗВ є критерій адитивного типу та являє собою середню частку перевищення ГДК по строго лімітованому числу окремих показників.

$$ІЗВ = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{C}{ГДК_i}, \quad (1)$$

де C_i - концентрація показника (в ряді випадків - значення фізико-хімічного параметра); n - число показників ($n = 6$); $ГДК_i$ - встановлена величина нормативу для відповідного типу водного об'єкта.

ІЗВ розраховується за показниками БСК₅ (біологічне споживання кисню) O_2 (концентрація розчиненого кисню), і чотирма інгредієнтами, обраними за найбільшими концентраціями з усіх розглянутих речовин. В залежності від

співвідношення $C/\Gamma ДК_i$ встановлювалися спеціальні нормативи для БСК₅, О₂тарН (водневого показника). Згідно з класифікацією за величиною ІЗВ водні об'єкти відносять до одного з семи класів якості вод. Недолік індексу в тому, що всі показники в ньому враховані в рівній мірі, що може призвести до нівелювання низькими концентраціями одних чинників сильне перевищення ГДК по іншим, тобто оцінювання за ІЗВ може не показати порушенні стану масиву вод за рахунок задовільних значень окремих показників.

Для оцінки стану водних об'єктів та ступеню забруднення поверхневих вод в Україні використовується коефіцієнт забрудненості (KZ) [6], в якому згладжується зазначений вище недолік. KZ розраховується за формулою:

$$KZ_w = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} N_i^{\Gamma ДК}, \quad (2)$$

де $N_i^{\Gamma ДК}$ – кратність перевищення рибогосподарських ГДК в контрольному створі на водному об'єкті, яка визначається за формулою:

$$N_i^{\Gamma ДК} = \begin{cases} \frac{C_i^W}{\Gamma ДК_i}, & \text{при } C_i^W > \Gamma ДК_i \\ 1, & \text{при } C_i^W \leq \Gamma ДК_i \end{cases} \quad (3)$$

де C_i^W – концентрація i -ої забруднюючої речовини в контрольному створі W , $\Gamma ДК_i$ – гранично допустима концентрація i -ої речовини.

Коефіцієнт KZ є інтегральним показником, який характеризує рівень забрудненості за гідрохімічними показниками по кратності перевищення їх нормативів у частках ГДК в контрольному створі, та розраховується для 10-ти речовин з найхудішими значеннями $N_i^{\Gamma ДК}$. При відсутності даних вимірювань концентрацій забруднюючих речовин в контрольному створі в формулі (3) можна використовувати розрахункові значення концентрацій з урахуванням фонових концентрацій і кратності розбавлення в контрольному створі.

Коефіцієнт KZ відповідає рівню забрудненості масиву поверхневих вод, за його величиною визнається клас хімічного стану за класифікацією, яка поділяє водні об'єкти на п'ять класів:

У 2012 році для заміни методики екологічної оцінки якості поверхневих вод в редакції 1998 року [7] фахівцями УКРНДІЕП була розроблена методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями [8], яка відповідає Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища» [9], ВКУ [1], Постанові КМУ про заходи поетапного впровадження в Україні вимог директив ЄС [10], з

урахуванням вимог ВРД [2], Конвенції ЕСПОО [11] та низки інших міжнародних документів.

Базовий принцип методики [8] ґрунтується на оцінці екологічного стану та хімічного стану масиву вод за концентраціями пріоритетних забруднюючих речовин як складових загальної оцінки стану водних об'єктів. Автори методики виходили з того, що усі спеціалізовані системи екологічних оцінок якості поверхневих вод побудовані за одним принципом, який полягає в визначенні за інтегральним критерієм класу та категорії (або підкласу) якості вод за класифікацією, чим поділяють водні об'єкти (або їх ділянки) на п'ять класів та сім категорій. Якщо виміряні гідрофізичні, гідрохімічні, гідробіологічні та інші показники характеризують елементарні ознаками якості вод, то комплексні ознаки, побудовані на інтегруванні елементарних ознак, є узагальнюючими ознаками якості вод. На основі елементарних та інтегральних ознак визначаються класи, категорії та індекси якості вод, зони сапробності та ступені трофності.

Система екологічної класифікації якості поверхневих вод суші та естуаріїв України за методикою [8] включає дві супідрядні класифікації, а саме: першу класифікацію за біологічними показниками та другу класифікацію за фізико-хімічними і хімічними показниками.

Оцінювання хімічного стану масиву вод за другою класифікацією включає 3 блоки оцінки якості вод: за критеріями сольового складу, хімічними трофо-сапробіологічними критеріями та вмісту специфічних речовин токсичної та радіаційної дії.

До блоку оцінки за критеріями сольового складу включено спеціалізовані підсистеми, розроблені з урахуванням гідрохімічного районування території України, а саме, оцінка якості прісних вод за величиною загальної мінералізації та електропровідності, вмістом сульфатів та хлоридів.

Блок оцінки за хімічними трофо-сапробіологічними показниками включає 4 групи: загальні показники (температура, прозорість, концентрація іонів водню, завислі речовини), показники кисневого режиму (концентрація розчиненого кисню, насичення киснем, для водойм і водосховищ насичення киснем у гіполімніоні), показники вмісту загального азоту (його сполук - азоту амонійного, нітритного, нітратного) та загального фосфору (його сполук, фосфору фосфатів), показники вмісту органічних речовин (органічний вуглець, перманганатна та біхроматна окиснюваність, біохімічне споживання кисню).

Блок оцінки якості поверхневих вод за критеріями вмісту специфічних речовин токсичної та радіаційної дії складається з двох відповідних спеціалізованих підсистем.

Визначення остаточної узагальненої оцінки екологічного стану масиву вол полягає у визначенні середніх і найгірших значень для двох індексів якості вод, а саме: для біологічного індексу (I_B) та хімічного індексу (I_X).

Значення хімічного індексу якості вод ($I_{X\text{серед}}$) визначається за формулою:

$$I_{X\text{серед}} = (I_{C\text{серед}} + I_{T\text{серед}} + I_{T\text{серед}})/3, \quad (4)$$

де $I_{C\text{серед}}$ – індекс показників сольового складу; $I_{T\text{серед}}$ – індекс хімічних трофо-сапробіологічних показників; $I_{T\text{серед}}$ – індекс специфічних показників токсичної і радіаційної дії.

Індекс хімічних трофо-сапробіологічних показників розраховується на основі узагальнення значень категорій таких групових показників:

$$I_{T\text{серед}} = (I_{K\text{серед}} + I_{O\text{серед}} + I_{З\text{серед}} + I_{B\text{серед}})/4, \quad (5)$$

де $I_{K\text{серед}}$ – індекс показників кисневого режиму; $I_{O\text{серед}}$ – індекс показників вмісту органічних речовин; $I_{З\text{серед}}$ – індекс загальних показників (рН, завислі речовини та ін.); $I_{B\text{серед}}$ – індекс показників вмісту сполук біогенних елементів.

Індекс показників вмісту сполук біогенних елементів визначається так:

$$I_{T\text{серед}} = (K_{NH_4} + K_{NO_2} + K_{NO_3} + K_N + 2K_{PO_4} + 2K_P)/8, \quad (6)$$

де K_{NH_4} , K_{NO_2} , K_{NO_3} , K_N , K_{PO_4} , K_P – категорії за показниками вмісту, відповідно, амонійного, нітритного, нітратного і загального азоту, фосфору фосфатів і загального фосфору. Якщо кількість показників, за якими є інформація, менша, у знаменнику ставиться відповідна цифра з урахуванням пропорційного множення категорій по фосфору.

Хімічний індекс якості вод $I_{X\text{найгір}}$ визначається за найгіршим значенням з трьох блокових індексів I_C , I_{T-C} , I_T :

$$I_{X\text{найгір}} = \max(I_C, I_{T-C}, I_T), \quad (6)$$

Етап визначення класів і категорій якості вод для окремих показників полягає у зіставленні значень первинних чи осереднених величин кожного з показників з відповідними критеріями якості вод, представленими у таблицях системи екологічної класифікації, найгірших значень якості вод серед показників кожного блоку оцінки з відповідними критеріями якості вод;

Далі на основі проведеного зіставлення для кожного показника окремо визначаються категорії якості вод за середнім і найгіршим значеннями; Треба відзначити, що зіставлення середніх і найгірших значень та визначення класів і категорій

якості вод за окремими показниками виконується у межах відповідних груп і блоків екологічної класифікації. Визначення їх належності до певного класу та категорії проводиться за значеннями групових та блокових індексів якості вод

Остаточне узагальнення оцінок хімічного стану масиву поверхневих вод полягає у визначенні середніх і найгірших значень для хімічного індексу (I_x).

Чинну методику віднесення масиву поверхневих вод до одного з класів екологічного та хімічного станів, а також віднесення штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод до одного з класів екологічного потенціалу штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод [3], підготовлену відповідно до ВРД [2], було прийнято у 2019 році.

Визначення екологічного стану масиву поверхневих вод за цією методикою здійснюється за біологічними, гідроморфологічними, хімічними та фізико-хімічними показниками, які узагальнено характеризують стан. Для кожного типу масиву встановлюються референційні умови, що є початковими величинами для встановлення граничних значень 5-ти класів класифікації, що використовуються для визначення екологічного стану масиву поверхневих вод, а саме, I клас—«відмінний», II клас—«добрий», III клас—«задовільний», IV клас—«поганий», V клас—«дуже поганий».

Класифікація екологічного стану розробляється для кожного типу масиву поверхневих вод окремо, тобто є типоспецифічною, за групами показників, які, як вже зазначено, стосуються біологічних, гідроморфологічних, хімічних та фізико-хімічних властивостей масиву. Обрані показники характерні для кожного типу і відповідають значенням екологічного стану «відмінний» цього типу масиву. Типоспецифічні референційні умови визначаються: на основі наявних референційних ділянок; шляхом моделювання; на основі історичних даних; на підставі експертного висновку; на основі наявних референційних ділянок на території інших країн для такого самого типу масиву поверхневих вод; шляхом поєднання цих процедур. Для кожного типу масиву поверхневих вод створюється список референційних ділянок.

Під час розроблення типоспецифічної класифікації на основі екологічних нормативів якості (ЕНЯ) води для різних груп показників встановлюються граничні значення класів екологічного стану масиву поверхневих вод, а саме, біологічних показників –5 класів; хімічних та фізико-хімічних показників –3 класи, у межах цієї групи специфічні синтетичні та несинтетичні забруднюючі речовини –2 класи [3]. Визначення класу для кожного з показників проводиться шляхом зіставлення його значення з граничними значеннями класів, встановленими у типоспецифічній класифікації.

Хімічний стан масиву поверхневих вод визначається за показниками забруднюючих речовин, які наведено у Переліку забруднюючих речовин [4]. Визначення хімічного стану масиву поверхневих вод здійснюється на підставі ЕНЯ, встановлених для двох рівнів: $ЕНЯ_{\text{макс}}$ – максимально допустима концентрація та $ЕНЯ_{\text{ср}}$ – середньорічна концентрація. Застосування $ЕНЯ_{\text{ср}}$ для визначення хімічного стану означає, що середньорічне (середнє арифметичне) значення концентрації речовини у будь-якій репрезентативній точці не може перевищувати наведене значення $ЕНЯ_{\text{ср}}$. Застосування $ЕНЯ_{\text{макс}}$ означає, що будь-яке виміряне значення забруднюючої речовини не може перевищувати значення $ЕНЯ_{\text{макс}}$. Для всіх забруднюючих речовин, крім металів, ЕНЯ встановлюються для їхньої загальної концентрації. Для металів (кадмій, свинець, ртуть, нікель) беруться до уваги їх розчинені форми, відділені мембранною фільтрацією з діаметром пор 0,45 мкм. У разі перевищення $ЕНЯ_{\text{макс}}$ для металів розглядаються: фонові концентрації відповідних металів та їхніх сполук; твердість води, водневий показник та інші показники води, що впливають на біодоступність металів. У разі встановлення забруднення води зазначеними речовинами необхідні вимірювання їх вмісту в донних відкладах та підтвердження їх біоаккумуляції.

При класифікації хімічного стану масиву поверхневих вод використовуються два класи: «добрий» та «недосягнення доброго». Для графічного відображення кожен з класів позначається відповідним кольором: «добрий» – синім; «недосягнення доброго» – червоним. Хімічний стан визначається по значенню найгіршого показника. Якщо значення найгіршого показника більше ніж значення $ЕНЯ_{\text{ср}}$, то хімічний стан є недосягнення доброго (НД). Якщо усі показники мають значення менш ніж значення відповідних $ЕНЯ_{\text{ср}}$ то хімічний стан є добрий (Д).

До недоліків чинної методики [3] треба віднести наступне:

- для її використання необхідно проведення попередньої окремої типоспецифічної класифікації екологічного стану кожного типу масиву поверхневих вод на всій території України, що потребує невизначених фінансових ресурсів, наявності достатньої кількості фахівців та тривалого часу досліджень;
- при розробленні типоспецифічної класифікації треба встановити граничні значення класів екологічного стану масиву поверхневих вод, для чого передбачається використання ЕНЯ води, які на теперішній час відсутні і для встановлення яких треба провести додаткові тривалі дослідження із залученням значної кількості фахівців та невизначених обсягів фінансування;

- ЕНЯ для визначення хімічного стану масиву поверхневих вод, які наведено в додатку до методики, не містять значень для важливих речовин, а саме нафтопродуктів, СПАВ, фосфатів, БСК₅, міді, хрому, нікелю та інші. Без врахування цих речовин неможливо правильно (адекватно) визначити хімічний стан масиву поверхневих вод;
- визначення екологічного стану масиву поверхневих вод на підставі проведення типоспецифічної класифікації суперечить положенню 4-ої частини статті 33 Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища України» [9], де йдеться про те, що «нормативи гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин у навколишньому природному середовищі та рівні шкідливих фізичних та біологічних впливів на нього є єдиними для всієї території України», тобто екологічні нормативи, як і ГДК речовин, повинні бути єдиними для всієї території України.
- із зазначених пріоритетних речовин, за якими визначається хімічний стан масиву поверхневих вод [4], регулярний контроль за вмістом в водних об'єктах України проводиться лише декількох речовин, причому за деякими з них тільки в дуже обмеженому числі пунктів спостережень; це пов'язано з відсутністю більшості вказаних в переліку речовин в воді водойм та нерентабельністю їх контролю,
- важливо підкреслити, що концентрації контрольованих речовин із переліку [4] майже завжди вище зазначених в методиці нормативів ЕНЯ, (хоча нижче ГДК для водойм рибогосподарського призначення), тому як хімічний стан, так і стан масиву поверхневих вод буде «недосягнення доброго».
- методика призводить до невірної визначення хімічного стану масиву поверхневих вод, коли при неперевищенні ГДК окремими пріоритетними речовинами групи масив відноситься до класу «недосягнення доброго» за прийнятими у [4] ЕНЯ, і відповідно стан масиву поверхневих вод також «недосягнення доброго», бо визначається його екологічним станом «добрий» та хімічним станом «добрий».

Наведені недоліки ставлять під сумнів доречність впровадження методики [3], використовувати її без суттєвого доопрацювання чи адаптації до умов України є неефективним або навіть неможливим;

Перш ніж викласти пропозиції по методиці віднесення масиву поверхневих вод до одного з класів хімічного стану, адаптованої до умов України, треба відзначити, що методики такого оцінювання вже використовувалися в Україні раніше, наприклад,

[5, 6], а також як складова частина методики [8], про що вже було сказано вище. При розробці пропозицій по адаптованій методиці враховувався досвід цих методик.

Слід також підкреслити, що ВКУ [1] передбачено визначення двох класів хімічного стану масиву поверхневих вод за окремими групами забруднюючих речовин, які встановлюються за ЕНЯ води як «добрий» або «недосягнення доброго». Далі за ЕНЯ води масиву поверхневих вод приймаються науково обґрунтовані з екологічних позицій величини концентрацій забруднюючих речовин та показників, які характеризують загально фізичні, біологічні, хімічні та радіаційні властивості води [1]. За сукупністю вказаних даних визначається ступінь забрудненості водних об'єктів та класифікується стан масиву поверхневих вод за відповідними категоріями якості води.

Хімічний стан масиву поверхневих вод за ВКУ [1] характеризується тільки словесним описом, тому доцільно це визначення доповнити числовими значеннями, а саме: «добрий» – 1 клас, «недосягнення доброго» – 2 клас.

В силу того, що як вже від зазначалося, в існуючих нормативних документах України відсутні значення концентрацій забруднюючих речовин в воді, які відповідають ЕНЯ, є доцільним при розробленні адаптованої методики віднесення масиву поверхневих вод до одного з класів хімічного стану визначити відповідні ЕНЯ води значення. Концентрацію її хімічної речовини ЕНЯ води масиву поверхневих вод позначимо як $ЕНЯ_i$ ($мкг/дм^3$), який є аналогом стандарту якості довкілля (СЯД_i або EQS_i в англійській аббревіатурі) за ВРД. [2]. У директиві 2013/39 ЄС [13] наведено значення СЯД пріоритетних та деяких специфічних забруднюючих речовин. Крім того, у цієї директиві наведено значення середньо річних АА-СЯД та максимально припустимих МАС-СЯД. Слід відзначити також, що найбільш близькими до СЯД для поверхневих вод України є гранично допустимі концентрації (ГДК) речовин у воді водних об'єктів рибогосподарського призначення, тому у разі відсутності ЕНЯ речовин за норматив пропонувано приймати ці ГДК або границі 3-й категорії екологічної класифікації методики [8] при відсутності ГДК.

Оцінка хімічного стану масиву поверхневих вод в країнах ЕС здійснюється за окремими групами забруднюючих речовин, кількість груп визначається самою країною. В деяких країнах ЕС оцінка здійснюється за кількома групами, наприклад, у республіці Словенія оцінка хімічного стану масиву поверхневих вод здійснюється за 3-ма групами забруднюючих речовин, а саме, головними хімічними речовинами, пріоритетними хімічними речовинами та додатковими (indicative) хімічними речовинами [14].

Вибір хімічних забруднюючих речовин для визначення хімічного стану масиву поверхневих вод здійснюється за окремими групами, встановленими відповідно до ВРД, до яких належать усі пріоритетні забруднюючі речовини (відповідно до наказу Мінприроди України від 06.02.2017 № 45. [4]), а також речовини, що скидаються до водного об'єкту із зворотними водами та можуть впливати на його стан [2]. При оцінюванні хімічного стану масиву поверхневих вод України запропоновано використовувати чотири групи забруднюючих речовин, при виборі груп ґрунтувалися на методиці [8]:

1) компоненти сольового складу: сума іонів, гідрокарбонати, хлориди, сульфати, іони магнію, кальцію, натрію;

2) показники еколого-санітарного стану: завислі речовини, розчинений кисень, рН, розчинені органічні речовини (за показниками БСК₅ та ХСК), сполуки головних біогенних елементів (азот амонійний, азот нітратний, азот нітритний, фосфати);

3) група специфічних забруднюючих речовин кількістю 25 речовин (алюміній, азот амонійний, анілін, ванадій, вісмут, залізо, кобальт, літій, магній, марганець, метанол, миш'як, мідь, молібден, нафтопродукти, олово, роданід (калію), СПАР, титан, феноли, формальдегід, хром тривалентний, хром шестивалентний, цинк, ціаніди);

4) група пріоритетних речовин кількістю 45 сполук [3], для яких (середньорічні ЕНЯ дорівнюють AA-EQS) [15])

При визначенні класу хімічного стану масиву поверхневих вод за однією забруднюючою речовиною пропонується використовувати наступну формулу:

$$\left[\begin{array}{l} C_i / \text{ЕНЯ}_i \leq 1.0 \quad \text{— «добрий» (1 клас)} \\ C_i / \text{ЕНЯ}_i > 1.0 \quad \text{— «недосягнення доброго» (2 клас)} \end{array} \right] \quad (7)$$

де C_i – середня концентрація i -забруднюючої речовини за певний час (рік) у воді, ЕНЯ_i – концентрація i -забруднюючої речовини, яка відповідає ЕНЯ.

При визначенні класу хімічного стану масиву поверхневих вод за певною групою хімічних речовин передбачається, що якщо для усіх i -х забруднюючих речовин цієї групи співвідношення $C_i / \text{ЕНЯ}_i$ дорівнює одиниці, то хімічний стан поверхневих вод за цією групою є «добрий». У разі же перебільшення одиниці співвідношенням $C_i / \text{ЕНЯ}_i$ для якоїсь i -тої забруднюючої речовин певної групи хімічний стан масиву поверхневих вод за цією групою речовин є «недосягнення доброго».

Визначення класу хімічного стану води для певної групи речовин пропонується здійснювати за формулою:

$$I_k = 1 + 1/(n - m) \sum_{i=1}^n (C_i/EHЯ_i - 1) \quad (8)$$

де I_k – індекс, який визначає клас хімічного стану масиву поверхневих та відповідає певній групі хімічних речовин; C_i – середня концентрація i -тої забруднюючої речовини за результатами вимірювань за певний час, мкг/дм³; $EHЯ_i$ – концентрація i -речовини, яка відповідає значенню концентрації екологічного нормативу якості води масиву поверхневих вод, мкг/дм³; n – кількість забруднюючих речовин у складі певної групи; m - число показників, для яких значення $C_i/EHЯ_i < 1.0$, а саме співвідношення приймається рівним одиниці ($C_i/EHЯ_i = 1.0$).

Клас хімічного стану масиву поверхневих вод визначається за результатами розрахунків за наступною формулою.

$$\left[\begin{array}{l} I_k = 1 \quad - \text{ клас стану є «добрий»} \\ I_k > 1, \quad - I_k = 2, \text{ клас стану є «недосягнення доброго»} \end{array} \right] \quad (9)$$

Для кожного групи забруднюючих речовин визначаються свій індекс хімічного класу, які позначаються наступним чином:

- 1) для групи компонентів сольового складу I_1 ;
- 2) для групи показників еколого-санітарного стану I_2
- 3) для групи специфічних забруднюючих речовин це I_3 ;
- 4) для групи пріоритетних речовин це I_4

Крім того, визначається загальний індекс класу хімічного стану поверхневих вод водного об'єкту за формулою:

$$I = (I_1 + I_2 + I_3 + I_4)/4, \quad (10)$$

де I - загальний індекс класу хімічного стану поверхневих вод водного об'єкту.

Клас хімічного стану поверхневих вод водного об'єкту встановлюється за загальним індексом за формулою:

$$\left[\begin{array}{l} I = 1 \quad - \text{ клас стану є «добрий»} \\ I > 1, \quad - I_k = 2, \text{ клас стану є «недосягнення доброго»} \end{array} \right] \quad (11)$$

Для оцінки ступеня забруднення вод окремої ділянки водного об'єкту пропонується при визначенні хімічного стану масиву поверхневих вод в залежності від значення загального індексу I виділити у класі 2 підкласи, Пропонується така класифікація 2 класу («недосягнення доброго») хімічного стану масиву поверхневих вод за значенням загального індексу I . Оскільки коефіцієнт забрудненості (KZ) більш адекватно відображає якість води, для граничних значень підкласів були вибрані значення за класифікацією [6]:

- підклас 2.1 (поміркові поганий) при значенні $I = 2 - 3$;

- підклас 2.2 (поганий) при значенні $I = 4 - 10$;
- підклас 2.3 (дуже поганий) при значенні $I = 11 - 50$;
- підклас 2.4 (поганий) при значенні $I > 50$.

Результати по визначення хімічного стану масиву поверхневих вод України пропонується подавати у вигляді таблиць, графіків або карт.

Висновки

1. До 2019 р. комплексна оцінка хімічного стану масиву поверхневих вод в Україні здійснюється на підставі індексу забруднення води (ІЗВ) та коефіцієнту забруднення води (KZ).
2. В 2019 р. набув чинності Наказ Мінприроди, яким затверджено методику [3], яка має суттєві вади, а саме, використовувати її для визначення хімічного стану масиву поверхневих вод неможливо без додаткових досліджень, визначення класу хімічного стану призводить до помилкових результатів.
3. Відповідно до нормативно-правових документів країн ЄС хімічний стан масиву поверхневих вод визначається двома класами: «добрий хімічний стан» (goodchemicalstatus) та «поганий хімічний стан» (badchemicalstatus).
4. Оцінка хімічного стану масиву поверхневих вод в країнах ЄС здійснюється за окремими групами забруднюючих речовин, кількість груп визначається самою країною.
5. В країнах ЄС прийняті екологічні нормативи якості води масивів поверхневих вод СЯД (стандарти якості довкілля EQS), до яких найбільш близькими в Україні є гранично допустимі концентрації (ГДК) речовин для водойм рибогосподарського призначення. Для більшості показників групи пріоритетних речовин відповідні ГДК речовин для водойм рибогосподарського призначення відсутні, тому для них прийняті нормативи СЯД згідно [12].
6. Для визначення класу хімічного стану масиву поверхневих вод України запропоновано використовувати 4 окремі групи забруднюючих речовин, а саме, компоненти сольового складу, показники еколого-санітарного стану, речовини специфічної дії, пріоритетні речовин відповідно до наказу Мінприроди України від 06.02.2017 № 45 [4].
9. Запропоновано формулу, за якою здійснюється розрахунок класу хімічного стану масиву поверхневих вод по окремих групах показників.
10. Запропоновано при визначенні хімічного стану масиву поверхневих вод у 2-ому класі «недосягнення доброго» виділити ще підкласи.

Література

1. Водний кодекс України. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80>,
2. Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЄС. Основні терміни та їх визначення: Вид. офіційне. - К., 2006, 240 с. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_962#Text.
3. Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України 14 січня 2019 р. № 5, зареєстр. в Міністерстві юстиції України 05.02.2019 р. за № 127/33098, (Про затвердження Методики віднесення масиву поверхневих вод до одного з класів екологічного та хімічного станів масиву поверхневих вод, а також віднесення штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод до одного з класів екологічного потенціалу штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод, (URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0127-19>).
4. Перелік забруднюючих речовин для визначення хімічного стану масивів поверхневих і підземних вод та екологічного потенціалу штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод, затвердженим наказом Мінприроди від 06 лютого 2017 року № 45, зареєстрованим у Міністерстві юстиції України 20 лютого 2017 року за № 235/30103 (перелік для поверхневих вод). [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0235-17/para13>
5. Временные методические указания по комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям. Утв. Госкомгидрометом СССР 22.09.1986 г. № 250-1163. 5 с.
6. В. П. Белогуров, В. Р. Лозанский, С.А. Песина // Комплексные оценки качества поверхностных вод. - Л.: Гидрометеиздат. – 1984. С. 33-43.
7. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. Затверджено Мінекобезпеки України від 31.03.98 р. № 44 і погоджено з Держгидрометром та Держводгоспом України /В. Д. Романенко, В. М. Жукинський, О. П. Оксіюк [та ін.]. – К.: Символ–Т, 1998. – 28 с.
8. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. Проект. Введено для заміни «Методики екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями» в редакції 1998 року. УкрНДІЕП, 2012 / А. В. Гриценко, О. Г. Васенко, Г. А. Верніченко, С. Коваленко, О. В. Поддашкін, Д. Ю. Верніченко-Цветков, Н. В. Мельникова, О. П. Мірошніченко / [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.niiep.kharkov.ua/sites/default/files/metodika_2012_14_0.doc

9. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища». [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1264-12>.
10. Постанова КМУ від 19.03.1997 р. № 244 «Про заходи щодо поетапного впровадження в Україні вимог директив ЄС, санітарних, екологічних, ветеринарних, фітосанітарних норм та міжнародних і європейських стандартів». [Ел. ресурс]– Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/244-97-п>.
11. Конвенція про оцінку впливу на навколишнє середовище у транскордонному контексті. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_272
12. Директива 2013/39/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 12 серпня 2013 року, що вносить зміни до Директив 2000/60/ЄС та 2008/105/ЄС щодо пріоритетних речовин у сфері політики водовикористання (Текст дотичний ЄСП). [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://old.minjust.gov.ua/45875>.
13. Директива 2013/39/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 12 серпня 2013 року, що вносить зміни до Директив 2000/60/ЄС та 2008/105/ЄС щодо пріоритетних речовин у сфері політики водовикористання (Текст дотичний ЄСП). [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://old.minjust.gov.ua/45875>
14. Water governance in the western EECCA countries TACIS/2008/137-153 (EC) / Water quality standards, assessment and objectives, emission limit value and per mitting /Draft Steve Warren /3 December 2008, www.wgw.org.ua/publications/Prog%20Rep%202g.pdf
15. Директива Ради 91/271/ЄЕС "Про очистку міських стічних вод" від 21 травня 1991 року (укр/рос). [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://old.minjust.gov.ua/45875>

References

1. *Vodnj kodeks Ukrainy. [Elektronny`j resurs] – Rezhym dostupu: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80>,*
2. *Vodna Ramkova Dyrektyva YeS 2000/60/ES. Osnovni termini ta yix vyznachennya: Vyd. oficijne. - K., 2006, 240 s. [Elektronny`j resurs] – Rezhym dostupu: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_962#Text.*
3. *Nakaz Ministerstva ekologiyi ta pryrodnyx resursiv Ukrainy 14 sichnya 2019 r. # 5, zareyestr. v Ministerstvi yustyciyi Ukrainy 05.02.2019 r. za # 127/33098, (Pro zatverdzhennya Metodyky vidnesennya masyvu poverxnevyyx vod do odnogo z klasiv ekologichnogo ta ximichnogo staniv masyvu poverxnevyyx vod, a takozh vidnesennya shtuchnogo abo istotno*

zminenogo masyvu poverknevyx vod do odnogo z klasiv ekologichnogo potencialu shtuchnogo abo istotno zminenogo masyvu poverknevyx vod, (URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0127-19>).

4. Perelik zabrudnyuyuchykh rehovyn dlya vyznachennya khimichnogo stanu masyviv poverkhnevykh i pidzemnykh vod ta ekolohichnogo potentsialu shtuchnogo abo istotno zminenoho masyvu poverkhnevykh vod, zatverdzenym nakazom Minpryrody vid 06 lyutoho 2017 roku № 45, zareyestrovanyym u Ministerstvi yustytsiyi Ukrayiny 20 lyutoho 2017 roku za № 235/30103 (perelik dlya poverkhnevykh vod). [Elektronnyy resurs] – Rezhym dostupu: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0235-17/paran13>

5. Временные методические указания по комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям. Утв. Госкомгидрометом СССР 22.09.1986 г. # 250-1163. 5 с.

6. V. P. Belogurov, V. R. Lozanskyj, S.A. Pesy`na // Комплексные оценки качества поверхностных вод. - L.: Гидрометеосъезд. – 1984. S. 33-43.

7. Metodyka ekologichnoyi ocinky yakosti poverknevyx vod za vidpovidnymy kategoriyamy. Zatverdzheno Min. ekobezpeky Ukrayiny vid 31.03.98 r. # 44 i pogodzheno z Derzhgidrometrom ta Derzhvodgospom Ukrayiny /V. D. Romanenko, V. M. Zhukynsky`j, O. P. Oksiyuk [tain.]. – K. : Symvol–T, 1998. – 28 s.

8. Metodyka ekologichnoyi ocinky` yakosti poverknevyx vod za vidpovidnymy kategoriyamy. Proekt. Vvedeno dlya zaminy «Metodyky ekologichnoyi ocinky yakosti poverknevyx vod za vidpovidnymy kategoriyamy» v redakcii 1998 roku. UkrNDIEP, 2012 / A. V. Grycenko, O. G. Vasenko, G. A. Vernichenko, M. S. Kovalenko, O. V. Poddashkin, D. Yu. Vernychenko-Czvetkov, N. V. Mel`nykova, O. P. Miroshnychenko [Elektronny`jresurs] – Rezhym dostupu: http://www.niiep.kharkov.ua/sites/default/files/metodika_2012_14_0.doc.

9. Zakon Ukrayiny «Pro oxoronu navkolyshnogo pryrodnogo seredovyshha». [Elektronnyj resurs] – Rezhym dostupu: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1264-12>.

10. Postanova KMU vid 19.03.1997 r. # 244 «Pro zaxody shhodo poetapnogo vprovadzhennya v Ukrayini vymog dyrektyv YeS, sanitarnyx, ekologichnyx, veterynarnyx, fitosanitarnyx norm ta mizhnarodnyx i yevropejs`kyx standartiv». [El. resurs]– Rezhym dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/244-97-p>.

11. Konvenciya pro ocinku vplyvu na navkolyshnye seredovyshhe u transkordonnomu konteksti. [Elektronny`jresurs] – Rezhym dostupu: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_272

12. Dyrektyva 2013/39/YeS Yevropejs`kogo Parlamentuta Rady vid 12 serpnya 2013 roku, shho vnosyt` zminy do Dyrektyv 2000/60/YeSta 2008/105/YeS shhodo priorytetnyx rehovyn u sferi polityky vodovykorystannya (Tekst dotychny`j YeEP). [Elektronnyj resurs] – Rezhym dostupu: <http://old.minjust.gov.ua/45875>.

13. Dyrektyva 2013/39/JeS Yevropejs`kogo Parlamentu ta Rady vid 12 serpnia 2013 roku, shho vnosyt` zminy do Dyrektyv 2000/60/JeS ta 2008/105/JeS shhodo priorityetnykh rehovyn u sferi polityky vodovykorystannya (Tekst dotychnyj YeEP). [Elektronnyj resurs] – Rezhym dostupu: <http://old.minjust.gov.ua/45875>

14. Water governance in the western EECCA countries TACIS/2008/137-153 (EC) / Water quality standards, assessment and objectives, emission limit value sandper mitting /Draft Steve Warren /3 December 2008, www.wgw.org.ua/publications/Prog%20Rep%202g.pdf

15. Dyrektyva Rady 91/271/JeES "Pro ochystku mis`kyx stichnyx vod" vid 21 travnya 1991 roku (ukr/ros). [Elektronnyj resurs] – Rezhym dostupu: <http://old.minjust.gov.ua/45875>

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Брук Володимир Вікторович – кандидат технічних наук. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УКРНДІЕП, м. Харків; тел.: (057)702-15-94, e-mail: morlab@ukr.net.

Брук Владимир Викторович – кандидат технических наук. Научно-исследовательское учреждение «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем», УКРНИИЭП, г. Харьков; тел.: (057)702-15-94, e-mail: morlab@ukr.net.

Brook Volodimir Victorovich – Candidate of Technical Sciences. Research Institute of Environmental Problems, USRIEP, Kharkiv; phone: (057)702-15-94, e-mail: morlab@ukr.net.

Заболоцька Валентина Василівна – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УКРНДІЕП, м. Харків; тел.: (057)702-15-94, e-mail: val.zabolotska@gmail.com.

Заболоцкая Валентина Васильевна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник. Научно-исследовательское учреждение «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем», УКРНИИЭП, г. Харьков; тел.: (057)702-15-94, e-mail: val.zabolotska@gmail.com.

Zabolotska Valentyna Vasylivna – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher. Research Institution «Ukrainian Research Institute of Environmental Problems», USRIEP, Kharkiv; phone: (057) 702-15-94, e-mail: val.zabolotska@gmail.com

О. Г. ВАСЕНКО, В. В. БРУК, Ю. В. СВИРИДОВ

ГЕОІНФОРМАЦІЙНА МОДЕЛЬ ЯКОСТІ ВОДИ В СИСТЕМІ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ДЕЛЬТИ ДУНАЮ

Розроблена геоінформаційна система (ГІС) для аналізу і відображення результатів моніторингу якості річкових вод української частини дельти Дунаю. У розробленій ГІС передбачене виконання додаткових функцій аналізу даних: комплексна оцінка якості води, виявлення тенденцій зміни показників і кореляційних зв'язків між показниками, ранжирування джерел забруднення за ступеням їх впливу на якість вод. Застосування розробленої ГІС для аналізу даних моніторингу за 2004-2019 рр. дозволило виявити значимі тенденції до поліпшення якості річкових вод за показниками: азот амонійний, азот нітритний, фосфор фосфатів та ін. За показниками БСК-5 і ХСК до 2013 р. спостерігалася тенденція до поліпшення якості води, а після 2013 р. – до погіршення. Була виявлена щільна зворотна кореляційна залежність між концентрацією марганцю й індексом Шеннона за чисельністю фітопланктону. Виявляється доцільним застосування запропонованої геоінформаційної моделі при створенні регіональних ГІС моніторингу якості поверхневих вод.

Ключові слова: геоінформаційна система, якість вод, альгологічні показники, тенденція, кореляція, рівень значущості, комплексна оцінка, джерело забруднення.

Разработана геоинформационная система (ГИС) для анализа и отображения результатов мониторинга качества речных вод украинской части дельты Дуная. В разработанной ГИС предусмотрено выполнение дополнительных функций анализа данных: комплексная оценка качества воды, выявление тенденций изменения показателей и корреляционных связей между показателями, ранжирование источников загрязнения по степени их влияния на качество вод. Применение разработанной ГИС для анализа данных мониторинга за 2004-2019 гг. позволило выявить значимые тенденции к улучшению качества речных вод по показателям: азот аммонийный, азот нитритный, фосфор фосфатов и др. По показателям БПК-5 и ХПК до 2013 г. наблюдалась тенденция к улучшению качества воды, а после 2013 г. – к ухудшению. Была выявлена тесная обратная корреляционная зависимость между концентрацией марганца и индексом Шеннона по численности

фитопланктона. Представляется целесообразным применение предложенной геоинформационной модели при создании региональных ГИС мониторинга качества поверхностных вод.

Ключевые слова: геоинформационная система, качество вод, альгологические показатели, тенденция, корреляция, уровень значимости, комплексная оценка, источник загрязнения.

The rich ecological biodiversity of the Danube river delta and its special environmental status necessitate the careful monitoring of water quality in the delta branches and anthropogenic factors that affect on it. One of the possible way of the improvement of ecological monitoring systems is the use of geoinformational technologies. However in the geoinformational systems (GIS) of ecological monitoring, that are using in Ukraine now, the functions of data analysis are limited by comparison of results of monitoring with normative values. The aim of this article is to improve the geoinformational model at the expense of inclusion the additional functions of data analysis.

The perfected geoinformational model has been proposed, that has a data analysis subsystem with additional blocks, which realize the execution of next functions: complex water quality assessment, determination of trends and prediction of water quality shifts, assessment of pollution point sources impact on water quality. The proposed geoinformational model has been realized in the GIS of water quality monitoring of the Ukrainian section of the Danube river delta. The development of GIS had being put in practice with ArcGIS platform. The values of hydrochemical and phycological indices measured in Ukrainian part of Danube delta have been entered in the database of the GIS.

The application of developed GIS for analysis of monitoring data between 2004-2019 years has been allowed to reveal the trends for improvement of such river water quality parameters: ammonium nitrogen, nitrite nitrogen, phosphates, chrome 6, dissolved oxygen. But at the same time the changes of direction of trends have been revealed for two parameters: BOD-5 and COD. If until 2013 year these parameters had trends for decreasing (improvement of water quality), after this year they have trends for increasing. Apart the sudden change of manganese concentration had been observing in 2013 year. In this year it had been increased more than four times. Also the strong inverse correlation between manganese concentration and Shannon index, calculated from phytoplankton abundance, has been discovered.

The proposed geoinformational model can be used for developing or improvement of regional GIS of ecological monitoring.

Key words: geoinformational system, water quality, phycological indices, trend, correlation, level of significance, complex water quality assessment, pollution source.

Вступ

Дельта Дунаю розташована на території двох держав: України і Румунії. Відповідно Водній Рамковій Директиві ЄС (Directive 2000/60/EC) [1] вона ставиться до водних об'єктів, для яких необхідна особлива охорона. На теперішній час на території української частини дельти Дунаю створений Дунайський біосферний заповідник, який рішенням ЮНЕСКО у 1999 році включено до світової мережі біосферних заповідників у складі білатерального румунсько-українського біосферного резервату «Дельта Дунаю». Багата різноманітність біологічних видів на території дельти Дунаю та її особливий статус обумовлюють необхідність пильного моніторингу стану дельти та чинників антропогенного впливу на неї як з боку України і Румунії, так і транскордонного впливу з боку країн ЄС, території яких знаходяться у басейні р. Дунай.

Починаючи з 1996 р. екологічний моніторинг р. Дунай здійснюються у рамках міжнародної програми (Transnational Monitoring Network – TNMN) під керівництвом Міжнародної Комісії по захисту ріки Дунай (International Commission for the Protection of the Danube River – ICPDR) [2]. Одним з напрямів можливого вдосконалення системи екологічного моніторингу є застосування геоінформаційних технологій. В останні роки було розроблено багато регіональних геоінформаційних систем (ГІС) екологічного моніторингу. Однак, геоінформаційні моделі, які використовуються в розроблених ГІС передбачають застосування геоінформаційних технологій тільки для наочного відображення результатів моніторингу. Усе це обумовлює необхідність вдосконалення геоінформаційних моделей, що використовуються в системах екологічного моніторингу, зокрема, геоінформаційної моделі екологічного моніторингу української частини дельти Дунаю.

Аналіз літературних даних і постановка проблеми.

В рамках плану дій Міжнародної Комісії із захисту ріки Дунай була розроблена спеціалізована геоінформаційна система екологічного моніторингу басейну Дунаю DanubeGIS [3]. У базі даних цієї ГІС міститься інформація про основні джерела забруднення річкових вод басейну Дунаю: промислові скиди зворотних вод і скиди з комунальних очисних споруд (КОС) міст. В таблиці атрибутів просторового шару «скиди зворотних вод з КОС міст» представлена інформація тільки щодо наявності і характеристик очисних споруд, але відсутня інформація щодо витрат зворотних вод і

мас речовин, що скидаються зі зворотними водами. В DanubeGIS представлені також карти з просторовими шарами, що відображають навантаження на річкову систему Дунаю, обумовлене забрудненням сполуками азоту і фосфору.

В Україні не розроблені спеціалізовані ГІС екологічного моніторингу дельти Дунаю. Однак, існує загальноукраїнська ГІС «Чиста вода», розроблена у 2018 р. на замовлення Держводагентства України в рамках проекту USAID/UK aid [4]. Ця ГІС містить інтерактивну електронну карту, на якій відображена гідрографічна мережа України і пункти спостережень якості води мережі моніторингу Держводагентства. База даних ГІС містить інформацію про результати спостережень якості поверхневих вод в пунктах моніторингу. В цій ГІС існує розвинута система відображення інформації, однак, аналітична підсистема цієї ГІС має тільки одну функцію зіставлення значень показників якості води з ГДК.

Крім того, в Україні розроблено низка регіональних ГІС екологічного моніторингу або спеціалізованих ГІС моніторингу якості поверхневих вод. Для Закарпатської області розроблена ГІС екологічного моніторингу та комплексного аналізу стану навколишнього природного середовища, найважливішою складовою якої є спеціалізована геоінформаційна підсистема «Поверхневі води» [5]. В [6] побудовано геоінформаційну модель екологічного стану річкових вод двох областей України: Харківської і Луганської. База даних запропонованої геоінформаційної моделі містить інформацію про скидання в Сіверський Донець забруднюючих речовин у складі зворотних вод від різних джерел забруднення. Для Донецької і Луганської областей у 2017р. на замовлення Міністерства екології та природних ресурсів України координатором проектів ОБСЄ в Україні в рамках проекту «Оцінка шкоди, завданої довкіллю на сході України» за фінансової підтримки урядів Канади та Австрії розроблена система довкілля Донбасу (DEIS) [7]. В цій ГІС передбачена можливість відображати інформацію про забруднення довкілля, зокрема про забруднення поверхневих вод.

В іноземних геоінформаційних моделях набуло велике застосування моделювання процесів формування якості поверхневих вод річкових басейнів за допомогою моделі Swat (Soil and Water Assessment Tool) [8]. Зокрема, у геоінформаційній системі ArcGis для моделювання процесів забруднення річкових вод використовується спеціальне розширення до ГІС – ArcSwat, яке являє собою графічний інтерфейс моделі SWAT [9]. В моделі SWAT передбачені широкі можливості для прогнозування якості поверхневих вод з урахуванням точкових та дифузних джерел забруднення і кліматичних умов. В Україні розширення до ГІС –

ArcSwat було використано для моделювання процесів забруднення української частини басейну р. Сіверський Донець [10].

На теперішній час серед існуючих ГІС, що застосовуються в системах екологічного моніторингу, ГІС-розширення ArcSWAT надає найбільші можливості для аналізу даних моніторингу поверхневих вод. Але застосування моделі SWAT ускладнюється необхідністю використання великої кількості вихідної інформації: карт землекористування, ґрунтів, цифрових карт рельєфу, гідрометеорологічної інформації щодо опадів, температури і швидкості вітру. Для території дельти Дунаю застосування моделі SWAT додатково ускладнюється низинним характером місцевості. Це потребує використання для виділення річкових підбасейнів цифрової карти рельєфу з дуже високою здатністю за рівнем висоти. Відсутність таких цифрових карт робить неможливим практичне використання ГІС-розширення ArcSWAT для дельти Дунаю.

Таким чином, на теперішній час геоінформаційні системи моніторингу екологічного стану поверхневих вод, що використовуються в Україні, застосовуються, головним чином, тільки для наочного відображення результатів моніторингу. Аналітичні функції цих систем обмежені зіставленням показників якості води з їх нормативними значеннями. В іноземних геоінформаційних системах моніторингу екологічного стану поверхневих вод знаходить застосування ГІС-розширення ArcSWAT, яке забезпечує широкі можливості для прогнозування якості поверхневих вод. Однак, це ГІС-розширення не може бути застосовано для дельти Дунаю внаслідок низинного характеру місцевості. Усе це обумовлює доцільність удосконалення існуючих геоінформаційних моделей моніторингу поверхневих вод шляхом розширення їх підсистем аналізу даних.

Мета і задачі досліджень.

Метою досліджень є вдосконалення геоінформаційної моделі екологічного моніторингу української частини дельти Дунаю за рахунок додаткових функцій аналізу даних.

Для досягнення мети роботи були сформульовані наступні задачі досліджень:

- розроблення загальної структури геоінформаційної системи екологічного моніторингу української частини дельти Дунаю та структури додаткових блоків підсистеми аналізу даних;
- застосування розробленої геоінформаційної системи для здійснення наступних функцій моніторингу:
 - 1) дослідження просторово-часової динаміки показників стану річних вод;

- 2) виявлення кореляційних зв'язків між різними показниками якості води;
- 3) ранжування точкових джерел забруднення Дунаю з боку України за ступеням їх впливу на якість річкової води;
- 4) комплексна оцінка якості річкової води.

Вихідні дані та методика досліджень.

На теперішній час постійний моніторинг якості води в українській частині дельти р. Дунай здійснюється двома службами: Дунайською гідрометеорологічною обсерваторією (ГМО) Державної служби надзвичайних ситуацій (ДСНС) і лабораторією Басейнового управління водних ресурсів Причорномор'я та нижнього Дунаю Держводагентства (ДВА).

Дунайська ГМО виконує вимірювання показників якості річкової води щомісячно. Спостереження здійснюються у 14-ти пунктах моніторингу. Кількість показників, що виміряють всіма пунктами, складає 38.

Лабораторія ДВА виконує вимірювання показників якості річкової води щоквартально. Безпосередньо на р. Дунай спостереження здійснюються у 4-х пунктах моніторингу. У відкритому доступу на офіційному сайті Держводагентства [10] представлена інформація про 16 показників якості води.

З метою усунення невизначеностей у оцінках впливів на екологічний стан української частини дельти Дунаю різних антропогенних факторів УКРНДІЕП була розроблена та запроваджена програма екологічного моніторингу [11]. В рамках зазначеної програми УКРНДІЕП, починаючи з 2004 р., здійснює спостереження за гідрохімічними й гідробіологічними показниками в гирлових рукавах р. Дунай, результати яких відображені у [12]. Програма екологічного моніторингу УКРНДІЕП додатково до вимірювання гідрохімічних показників включає також вимірювання валового вмісту у донних відкладеннях концентрацій таких важких металів: мідь, цинк, залізо загальне, марганець нікель. Крім того регулярно здійснюються визначення альгологічних показників. Альгологічні дослідження включають вимірювання чисельності та біомаси таких 8-мі відділів фітопланктону:

- 1) Cyanophyta – *Синьозелені*,
- 2) Dinophyta – *Динофітові*,
- 3) Cryptophyta – *Криптофітові*,
- 4) Chrysophyta – *Золотисті*,
- 5) Xanthophyta – *Жовтозелені*,
- 6) Bacillariophyta – *Діатомові*,
- 7) Euglenophyta – *Евгленові*,

8) Chlorophyta – Зелені.

Базуючись на результатах вимірювань розраховуються такі альгологічні показники: загальна чисельність і біомаса окремих відділів фітопланктону, індекс сапробності, індекси Шеннону, розраховані за чисельністю і біомасою фітоплаектону.

Геоінформаційна модель якості води в системі екологічного моніторингу була розроблена на прикладі ГІС моніторингу стану річкової води української частини дельти Дунаю. Інформаційну базу ГІС складають дані спостережень за показниками якості води Дунайської ГМО і лабораторії Басейнового управління водних ресурсів Причорномор'я та нижнього Дунаю ДВА за період, починаючи з 2004 р. і дані експедиційних досліджень УКРНДІЕП. Розроблення ГІС здійснювалося на платформі ArcGIS (версія 10). Для створення блоків ГІС, які реалізують виконання додаткових функцій, використовувалася мова програмування Python (версія 2.7).

Структура геоінформаційної моделі.

При розробленні ГІС враховувалася необхідність вирішення наступних завдань:

- 1) оцінки стану річкових вод за окремими показниками і комплексної оцінки їх якості;
- 2) виявлення тенденцій зміни у часі показників якості води та короткострокове прогнозування їх значень;
- 3) оцінки впливу точкових джерел забруднення на якість річкових вод.

Виходячи із сформульованих задач була запропонована структура геоінформаційної моделі, яка передбачає наявність в підсистемі аналізу даних ГІС трьох додаткових блоків, кожний з котрих призначений для виконання функції, що забезпечують вирішення одного із зазначених вище завдань.

У блоку класифікації якості річкових вод аналітичної підсистеми ГІС передбачена комплексна оцінка якості річкових вод за допомогою трьох методик:

- 1) методика, що базується на використанні індексу забруднення води (ІЗВ) [13];
- 2) методика, що базується на використанні коефіцієнта забрудненості (КЗ) [14];
- 3) методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями якості [15].

Для прогнозування значень окремих та комплексних показників якості річкових вод в аналітичній підсистемі ГІС передбачається використання методів експоненціального згладжування. Вибір конкретного метода прогнозування (простого експоненціального згладжування, Хольта або Хольта-Винтерса) залежить від наявності або відсутності тенденції зміни у часі показника, що прогнозується. Для оцінки тенденції застосовується метод, що базується на використанні статистики

Стьюдента. Згідно даному методу часова тенденція показника розраховується як коефіцієнт при незалежній змінній a_1 у рівнянні лінійної регресійної залежності показника від часу. Для визначення значущості часової тенденції показника розраховується така статистика:

$$f = \frac{a_1}{\sigma_1}, \quad (1)$$

де σ_1 – помилка вибіркової оцінки коефіцієнта a_1 . Розраховане значення статистики f зіставляється з критичним значенням розподілу Стьюдента f_α при заданому рівні значущості α і числі ступенів свободи $n-2$ для однобічного критерію (n – кількість точок часового ряду).

У блоку оцінки впливу скидів зворотних вод на якість води в р. Дунай в аналітичній підсистемі ГС використовуються 2 критерії: локального впливу й великомасштабного впливу, аналогічних запропонованим в [16-17] критеріям для оцінки впливу точкових джерел забруднення морів.

У якості критерію локального впливу був використаний критерій KL , який характеризує забруднення річкових вод у контрольному створі. Даний критерій розраховується по формулі:

$$KL = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_i^{ГДК}, \quad (2)$$

де n – кількість інгредієнтів, що скидаються в розглянутій сукупності випусків зворотних вод; $K_i^{ГДК}$ – кратність перевищення рибогосподарських ГДК для концентрацій інгредієнтів C_i у контрольному створі скиду зворотних вод. Ця величина визначається за формулою

$$K_i^{ГДК} = \begin{cases} \frac{C_i}{ГДК_i}, & \text{при } C_i > ГДК_i \\ 1 & \text{при } C_i \leq ГДК_i \end{cases}. \quad (3)$$

На відміну від системи критеріїв, що була запропонована раніше, запропонований критерій враховує нелінійний характер відгуку екологічної системи на антропогенне навантаження і тому більш адекватно характеризує якість поверхневих вод.

Для оцінки великомасштабного впливу скидань зворотних вод на якість річкових вод пропонується використовувати критерій KM , що характеризує середню частку асимілюючої спроможності водотоку, у який здійснюється скидання зворотних вод, що витрачається на асиміляцію забруднюючих речовин від даного джерела. Для

розрахунків критерію , за умов $Q_p \gg q$ і $C_i^\phi < ГДК_i$, використовується наступна формула:

$$KM = \frac{1}{n \cdot Q_p} \sum_{i=1}^n \frac{M_i}{(ГДК_i - C_i^\phi)}. \quad (4)$$

де M_i – річні маси скидання речовин із зворотними водами, Q_p – витрата річкових вод, C_i^ϕ – фонові концентрації речовини.

Результати застосування ГІС для аналізу даних моніторингу якості води в українській частині дельти Дунаю.

Розроблена ГІС моніторингу якості води в українській частині дельти Дунаю була використана для виявлення тенденцій зміни у часі гідрохімічних і альгологічних показників, оцінки впливу точкових джерел забруднення на якість дунайської води і для комплексної оцінки якості річної води.

Результати виявлення тенденцій зміни у часі гідрохімічних і альгологічних показників за період 2004–2017 рр. наведені відповідно в роботах [18] та [19]. З урахуванням даних моніторингу за 2018-2019 роки визначені в [18-19] тенденції були скореговані. Було встановлено, що у 2014 р. відбулася зміна напрямку динаміки концентрації органічних речовин за показниками БСК-5 і ХСК. Якщо до 2013 р. спостерігалися значущі тенденції до поліпшення якості води за зазначеними показниками, то починаючи з 2014 р., вже спостерігалися значущі тенденції до погіршення якості води (рис. 1). Для показника БСК-5 величина тенденції складала $+0,26 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$ у рік; рівень значущості тенденції – 0,3%.

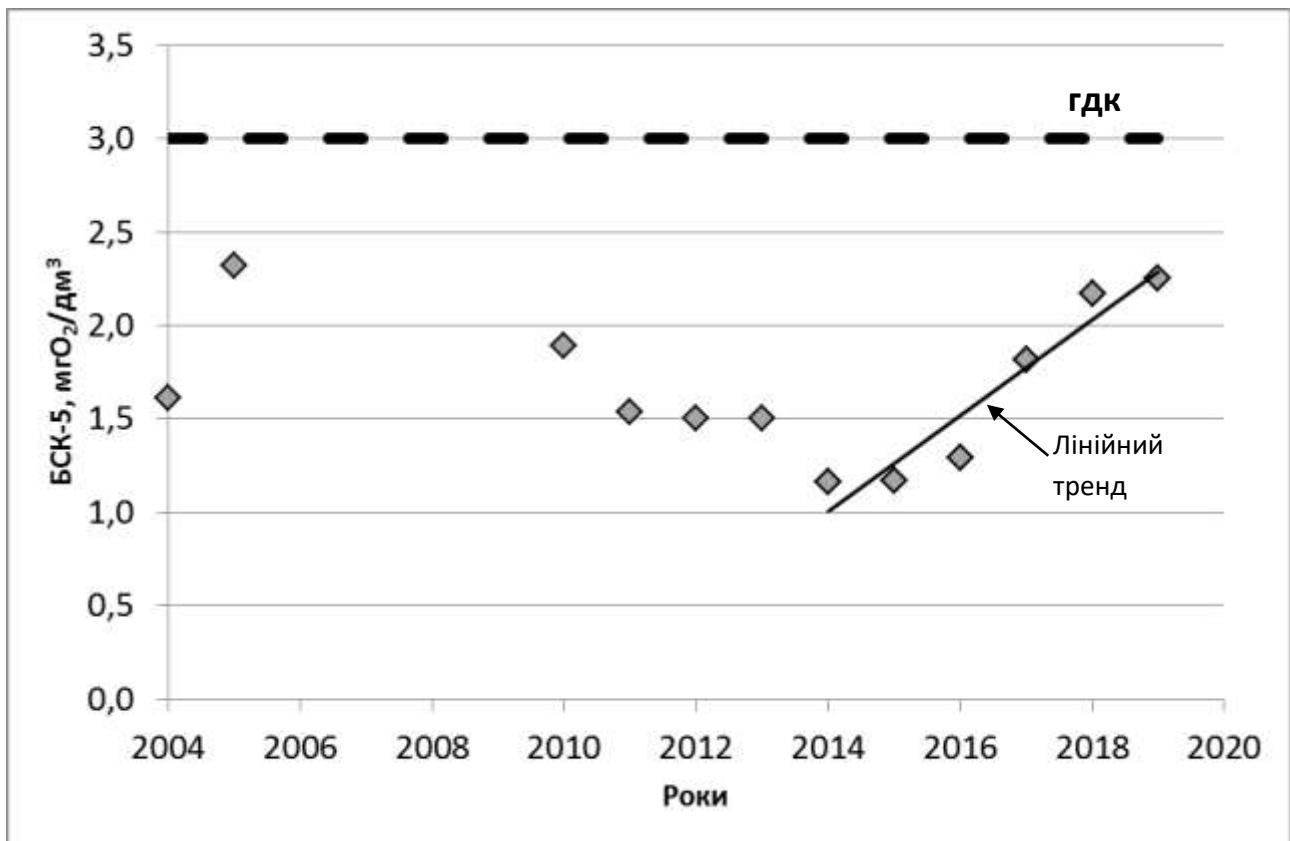


Рисунок 1 – Динаміка середньої (за всіма пунктами спостережень) концентрації органічних речовин за показником БСК-5 в українській частині дельти Дунаю за період 2004-2019 рр.

Що стосується динаміки концентрації марганцю, то у 2013 р. відбулося значне її зростання (більш ніж у 4 рази). Але починаючи з 2014 р., спостерігається значуща тенденція до поступового поліпшення якості води за даним показником ($-3,7$ мкг/дм³ у рік; рівень значущості тенденції – 6%). Проте і в 2019 р. концентрація марганцю залишалася на рівні, що перевищує рибогосподарську гранично допустиму концентрацію (ГДК) (рис. 2).

Було визначено, що виявлена в [19] значуща тенденція до зменшення індексу сапробності найімовірніше була обумовлена зменшенням концентрацій органічних речовин. Починаючи з 2014 р. значення індексу сапробності стабілізувалися. Виявлена в [19] значуща тенденція до зменшення індексу Шеннону за чисельністю фітопланктону найімовірніше була обумовлена значним зростанням концентрації марганцю. Між зазначеними показниками була встановлена щільна негативна кореляційна залежність при концентраціях марганцю менш 20 мкг/дм³ (рис. 3). Коефіцієнт кореляції складає $-0,95$; рівень значущості – 0,3%.

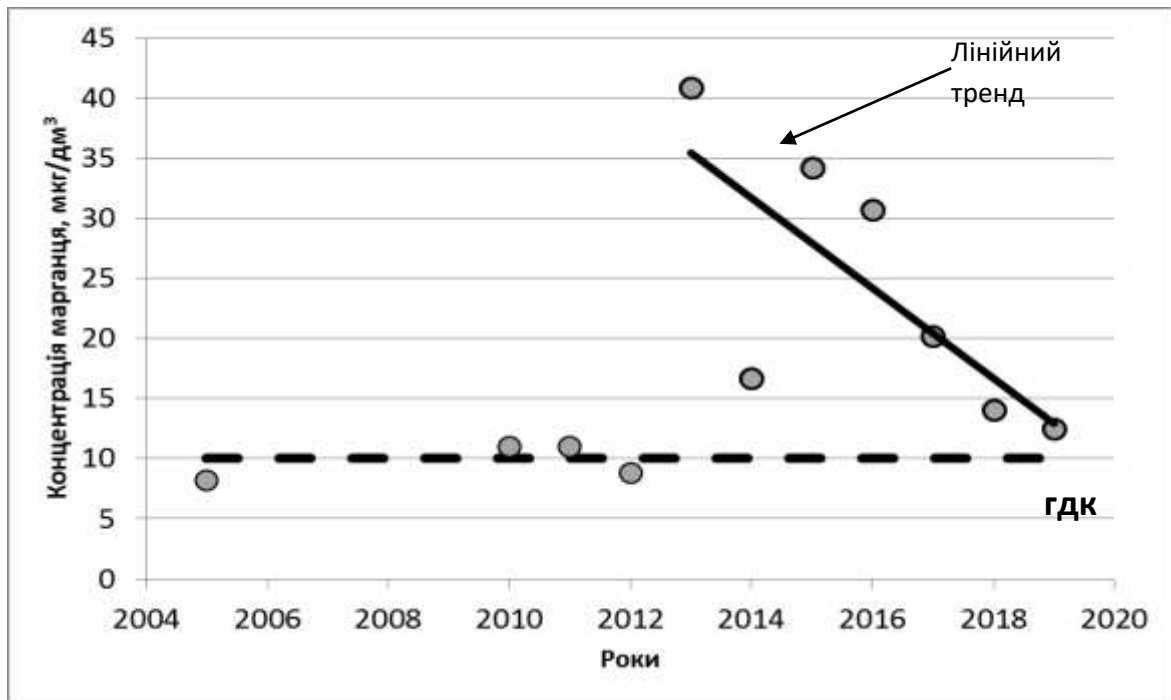


Рисунок 2 – Динаміка середньої (за всіма пунктами спостережень) концентрації марганцю в українській частині дельти Дунаю за період 2005-2019 рр.

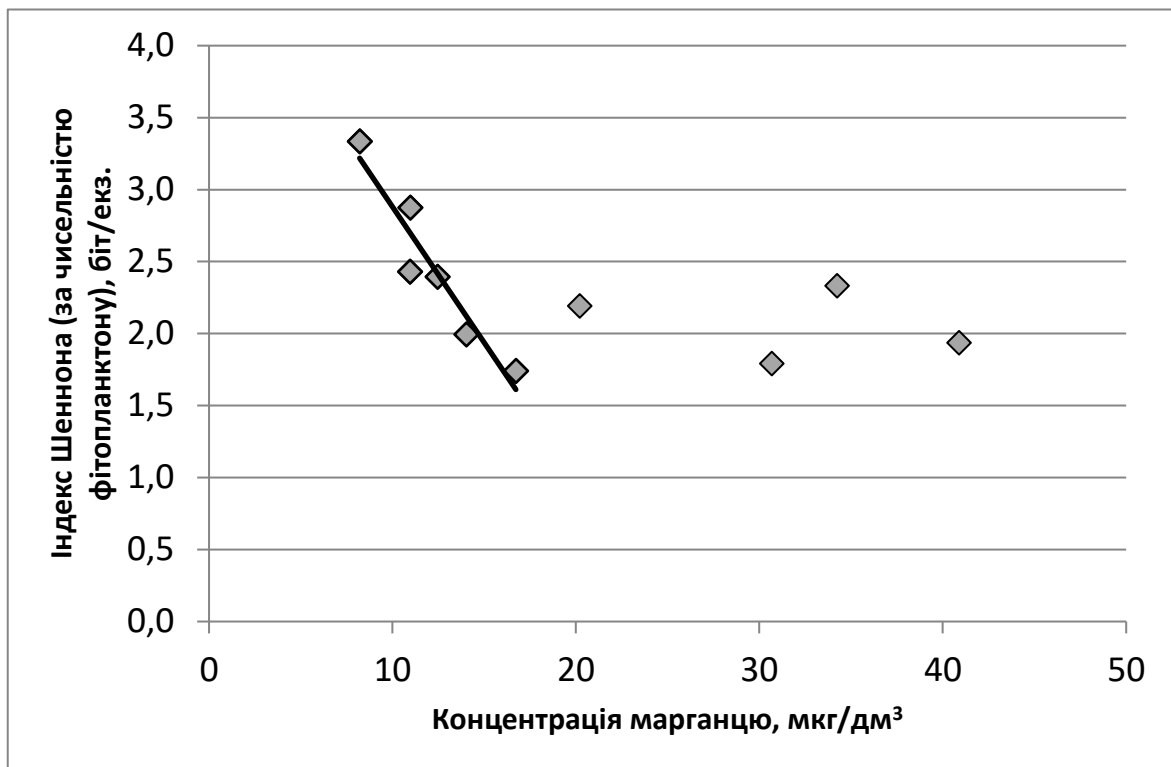


Рисунок 3 – Кореляційна залежність індексу Шеннону за чисельністю фітопланктону від концентрації марганцю

Виявлені в [18] значущі тенденції до поліпшення якості води за рештою показників (завислі речовини, розчинений кисень, азот амонійний, азот нітритний, фосфор фосфатів, хром 6) залишили свій напрям.

Результати оцінки впливу точкових джерел забруднення на якість води в рукавах дельти Дунаю розглянути в [20]. Показано що як за локальним, так і за великомасштабним критеріями впливу основним джерелом забруднення води

р. Дунай з боку України є скидання стічних вод ЦКК. За локальним критерієм вплив інших джерел забруднення є несуттєвим. За критерієм великомасштабного впливу істотний вплив на якість річкової води, крім скидання стічних вод ЦКК, виявляють також скидання стічних вод КП «Світло» м. Кілія і скидання колекторно-дренажних вод СГП Кілійського району.

Комплексна оцінка якості річкових вод в українській частині дельти р. Дунай здійснювалася за двома методиками: за критерієм коефіцієнта забрудненості (КЗ) і за Методикою екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями якості.

Розрахунки критерію КЗ для різних пунктів моніторингу й у середньому по українській частині дельти Дунаю показали, що величина цього критерію в середньому по дельті мінлася в межах від 1,22 до 1,89. Таким чином, у середньому річкові води в українській частині дельти Дунаю належали до категорії «слабко забруднені». За період досліджень спостерігалася значуща тенденція до зменшення усередненого по пунктах моніторингу критерію КЗ – величина часового тренду: $a_1 = -0,083$ од./рік; рівень значимості: $\alpha = -0,006$. Максимальне значення критерію спостерігалася в 2013 р. У цей рік на окремих пунктах моніторингу (вище і нижче м. Рені, м. Ізмаїл, вище м. Вилкове) величина КЗ перевищувала 2,5, тобто в даних пунктах річкові води належали до категорії «помірковано забруднені».

Розрахунки середнього екологічного індексу для різних пунктів моніторингу й у середньому по українській частині дельти Дунаю показали, що величина цього критерію в середньому по дельті мінлася в межах від 2,35 (у 2017 р.) до 2,72 (у 2011 р.). Таким чином, у середньому річкові води в українській частині дельти Дунаю належали до категорій «чисті» або «досить чисті». За період досліджень спостерігалася значима тенденція до зменшення усередненого по пунктах моніторингу середнього екологічного індексу – величина часового тренду: $a_1 = -0,04$ од./рік; рівень значимості: $\alpha = -0,01$. Максимальний екологічний індекс змінювався в межах від 4,28 (у 2010 р.) до 4,87 (у 2012 р.). Максимальні значення екологічних індексів також характерні для пунктів моніторингу вище та нижче м. Рені і в м. Ізмаїл.

Висновки

1. Запропонована геоінформаційна модель якості поверхневих вод в системі екологічного моніторингу, яка дозволяє виконувати в рамках геоінформаційних систем низку додаткових функцій аналізу даних. Базуючись на запропонованій

моделі, розроблена геоінформаційна система моніторингу стану річкових вод української частини дельти Дунаю.

2. Застосування розробленої геоінформаційної системи для аналізу даних моніторингу дозволило отримати такі результати:

1) виявити значущі тенденції збільшення концентрації марганцю в річковій воді і зменшення індексу Шеннона, розрахованого за чисельністю фітопланктону за період 2005-2017 рр.; встановлено, що зменшення різноманіття фітопланктону обумовлено значним зростанням чисельності синьо-зелених водоростей через збільшення концентрації марганцю;

2) ранжувати точкові джерела забруднення р. Дунай, діючі з боку України, за ступеням їх впливу на якість річкової води; встановлено, що як за локальним, так і за великомасштабним критеріями, найбільший вплив на якість води в р. Дунай чинить скид зворотних вод Ізмаїльського ЦКК;

3) виконати комплексну оцінку (за критерієм КЗ) якості річкових вод в пунктах спостережень; показано, що за критерієм КЗ у середньому річкові води в українській частині дельти Дунаю належали до категорії «слабко забруднені»; за період досліджень спостерігалася значуща тенденція до зменшення усередненого по пунктах моніторингу критерію КЗ;

4) виконати екологічну класифікацію якості річкових вод в пунктах спостережень; показано, що за середнім екологічним індексом річкові води в українській частині дельти Дунаю у середньому належали до категорій «чисті» або «досить чисті»; за період досліджень спостерігалася значуща тенденція до зменшення середнього екологічного індексу; максимальні значення екологічного індексу спостерігалися у пунктах моніторингу вище і нижче м. Рені та в м. Ізмаїл.

Литература

1. Водна Рамкова Директива ЄС (ВРД) – Директива 2000/60/ЄС Європейського Парламенту і Ради «Про встановлення рамок діяльності Співтовариства в галузі водної політики» від 23 жовтня 2000 року [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/994_962/
2. Water Quality in the Danube River Basin – 2006 / Ed. I. Liška. – ICPDR – International Commission for the Protection of the Danube River. – TNMN – Yearbook: Vienna, 2006 – 39 p.
3. Danube River Basin Geographic Information System [Електронний ресурс] URL: <https://www.danubegis.org/>.

4. Інтерактивна карта забрудненості річок в Україні на основі даних Державного агентства водних ресурсів «Чиста вода». [Електронний ресурс] URL: <https://texty.org.ua/>.
5. В.Г. Дробнич, С.С. Поп, Р.В. Пересоляк, О.Т. Цапулич, В.М. Карпюк. ГІС екологічного моніторингу та комплексного аналізу стану навколишнього природного середовища в Закарпатській області. Науковий вісник Ужгородського університету. Серія "Географія. Землеустрій. Природокористування". Вип. 1. 2013. С. 166-176.
6. Жирнов П. В. Геоінформаційна екологічна модель сучасного стану поверхневих вод р. Сіверський Донець // Геоінформаційні аспекти природокористування. GEOINFORMATIKA, 2015, № 1 (53). С. 70-76.
7. The Donbas Environment Information System. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://deis.menr.gov.ua/>.
8. Sayyad, Gholamabbas, Lida Vasel, Ali Asghar Besalatpour, Bahram Gharabaghi and Golmar Golmohammadi. 2015. "Modeling Blue and Green Water. Resources Availability in an Iranian Data Scarce Watershed Using SWAT." Journal of Water Management Modeling C391. doi:10.14796/JWMM.C391.
9. ГИС-моделирование процессов загрязнения речных вод металлами [Електронний ресурс] / В. В. Брук, В. С. Кресин, Е. Л. Макаровский // Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки. - 2013. - Вип. 35. - С. 40-50. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ponp_2013_35_7.
10. Державне агентство водних ресурсів України. Офіційний сайт. Сторінка «Відкриті дані». [Електронний ресурс] URL: <https://www.davr.gov.ua/site/material?lang=ua%2F&psevd=https%3A%2F%2Fdavr.gov.ua%2Fvidkrdan>.
11. Васенко О. Г., Станкевич П. П. Программа комплексного экологического мониторинга окружающей природной среды при возобновлении глубоководного судового хода Дунай – Черное море: опыт реализации современных принципов мониторинга качества вод в Украине. // Міжнародна науково-практична конференція «Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення», (12-16 вересня 2005 р.) м.Алушта, АР Крим, Україна, Збірник наукових статей у двох томах, Харків – 2005, – С.237-246.
12. Результати комплексного екологічного моніторингу довілля під час експлуатації глибоководного судового ходу р. Дунай-Чорне море у 2017 році / О. Г. Васенко та ін. Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення. Зб. наук. ст. XIV Міжнародної

науково-практичної конференції (м. Харків, 10-14 вересня 2018 р). Харків: Райдер, 2018. – С. 87-91.

13. Методические рекомендации по формализованной комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям. – М: Госкомгидромет СССР, 1988. – 8 с.

14. Рекомендации по применению обобщенного показателя для оценки уровня загрязненности природных вод – коэффициента загрязненности (КЗ): Утв. Минводхозом СССР, постановление № 13-3-05/532.

15. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / В.Д. Романенко, В.М. Жукинський, О.П. Оксіюк, та ін. – К.: СИМВОЛ-Т, 1998. – 28 с.

16. Кресін В. С., Брук В. В., Баранік В. О. Критерії оцінки впливу точкових джерел забруднення на стан морського середовища Азовського моря// Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки: зб. наук. пр./УкрНДІЕП. - Х. : Факт, 2004. С. 66—78.

17. Utkina K., Kresin V., Brook V., Lisnyak A. Integrated criteria for ranking Black Sea land-based point pollution sources. *Folia geographica*. 2017. Volume 59, No. 2. P.35-49.

18. Васенко А. Г., Брук В. В., Свиридов Ю. В. Геоинформационная система для анализа данных экологического мониторинга украинской части дельты Дуная. *Science Review*. 4(21), May 2019. Warsaw: RS Global Sp. z O.O. DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_sr/31052019/6489.

19. 6. A.Vasenko, V. Brook, Yu. Svyrydov, H. Milanich. GIS-assisted revealing of spatio-temporal dynamics in phycological indices of the Dunable river delta //Eastern – European journal of enterprise technologies 6/10(108) 2020p. С. 6-13. Doi:10.15587/1729-4061.2020.219556

20. А. Г. Васенко, Е. А. Цитлишвили, Ю. В. Свиридов, В. В. Брук. Оценка влияния точечных источников загрязнения на качество воды украинской части дельты Дуная/ Вісник Хмельницького Національного університету, 2020, № 1 (281) –с 57-62.

References

1. *Vodna Ramkova Dyrektyva YeS (VRD) – Dyrektyva 2000/60/YeS Yevropejs`kogo Parlamentu i Rady «Pro vstanovlennya ramok diyal`nosti Spivtovarystva v galuzi vodnoyi polityky`» vid 23 zhovtnya 2000 roku [Elektronnyj resurs] – Rezhym dostupu: http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/994_962/*

2. *Water Quality in the Danube River Basin – 2006 / Ed. I. Liška. – ICPDR – International Commission for the Protection of the Danube River. – TNMN – Yearbook: Vienna, 2006 – 39 p.*
3. *Danube River Basin Geographic Information System [Elektronnyj resurs] URL: <https://www.danubegis.org/>.*
4. *Interaktyvna karta zabrudnenosti richok v Ukrayini na osnovi danyx Derzhavnogo agentstva vodny`x resursiv «Chysta voda». [Elektronnyj resurs] URL: <https://texty.org.ua/>.*
5. *V.G. Drobny`ch, S.S. Pop, R.V. Peresolyak, O.T. Czapuly`ch, V.M. Karpyuk. GIS ekologichnogo monitory`ngu ta kompleksnogo analizu stanu navkoly`shn`ogo pry`rodnogo seredovy`shha v Zakarpats`kij oblasti. Naukovy`j visny`k Uzhgorods`kogo universy`tetu. Seriya "Geografiya. Zemleustrij. Pryrodokory`stuvannya". Vy`p. 1. 2013. S. 166-176.*
6. *Zhy`rnov P. V. Geoinformacijna ekologichna model` suchasnogo stanu poverxnevny`x vod r. Sivers`ky`j Donecz` // Geoinformacijni aspekty` pry`rodokory`stuvannya. GEOINFORMATIKA, 2015, # 1 (53). S. 70-76.*
7. *The Donbas Environment Information System [Elektronnyj resurs] – Rezhym dostupu: <http://deis.menr.gov.ua/>.*
8. *Sayyad, Gholamabbas, Lida Vasel, Ali Asghar Besalatpour, Bahram Gharabaghi and Golmar Golmohammadi. 2015. "Modeling Blue and Green Water. Resources Availability in an Iranian Data Scarce Watershed Using SWAT." Journal of Water Management Modeling C391. doi:10.14796/JWMM.C391.*
9. *GY`S-modelyrovanye processov zagryazneny`ya rechny`x vod metallamy [Elektronnyj resurs] / V. V. Bruk, V. S. Kresy`n, E. L. Makarovsky`j // Problemy oxorony navkolyshnogo pry`rodnogo seredovy`shha ta ekologichnoyi bezpeky`. - 2013. - Vy`p. 35. - S. 40-50. - Rezhym dostupu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ponp_2013_35_7.*
10. *Derzhavne agentstvo vodnyx resursiv Ukrayiny. Oficijny`j sajt. Storinka «Vidkryti dani». [Elektronnyj resurs] URL: <https://www.davr.gov.ua/site/material?lang=ua%2F&psevd=https%3A%2F%2Fdavr.gov.ua%2Fvidkrdan>.*
11. *Vasenko O.G., Stankevych P.P. Programma kompleksnogo ekologicheskogo mony`tory`nga okruzhayushhej pryrodnoj sredy pry vozobnovleny`y glubokovodnogo sudovogo xoda Dunaj – Chernoe more: opyt realizacy`y` sovremenny`x pryncypov mony`torynga kachestva vod v Ukrayne. // Mizhnarodna nauково-praktychna konferenciya «Ekologichna bezpeka: problemy i shlyaxy vyrishennya», (12-16 veresnya 2005 r.) m. Alushta, AR Krym, Ukrayina, Zbirnyk naukovyx statej u dvox tomah, Xarkiv – 2005, – S.237-246.*
12. *Rezul`taty` kompleksnogo ekologichnogo monitory`ngu dovkillya pid chas ekspluatatsiyi gly`bokovodnogo sudovogo xodu r. Dunaj-Chorne more u 2017 roci / O. G. Vasenko ta in. Ekologichna bezpeka: problemy i shlyaxy vyrishennya. Zb. nauk. st. XIV Mizhnarodnoyi*

naukovo-prakty`chnoyi konferenciyi (m. Xarkiv, 10-14 veresnya 2018 r). Xarkiv: Rajder, 2018. – С. 87-91.

13. *Metodycheskye rekomendacy`y po formalizovannoy kompleksnoj ocenke kachestva poverxnostnyx y morskyx vod po gidroxymycheksym pokazatelyam. – M: Goskomgy`dromet SSSR, 1988. – 8 s.*

14. *Rekomendacy`y` po pryomeneny`yu obobshhennogo pokazatelya dlya ocenky` urovnya zagryaznennosty` pryrodnix vod – koэфficyenta zagryaznennosty` (KZ): Utv. My`nvodhozom SSSR, postanovleny`e # 13-3-05/532.*

15. *Metody`ka ekologichnoyi ocinky` yakosti poverxnevuy`x vod za vidpovidny`my` kategoriyamy` / V.D. Romanenko, V.M. Zhuky`ns`ky`j, O.P, Oksiyuk, ta in. – K.: SY`MVOL-T, 1998. – 28 s.*

16. *Kresin V. S., Bruk V. V., Baranik V. O. Kryteriyi ocinky vplyvu tochkovyx dzherel zabrudnennya na stan mors`kogo seredovy`shha Azovs`kogo morya// Problemy` oxorony` navkolyshnogo pryrodnogo seredovy`shha ta ekologichnoyi bezpeky`: zb. nauk. pr./UkrNDIEP. - X.: Fakt, 2004. S. 66—78.*

17. *Utkina K., Kresin V., Brook V., Lisnyak A. Integrated criteria for ranking Black Sea land-based point pollution sources. Folia geographica. 2017. Volume 59, No. 2. P.35-49.*

18. *Vasenko A. G., Bruk V. V., Svy`ry`dov Yu. V. Geoy`nformacy`onnaya sy`stema dlya analy`za dannyx` ekologiy`cheskogo mony`tory`nga ukray`nskoj chasty` del`ty Dunaya. Science Review. 4(21), May 2019. Warsaw: RS Global Sp. z O.O. DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_sr/31052019/6489.*

19. *6. A.Vasenko, V. Brook, Yu. Svyrydov, H. Milanich. GIS-assisted revealing of spatio-temporal dynamics in phycological indices of the Dunable river delta //Eastern – European journal of enterprise technologies 6/10(108) 2020p. C. 6-13. Doi:10.15587/1729-4061.2020.219556*

20. *A. G. Vasenko, E. A. Cy`tlyshvyly`, Yu. V. Svyrydov, V. V. Bruk. Ocenka vlyyany`ya tochechnyx ystochnykov zagryazneny`ya na kachestvo vody ukraynskoj chasty del`ty Dunaya/ Visny`k Xmel`ny`cz`kogo Nacional`nogo universy`tetu , 2020, # 1 (281) –с 57-62.*

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Васенко Олександр Георгійович – кандидат біологічних наук, доцент. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УКРНДІЕП, м. Харків; тел.: (057)702-15-85, e-mail: vasenko@niiep.kharkov.ua,
Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-8658-4144>

Васенко Александр Георгиевич – кандидат биологических наук, доцент. Научно-исследовательское учреждение «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем», УкрНИИЭП., г. Харьков; тел.: (057)702-15-85, e-mail: [:vasenko@niiep.kharkov.ua.](mailto:vasenko@niiep.kharkov.ua), Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-8658-4144>

Vasenko Oleksandr Heorhiyovych – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Ukrainian Research Institute of Environmental Problems, USRIEP. Kharkiv; phone: (057)-702-15-85, e-mail: [vasenko@niiep.kharkov.ua.](mailto:vasenko@niiep.kharkov.ua), Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-8658-4144>

Брук Володимир Вікторович – кандидат технічних наук. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УкрНДІЕП, м. Харків; тел.: (057)702-15-94, e-mail: morlab@ukr.net.

Брук Владимир Викторович – кандидат технических наук. Научно-исследовательское учреждение «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем», УкрНИИЭП, г. Харьков; тел.: (057)702-15-94, e-mail: morlab@ukr.net.

Brook Volodimir Victorovich – Candidate of Technical Sciences. Research Institute of Environmental Problems, USRIEP, Kharkiv; phone: (057)702-15-94, e-mail: morlab@ukr.net.

Свиридов Юрій Володимирович – аспірант, провідний інженер лабораторії досліджень екологічної стійкості об'єктів довкілля та природних територій особливої охорони. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УкрНДІЕП, м. Харків; тел.: (057)702-62-23

Свиридов Юрий Владимирович – аспирант, ведущий инженер лаборатории исследований экологической устойчивости объектов окружающей среды и природных территорий особой охраны. Научно-исследовательское учреждение «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем», УкрНИИЭП, г. Харьков; тел.: (057)702-62-23

Sviridov Yuriy Volodimirovich – postgraduate student, provincial engineer of laboratory for the development of environmental protection and natural areas of special protection. Research Institute of Environmental Problems, USRIEP, Kharkiv; phone: (057)702-62-23

О. Г. ВАСЕНКО, О. Ю. ІЄВЛЄВА, Д. Ю. ВЕРНИЧЕНКО-ЦВЕТКОВ,

Г. Ю. МІЛАНІЧ, А. Ю. МЕЛЬНІКОВ

РЕЗУЛЬТАТИ КОМПЛЕКСНОГО ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ДОВКІЛЛЯ УКРАЇНСЬКОЇ ЧАСТИНИ ДЕЛЬТИ ДУНАЮ У 2020 РОЦІ

У статті наведені результати моніторингових досліджень в районі Нижнього Дунаю за 2020 рік за низкою напрямів: гідрологія, гідрохімія, гідробіологія. Проведено екологічну оцінку якості води української частини р. Дунай. Проаналізовані космічні знімки району досліджень, дана оцінка процесів дельтоутворення.

Ключові слова: моніторинг, дельта Дунаю, транскордонний вплив, екологічна оцінка, якість води.

Приводятся результаты мониторинговых исследований в районе Нижнего Дуная 2020 года по ряду направлений: гидрология, гидрохимия, гидробиология. Проведена экологическая оценка качества воды украинской части р. Дунай. Проанализированы космические снимки района исследований, дана оценка процессов дельтообразования.

Ключевые слова: мониторинг, дельта Дуная, трансграничное воздействие, экологическая оценка, качество воды.

The results of monitoring studies in the Lower Danube Region in 2020 in a number of areas: hydrology, hydrochemistry, hydrobiology are given in the article. An ecological assessment of the water quality of the Ukrainian part of the Danube River was carried out. The Space images of the research area have been analyzed, and The delta formation processes have been assessed.

Key words: monitoring, Danube Delta, transboundary impact, ecological assessment, water quality

З метою оцінки впливу робіт під час експлуатації глибоководного суднового ходу (ГСХ) р. Дунай - Чорне море програмою моніторингу у 2020 р., як і у попередні роки, були передбачені такі основні види робіт:

- проведення та обробка результатів регулярного гідрологічного та гідрохімічного моніторингу на пунктах фонових спостережень, в районі виконання гідротехнічних робіт та в зоні можливого впливу ГСХ Дунай-Чорне море на навколишнє природне середовище;

- проведення та обробка результатів контрольних вимірів якості води та донних відкладів при проведенні днопоглиблювальних робіт на морському підхідному каналі ГСХ та у районі морського відвалу ґрунту;

- оцінка кумулятивних впливів судноплавства на стан наземних та водних екосистем;

- оцінка стану акваторій, що використовуються для нересту риб та для гніздування і харчування птахів;

- проведення комплексних експедиційних обстежень якості вод та стану компонентів навколишнього природного середовища. Комплексні експедиційні обстеження включають гідрологічні, гідрохімічні та гідробіологічні дослідження морської частини ГСХ, а також прибережних екосистем на території Дунайського біосферного заповідника;

- моніторинг стану іхтіофауни, оцінка негативного впливу на рибні ресурси при експлуатації суднового ходу Дунай-Чорне море;

- щоквартальні розрахунки збитків, нанесених водному середовищу та рибним запасам та розмір компенсаційних платежів, оцінка залишкової ґрунтоємності гідровідвалів (морського тощо).

- попередній розрахунок збитків, що завдаються компонентам навколишнього природного середовища, внаслідок експлуатаційних робіт на трасі морського підхідного каналу ГСХ р. Дунай-Чорне море та при складуванні вилученого ґрунту на 2021 р.;

- моніторинг рослинних та тваринних угруповань берегової лінії та плавнів Дунайського біосферного заповідника при експлуатації ГСХ Дунай-Чорне море;

- аналіз та узагальнення результатів спостережень, розробка прогнозів зміни стану навколишнього природного середовища; оцінка можливого транскордонного впливу експлуатаційних днопоглиблювальних робіт та судноплавства;

- розроблення рекомендацій щодо попередження та мінімізації впливів експлуатації ГСХ на навколишнє природне середовище, у т. ч. у транскордонному контексті.

Моніторингові роботи були спрямовані на відстеження впливів (прямих та опосереднених) експлуатаційного днопоглиблення в районі морського підхідного

каналу (МПК) на екологічний стан узмор'я, а також інших факторів природного і антропогенного характеру, що формують ситуацію в досліджуваному регіоні (гідрологічний режим, об'єми стоку води та наносів, гідрохімічний режим стоку Дунаю, динаміка морського краю дельти, стан кормової бази риби, тощо). Досліджувався також стан прилеглих до району проведення робіт охоронних територій, біорізноманіття, наявність рідкісної флори та фауни, а також отримували необхідну інформацію щодо транскордонних впливів у відповідності до вимог Конвенції Еспоо.

До виконання робіт головним виконавцем (УкрНДІЕП Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України) були залучені наступні організації: Дунайська гідрометеообсерваторія (ДГМО), Одеський центр Південного НДІ морського рибного господарства та океанографії (ОдЦПівденНІРО), Державне підприємство «ЧорноморНДІпроект», Дунайський біосферний заповідник НАНУ (ДБЗ), Державна установа «Інститут морської біології» (ІМБ) НАНУ, Інститут гідробіології Національної академії наук України (ІГБ).

Стисла характеристика гідрометеорологічних умов

2020 рік був аномально теплим та сухим. Середня за рік температура повітря склала 13,4°C, що перевищує середнє багаторічне значення на 2,4 °C і є найбільшою середньорічною температурою повітря за період спостережень з 1945 по 2020 роки. Сума опадів за рік склала 357,8 мм, тобто 77,8% від багаторічної норми. Найбільший дефіцит опадів відмічався з січня по квітень включно. 2020 рік відрізнявся вкрай низькою водністю та був самим маловодним за останні 30 років. Середній річний рівень води на посту Рені був на 74 см нижче норми. Об'єм стоку води на замикаючому створі Дунаю (54 миля) склав 156 куб. км, що відповідає середній річній витраті 4940 куб. м/с. Модульний коефіцієнт річного стоку дорівнює 0,76. Основною причиною екстремально низької водності в гирлової області Дунаю у 2020 році був аномальний сезонний розподіл стоку води, а саме - практично повністю відсутнє весняне водопілля. В морську Кілійську дельту (гідроствор 20 км) за 2020 рік поступило 75,7 куб. км води (48,5% водного стоку Дунаю) при середній річній витраті 2390 куб. м/с. По трасі ГСХ через рукав Бистрий у море було винесено 29,8 куб. км води або 19,1% загального припливу у вершину дельти. Всього за 2020 рік в Чорне море поступило 8,97 млн. тон завислих наносів Дунаю, з яких 3,90 млн. тон, або 43,5% від загальної кількості пройшло по рукавам морської Кілійської дельти Дунаю. По рукаву Бистрому пройшло 1,74 млн. тон, або 19,4% стоку наносів Дунаю. Приблизний розрахунок характеристик стоку наносів в гирлі рукава Бистрого надав

наступні результати. В 2020 році сума завислих та рухомих наносів склала 1,91 млн. тон, об'єм яких - 1,42 млн. м³.

Аналіз багаторічних матеріалів вимірів витрат води та завислих наносів показує, що на цей час у вершині дельти Дунаю зберігається тенденція зменшення водоносності рукавів Кілійської системи, яка пов'язана з транскордонним впливом гідротехнічних робіт в румунській частині дельти по випрямленню рукава Георгіївській. При цьому частка стоку води та наносів рукава Бистрий за останні роки залишаються відносно стабільними.

Направленість процесів дельтоутворення, зокрема висування морського краю дельти або навпаки розмив його ділянок визначається цілою низкою факторів що впливають, найбільш важливими серед них є об'єм стоку води та наносів, характер проходження водопілля та паводків і вітро-волновий режим гирлового узмор'я. Різкі зміни, а саме стрімке висування ділянок морського краю дельти, зазвичай пов'язані з проходженням екстремальних водопілля та паводків. 2020 рік відзначився аномальним низьким характером річного стоку, тобто хвилі весняного водопілля не було, а максимальні річні витрати спостерігались в липні.

Колишній острів в гирлі Потаповського рукава, що в північній частині примкнув до материкового берегу та перетворився на праву берегову косу, поступово розмивається під впливом переважаючих північно-східних вітрів та пов'язаних хвиль. Водночас триває поступове, на 5-10 метрів за рік, просування її південного краю, що протягом трьох останніх десятиріч заблокував ліве, а тепер й праве гирло рукава Гнеушева, фактично утворивши лагуну, яка приймає рукави Гнеушев, Анкудинів та Полуденний з одним виходом до моря.

Пташина коса, яка утворилася між гирлами Бистрого й Восточного рукавів в двохтисячних, закономірно повторює долю зазначеної вище Потапівської коси: в її північній частині сформувався мілководний кут. Північно-східний край коси, що свого часу стрімко висувався, зазнає поступового розмиву. Ріст коси на південь, що поступово блокувала гирло рукава Восточного зупинився в 2018 році та з тих пір спостерігається її незначний розмив. Решта колишньої лагуни між Пташиною косою та берегом заповнилася наносами, таким чином практично завершивши черговий етап висування морського краю Кілійської дельти.

Аналіз матеріалів спостережень за динамікою морського краю дельти(МКД) в 2020 році показує, що вплив стоку води та наносів на процеси акумуляції та абразії морського берегу був мінімальним а всі цьогорічні зміни відбувались переважно під впливом вітро-хвильового режиму.

Результати гідрохімічних досліджень

Гідрохімічний режим р. Дунай залежить, в основному, від змін гідрологічних факторів: водності, температури води та кількості завислих речовин. Значні швидкості течії та турбулентність потоку сприяє однорідності хімічних показників та їх відносно обмеженої амплітуди.

В порівнянні з багаторічними значеннями відмічається тенденція до зменшення кількості завислих речовин та концентрації розчинених газів. Зменшення концентрацій органічних речовин, фосфорних сполук та кремнію в порівнянні з багаторічними величинами було характерним для звітного періоду. Значення БСК-5 слугують непрямим доказом помірного забруднення дунайської води. На практично однаковому рівні в порівнянні з багаторічними концентраціями у воді р. Дунай знаходились прозорість, рН, азотні сполуки. В звітному періоді зменшилась кількість відібраних проб, в яких було відмічене перевищення ГДК по азоту нітритному.

Дунайська вода має сталий склад головних іонів, з яких у дунайській воді переважають гідрокарбонати, кальцій та сульфати. Зміни концентрацій головних іонів знаходяться в межах середніх багаторічних. У травні в воді рук. Бистрий відмічалось збільшення концентрацій головних іонів, що є наслідком впливу морських вод. Збільшення концентрацій у травні викликало деяке перевищення концентрацій головних іонів над їх середніми багаторічними значеннями.

Середні концентрації СПАР, нафтопродуктів, фенолу та хрому шестивалентного залишались на рівні багаторічних концентрацій. Перевищення ГДК відмічалось в поодиноких пробах нафтопродуктів, в 66% відібраних проб для подальшого визначення фенолу, майже в 100% - хрому шестивалентного.

Всього за звітний період з водним стоком Дунаю в Чорне море поступило більше 554 тис. тон біогенних речовин. При цьому майже 94% припадає на сполуки кремнію та нітратного азоту.

За нашими даними, забруднення вод р. Дунай металами мало наступні характеристики:

- валовий вміст заліза у воді, як і у попередні роки, перевищував значення як ГДК_{р.г.} так і ГДК_{к.пб.} протягом усього року на усіх пунктах спостереження; залізо має найбільші перевищення з досліджуваних металів;

- за валовим вмістом марганцю також спостерігались перевищення ГДК_{р.г.}, також мали місце разові випадки перевищень ГДК_{к.пб.} за валовим вмістом (до 1,6 ГДК_{к.пб.});

- валовий вміст цинку в більшості проб був мінімальним і не перевищував ГДК, але спостерігались епізодичні перевищення до 3,8 ГДК_{р.г.} за валовим вмістом;
- валовий вміст нікелю в переважній більшості проб не перевищував ГДК;
- валовий вміст міді впродовж року змінювався по окремим пунктам спостережень валовий вміст – від 0,001 мг/дм³ до 0,091 мг/дм³, перевищень ГДК_{к.пб.} не спостерігалось.

Високий вміст металів у донних відкладах спостерігається по всій українській частині річки. Однак у 2020 році відмічається зменшення масової частки досліджуваних металів у донних відкладах порівняно з попереднім роком.

Співставлення результатів моніторингу з рекомендованими міжнародними нормами TNMN і JDS щодо вмісту металів показують, що у 2020 році перевищення нормативів мали місце для вмісту нікелю та міді у донних відкладах та за валовим вмістом міді у воді. Виявлені факти порушень нормативів мали разовий характер і не перевищували 1,5 ГДК у донних відкладах. Опосереднені по ділянці річки результати спостережень, як по окремим сезонам, так і в цілому за рік не перевищують вищевказаних нормативів вмісту металів у воді.

Результати гідробіологічних досліджень

Дослідження стану гідробіологічних угруповань української частини дельти Дунаю виконувались нами по трасі суднового ходу Дунай – Чорне море у червні, липні та жовтні 2020 року. Всього за період експедиційних досліджень було відібрано 240 проб води та донних відкладів для біологічного та хімічного аналізу.

У ході аналізу 36 альгологічних проб, відібраних у 12 створах р. Дунай під час трьох експедиційних виїздів, було виявлено 176 видових і внутрішньовидових таксонів з 8 відділів прісноводного фітопланктону. Найбільшого видового різноманіття – близько половини загальної кількості видів досягали типові для річкового фітопланктону представники відділу Діатомові - у жовтні (67,4 % від загальної кількості видів) та червні (близько 48 % від загальної кількості видів), а у липні кількість виявлених видів серед зелених (Chlorophyta) переважала діатомові на 3 види й становила 36,5 % від загальної кількості видів. Планктонні водорості з відділу Зелені (Chlorophyta) посідали друге місце у червні, складаючи близько половини кількості виявлених видів діатомових, та жовтні, коли їх різноманіття було меншим у 6 разів. В інших відділах фітопланктону видове різноманіття було значно меншим, особливо у жовтні. Вперше за період досліджень у жовтні 2020р. були виявлені 2 нові для даної ділянки види діатомових: *Stauroneis legumen* Ehr. (вище

Кілії) і *Amphora ovalis* var. *lybica* (Ehr.) Cl. (рук. Бистрий 0 км), а у липні – представник зелених *Ankyra ancora* f. *spinosa* (Korsch.) Fott (рук. Старостамбульський 4 км), які зустрічались поодинокі. В цілому кількісний та якісний склад фітопланктону досліджених створів української частини р. Дунай відповідав сезонам відборів і типу водойм. Більшість видів-індикаторів якості води належали до β -мезосапробної зони («помірно забруднені води»).

Зоопланктон досліджених ділянок української частини дельти р. Дунай за видовим складом і показниками кількісного розвитку характеризувався як досить бідний. Під час трьох експедиційних виїздів загальне видове різноманіття перебувало на рівні від 11 до 13 таксонів, за кількістю видів у створах – від повної відсутності до 8 видів. За індексом сапробності, який перебував на рівні 1,5-18, якість води у період від червня до жовтня 2020 р. покращувалась, але залишалась головним чином у межах β' -мезосапробної зони, II класу 3 категорії якості вод: добрі за станом, «досить чисті» за ступенем чистоти/забрудненості.

Результати аналізу проб зообентосу свідчать про коливання за різноманіттям і кількісними показниками. Це може свідчити про неоднорідність місць мешкання та нестабільність умов існування бентосних організмів, що обумовлено, в першу чергу, природними факторами (структура ґрунтів, швидкість течії тощо), а не антропогенним впливом - проведенням днопоглиблювальних робіт.

Згідно з результатами проведених досліджень пігментних показників мікродоростей фітопланктону й донних відкладів можна зазначити, що за класифікацією, яка була запропонована Міжнародною комісією захисту Дунаю [1], всі відібрані проби за вмістом хлорофілу «а» фітопланктону відповідали 1 класу якості.

За вмістом хлорофілу «а» фітопланктону відповідно до класифікації, запропонованої УКРНДІЕП [2], води української ділянки дельти Дунаю у середньому можна віднести домезотрофних із переходом у оліготрофні, за класифікацією ІГБ [3] – до оліготрофних із переходом у оліго-мезотрофні, згідно з класифікацією за індексом TSI [4] – до оліго-мезотрофних із переходом у мезотрофні. Значення концентрацій хлорофілу «а» донних відкладів (які були представлені переважно піщанистими мулами) у середньому відповідали межі мезотрофних і евтрофних вод. Таким чином, можна вважати, що за пігментними показниками досліджені води в цей період у цілому були близькі до мезотрофних.

За результатами багаторічних спостережень відзначені загальні тенденції до зниження концентрацій фотосинтетичних пігментів фітопланктону й збільшення вмісту цих пігментів у донних відкладах з наближенням до морського краю дельти,

що може свідчити про переважання процесів осідання над процесами розвитку фітопланктону, які у 2020 р. були помітні в осінній період.

У 2020 році відзначено високу частку феопігментів у пігментному комплексі як донних відкладів, так і фітопланктону, що може свідчити про доволі інтенсивний розклад біомаси мікробіодоростей.

Узагальнюючи матеріали досліджень 2020 року можна зазначити, що загалом суттєвих порушень в стані екосистеми р. Дунай за гідробіологічними показниками не виявлено.

Екологічна оцінка якості води української частини Дунаю проведена за даними гідрохімічного моніторингу, що отримані під час регулярних спостережень ДГМО та власних експедиційних досліджень. Оцінка якості вод здійснювалася за нормативами [5-7] гідрохімічних показників, за методикою екологічної оцінки [8], а також за нормами міжнародної програми моніторингу Дунаю TNMN [1].

Екологічна оцінка стану вод за [8] здійснювалася таким чином, що блокові індекси отримувалися по кожному пункту й часу відбору за двома варіантами: шляхом усереднення категорій показників у блоці та шляхом вибору частинного індексу за окремим показником, що відповідав найгіршій у відповідному блоці категорії. Індекс загальної екологічної оцінки знаходився як середнє блокових індексів. Тобто, оцінка проводилася за середніми величинами й за середніми з найгірших величин. Визначення екологічної оцінки якості води проводилося за трьома групами показників:

- компоненти сольового складу: (гідрокарбонати, хлориди, сульфати, іони магнію та кальцію);
- показники трофо-сапробіологічного стану (завислі речовини, розчинений кисень, рН, розчинені органічні речовини (за показником БСК5), сполуки головних біогенних елементів (азот амонійний, азот нітратний, азот нітритний, фосфати));
- специфічні речовини (нафтопродукти, СПАР, феноли).

Оцінювання за індексами загальної екологічної оцінки у 2020 році виявило такі результати:

- за середніми рівнями показників (рис. 1), води української ділянки дельти Дунаю за екологічною оцінкою віднесені до 2 категорії з переходом у 3 (чисті з переходом у достатньо чисті). Водночас, за середніми з найгірших рівнів – до 4 категорії (слабко забруднені). Найгірша якість відзначена за блоком трофо-сапробіологічного стану

вод. Найгірші частинні індекси оцінки відзначені за такими показниками, як прозорість, БСК₅, вміст азоту нітратного й нітритного (рис. 2.);

- за критеріями TNMN, води української ділянки дельти Дунаю відносилися до 1 класу якості з переходом у 2.

- господарсько-побутові ГДК перевищував середній показник ХСК. На рівні ГДК знаходилася середня концентрація фенолів;

- спостерігалася низка тенденцій просторового розподілу індивідуальних і комплексних показників якості вод дослідженої акваторії, зокрема зниження вмісту завислих речовин, а також індексів загальної екологічної оцінки по мірі наближення до морського краю дельти.



Рисунок 1 – Екологічна оцінка якості води (загальний та блокові індекси).



Рисунок 2 – Екологічна оцінка якості вод (частинні індекси по окремих компонентах).

Аналіз динаміки руслових процесів і завислих речовин в дельті Дунаю та прибережній частині Чорного моря за матеріалами космічних зйомок

У 2020 році (як і в попередні 2013-2019 рр.) для виконання робіт були залучені знімки з космічного апарату Landsat 8. Вибір знімків КА Landsat обумовлений їх доступністю та можливістю використання всього набору спектральних каналів як для надійної візуальної ідентифікації водних об'єктів, так і для автоматичної обробки спеціалізованим програмним забезпеченням (для ідентифікації водних поверхонь найбільш ефективною є комбінація інфрачервоних (далекого, середнього та ближнього) та червоного каналів, а для оцінки кількості завислих речовин використовуються червоний і блакитний канали). Також знімки КА Landsat мають оптимальне просторове розрізнення, що забезпечує необхідну детальність досліджень.

З 45 зображень КА Landsat-8, що є у доступі, у базу даних для подальшої обробки відібрано 17 знімків за такі дати: 14.01.2020 р., 27.03.2020 р., 03.04.2020 р., 12.04.2020 р., 28.04.2020 р., 06.06.2020 р., 17.07.2020 р., 24.07.2020 р., 02.08.2020 р., 09.08.2020 р., 18.08.2020 р., 25.08.2020 р., 10.09.2020 р., 19.09.2020 р., 26.09.2020 р., 06.11.2020 р., 22.11.2020 р.

Аналіз супутникових зображень дозволив дослідити просторово-часові зміни берегової лінії за рахунок процесів акумуляції та розмиву.

За період спостережень району затоки Таранів конфігурація оточуючих затоку кіс у 2020 році, як і у попередні роки змінювалася, але із деякими відмінностями. Як і у 2019 році весняного розмиву кіс не спостерігалось (на відміну від попередніх років), у літній період значних коливань берегової лінії також не відмічене. У листопаді на північ від гирла Прорва спостерігається незначне здовження західного крила коси та її потовщення.

З 2014 року спостерігаються процеси, що активно нарощували острів Пташиний. У 2018 році острів перетворився на півострів і перебуває у цьому стані до теперішнього часу (рис. 3). У 2020 році, як і у 2019 році суттєвих змін у конфігурації берегів острову Пташиний не відбувалося. Навіть навесні південна частина острова змикається з берегом – коливання площі внутрішнього берегового простору проміж островом та берегом мінімальні.

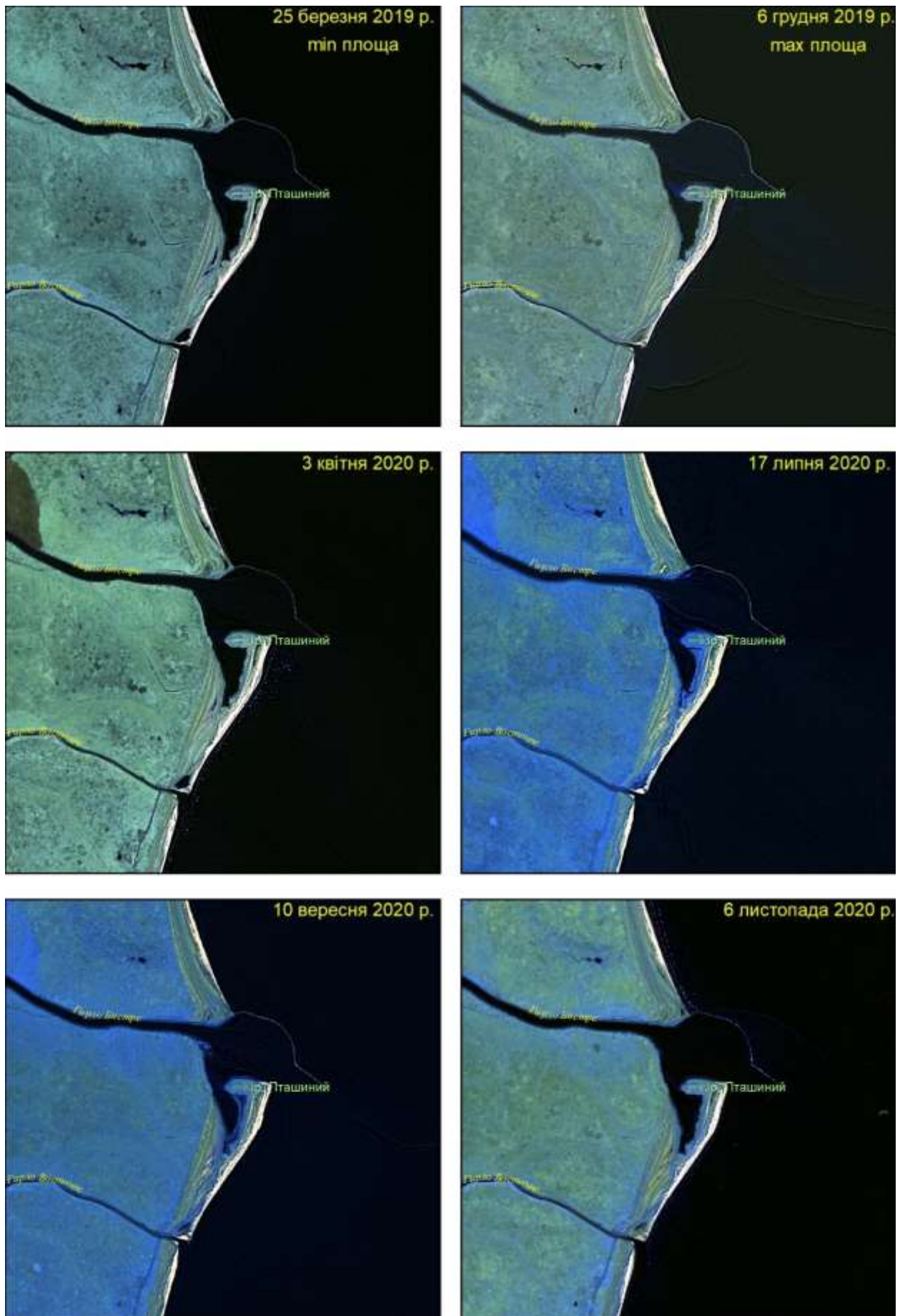


Рисунок 3 – Зміна конфігурації берегів півострову Пташиний

За період спостережень 2010-2019 років конфігурація берегів островів Нова Земля була досить нестабільна і змінювалася у розмірах переважно в широтному напрямку. У порівнянні з періодом 2010 - 2013 рр., в який острови були розрізнені, у 2014 році острови практично з'єдналися в єдину структуру, яка продовжує міцніти, акумулюючи наноси. Процеси, що активно нарощували у 2014 році берегові структури острова і коси, уповільнилися у 2015-2016 роках, контури Нової Землі суттєво не змінювалися. У 2017-2018 рр. зберігалася багаторічна тенденція розмиву у першу половину року та збільшення конфігурації у другій половині року. У 2020 р. як і у 2019 році конфігурація берегів островів Нова Земля була майже незмінною без певних тенденцій сезонних змін (рис. 4). В червні-вересні 2020 р. в акваторії між гирлами Старостамбульське і Мусура фіксується активний розвиток гідрофітного ценозу.

Таким чином, просторово-часові зміни берегової лінії Дунайського гирла у 2020 році зазнавали мінімального сезонного коливання за весь період спостережень зі збереженням загальної форми структурних елементів.

Візуальний та розрахунковий аналіз розподілу завислих речовин західної частини акваторії Чорного моря в районі дельти р. Дунай показав наступну динаміку:

- загальний напрям виносу завислих речовин південний, в окремі періоди берегова течія та вітропотік зносить їх у північно-східному напрямку;

- максимальні концентрації завислих речовин у прибережній частині акваторії Чорного моря в районі гирл Бистре та Старостамбульське спостерігалися 9 серпня, мінімальні – 18 серпня та 10 вересня;

- у зоні дампінгу аномалій фототону, пов'язаних з відвалом ґрунту, не спостерігається.

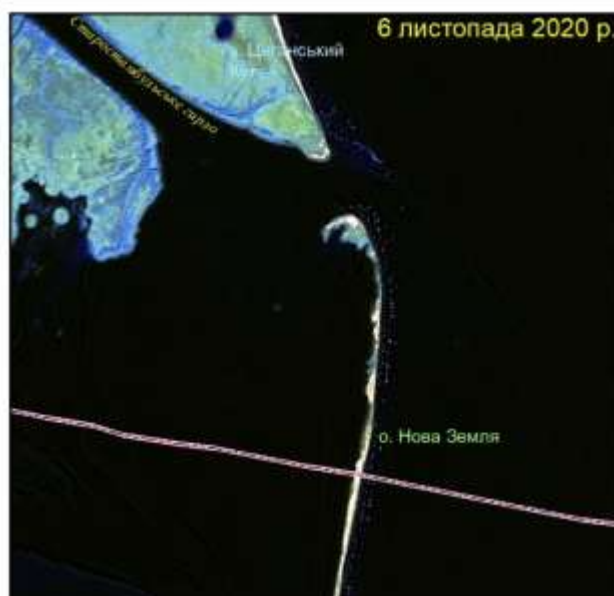
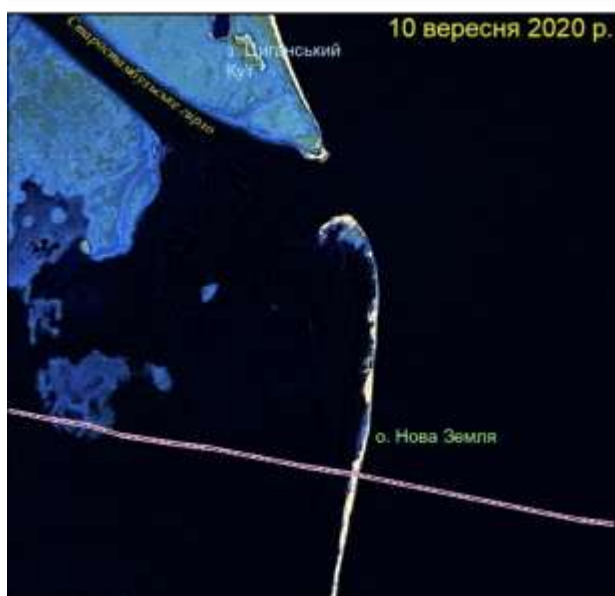
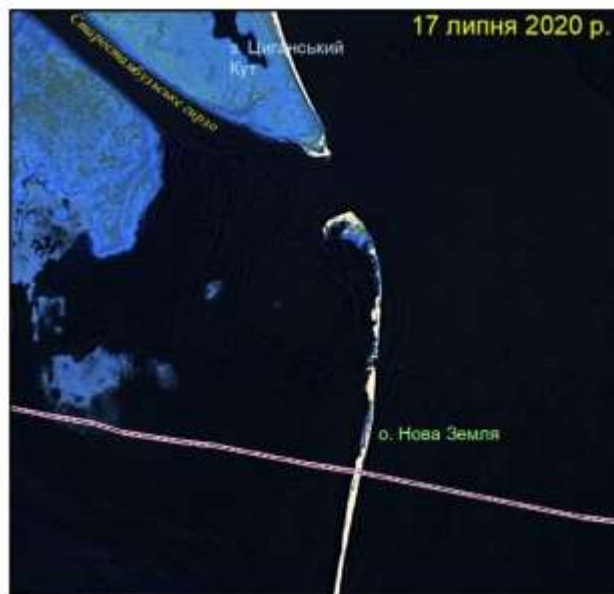
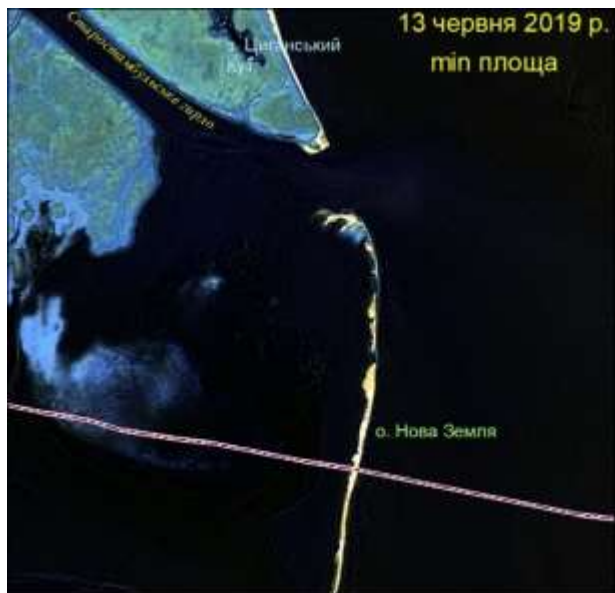


Рисунок 4 – Зміна конфігурації берегів острова Нова Земля

Висновки

За результатами моніторингових спостережень у 2020 році не виявлено суттєвих впливів експлуатації ГСХ «Дунай – Чорне море» та робіт з підтримки паспортних характеристик морського підхідного каналу на довкілля української частини дельти р Дунай, а також транскордонного впливу на суміжні території. Зміни, що відмічаються у стані екосистеми дельти Дунаю, обумовлені, головним чином, традиційним комплексом факторів природного та господарського впливу.

Результати гідробіологічних досліджень 2020 року свідчать про відсутність помітних порушень у стані екосистеми р. Дунай за біологічними показниками. Індекси сапробності планктонних угруповань, головним чином, відповідали β' -мезосапробній зоні, II класу, 3 категорії якості води («добрі», «досить чисті»).

Проведеними за гідрохімічними показниками дослідженнями і розрахунками встановлено, що за середніми рівнями показників у 2020 р. води української ділянки дельти Дунаю за екологічною оцінкою можуть бути віднесені до 2 категорії з переходом у 3 (чисті з переходом у достатньо чисті), водночас за середніми з найгірших рівнів – до 4 категорії (слабко забруднені). Найгірша якість води відзначена за блоком трофо-сапробіологічного стану.

Створення та ведення бази даних космічних знімків дозволяє проводити аналіз тенденцій процесів дельтоутворення та динаміки розповсюдження завислої речовини на узмор'ї Дунаю у просторовому та часовому аспектах.

Література

1. Water Quality in the Danube River Basin – 2006. TNMN – Yearbook 2006. Vienna: International Commission for the Protection of the Danube River (ICPDR), 2009.- 40p.
2. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. Проект. / А.В. Гриценко, О.Г. Васенко, Г.А. Верніченко та ін. – Харків: УкрНДІЕП, 2012. – 37 с.
3. Оксуюк О.П., Оценка состояния водных объектов Украины по гидробиологическим показателям. I Планктон. / О.П. Оксуюк, Г.А. Жданова, С.Л. Гусынская, Т.В. Головка // Гидробиол. журн. – 1994. – Т 30. №3. – С26–31.
4. Trophic State Index. Електронний ресурс. Дата звернення: 30.07.18., Режим доступу: <https://www.rmbel.info/primer/lake-trophic-states/>
5. Обобщенный перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней (ОБУВ) вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов. Москва, 1990 г.

6. Наказ Міністра аграрної політики та продовольства України № 471 від 30.07.12, зареєстр. 14.08.12, №1369/21681 “Про затвердження Нормативів екологічної безпеки водних об’єктів, що використовуються для потреб рибного господарства, щодо гранично допустимих концентрацій органічних та мінеральних речовин у морських та прісних водах (біохімічного споживання кисню (БСК-5), хімічного споживання кисню (ХСК), завислих речовин та амонійного азоту)”.
7. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения СанПиН № 4630–88. Министерство здравоохранения СССР, Москва, 1988 г.
8. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / В.Д. Романенко, В.М. Жукинський, О.П. Оксіюк, та ін. – К.: СИМВОЛ-Т, 1998. – 28 с.

References

1. *Water Quality in the Danube River Basin – 2006. TNMN – Yearbook 2006. Vienna: International Commission for the Protection of the Danube River (ICPDR), 2009. - 40p.*
2. *Metodyka ekolohichnoyi otsinky yakosti poverkhnevyykh vod za vidpovidnymy katehoriyamy. Proekt. / A.V. Hrytsenko, O.H Vasenko, H.A. Vernichenko ta in. – Kharkiv: UkrNDIEP, 2012. – 37 s.*
3. *Oksiyuk O.P., Otsenka sostoyaniya vodnykh ob'yektiv Ukrainy po gidrobiologicheskim pokazatelyam. I Plankton. / O.P. Oksiyuk, G.A. Zhdanova, S.L. Gusynskaya, T.V. Golovko // Hidrobiol. zhurn. – 1994. – T 30. №3. – S26–31.*
4. *Trophic State Index. Elektronnyy resurs. Data zvernennya: 30.07.18., Rezhym dostupu: <https://www.rmbel.info/primer/lake-trophic-states/>*
5. *Obobshchennyy perechen' predel'no dopustimyykh kontsentratsiy (PDK) i oriyentirovochno bezopasnykh urovney (OBUV) vrednykh veshchestv dlya vody rybokhozyaystvennykh vodoyemov. Moskva, 1990 g.*
6. *Nakaz Ministra ahraryoyi polityky ta prodovol'stva Ukrayiny № 471 vid 30.07.12, zareyestr. 14.08.12, №1369/21681 “Pro zatverdzhennya Normatyviv ekolohichnoyi bezpeky vodnykh ob'yektiv, shcho vykorystovuyut'sya dlya potreb rybnoho hospodarstva, shchodo hranychno dopustymyykh kontsentratsiy orhanichnykh ta mineral'nykh rehovyn u mors'kykh ta prisnykh vodakh (biokhimichnoho spozhyvannya kysnyu (BSK-5), khimichnoho spozhyvannya kysnyu (KHSK), zavyslykh rehovyn ta amoniynoho azotu).*
7. *Sanitarnyye pravila i normy okhrany poverkhnostnykh vod ot zagryazneniya SanPiN № 4630–88. Ministerstvo zdravookhraneniya SSSR, Moskva, 1988 g.*
8. *Metodyka ekolohichnoyi otsinky yakosti poverkhnevyykh vod za vidpovidnymy katehoriyamy / V.D. Romanenko, V.M. Zhukyns'kyy, O.P. Oksiyuk, ta in. – K.: SYMVOL-T, 1998. – 28 s.*

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Васенко Олександр Георгійович – кандидат біологічних наук, доцент. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УКРНДІЕП, м. Харків; тел.: (057)702-15-85, e-mail: vasenko@niiep.kharkov.ua,
Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-8658-4144>

Васенко Александр Георгиевич – кандидат биологических наук, доцент. Научно-исследовательское учреждение «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем», УКРНИИЭП., г. Харьков; тел.: (057)702-15-85,
e-mail: vasenko@niiep.kharkov.ua, Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-8658-4144>

Vasenko Oleksandr Heorhiyovych – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Ukrainian Research Institute of Environmental Problems, USRIEP. Kharkiv; phone: (057)-702-15-85, e-mail: vasenko@niiep.kharkov.ua,
Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-8658-4144>

Ієвлева Ольга Юріївна – науковий співробітник. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УКРНДІЕП, м. Харків; тел.: (057)702-15-78, e-mail: ievleva.oy@gmail.com.

Иевлева Ольга Юрьевна – научный сотрудник. Научно-исследовательское учреждение «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем», УКРНИИЭП., г. Харьков; тел.: (057)702-15-78, e-mail: ievleva.oy@gmail.com

Ievleva Olga Yuriivna – Researcher. Ukrainian Research Institute of Environmental Problems, USRIEP. Kharkiv; phone: (057)702-15-78, e-mail: ievleva.oy@gmail.com.

Верниченко-Цветков Дмитро Юрійович – кандидат біологічних наук, провідний науковий співробітник лабораторії досліджень екологічної стійкості об'єктів довкілля та природних територій особливої охорони. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УКРНДІЕП, м. Харків, тел.: 057-702-15-78, e-mail: vernichenko-tsvetkov@niiep.kharkov.ua

Верниченко-Цветков Дмитрий Юрьевич – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории исследований экологической устойчивости объектов окружающей среды и природных территорий особой охраны. Научно-исследовательское учреждение «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем», УКРНИИЭП., г. Харьков, тел.: 057-702-15-78, e-mail: vernichenko-tsvetkov@niiep.kharkov.ua

Vernychenko-Tsvetkov Dmytro Yuriyovych – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of Research of Ecological Sustainability of Environmental Objects and Natural Areas of Special Protection. Research Institution "Ukrainian Research Institute of Environmental Problems", USRIEP, Kharkiv, phone: 057-702-15-78, e-mail: vernichenko-tsvetkov@niiep.kharkov.ua

Міланіч Ганна Юрїїєна - науковий співробітник. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УКРНДІЕП, м. Харків; тел.: 057-702-15-78, e-mail: mypostkeyg@gmail.com.

Миланич Анна Юрьевна – научный сотрудник. Научно-исследовательское учреждение «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем», УКРНИИЭП., г. Харьков; тел.: (057)702-15-78, e-mail: mypostkeyg@gmail.com.

Milanich Ganna Yuriivna – Researcher. Ukrainian Research Institute of Environmental Problems, USRIEP. Kharkiv; phone: (057)702-15-78, e-mail: mypostkeyg@gmail.com

Мельников Андрій Юрійович – науковий співробітник лабораторії еколого-аналітичних досліджень. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УКРНДІЕП, м. Харків; тел.: (057) 702-16-04; e-mail: melnikov@niiep.kharkov.ua

Мельников Андрей Юрьевич – научный сотрудник лаборатории эколого-аналитических исследований. Научно-исследовательское учреждение «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем», УКРНИИЭП., г. Харьков; тел.: (057) 702-16-04; e-mail: melnikov@niiep.kharkov.ua.

Melnikov Andriy Yuriyovych – researcher of the laboratory of ecological and analytical research. Scientific Research Institution "Ukrainian Scientific Research Institute of Ecological Problems", USRIEP, Kharkiv; phone.: (057) 702-16-04; e-mail: melnikov@niiep.kharkov.ua

**Д. Ю. ВЕРНИЧЕНКО-ЦВЕТКОВ, Н. В. СТАРКО, Г. В. ГУТКОВ,
О. В. КОЗЛОВСЬКА**

ВИЯВЛЕННЯ ВІДНОВЛЕННЯ ПОПУЛЯЦІЇ ПІСТІЇ ТІЛОРІЗОВИДНОЇ (*PISTIA STRATIOTES*) В РІЧКАХ СІВЕРСЬКИЙ ДОНЕЦЬ І ХАРКІВ

Приведено результати експедиційних досліджень ділянок водних об'єктів, де було зафіксовано появу пістії (*Pistia stratiotes*) у 2013-2016 рр., а також ділянок, на яких встановлено ризик вселення та розвитку рослини. Проаналізовано масштаби розповсюдження рослини у р. Харків та р. Сіверський Донець. Розглянуто особливості впливу популяцій рослини на водні екосистеми Харківського регіону. На основі досліджень випадків натуралізації та розповсюдження пістії проаналізовано причини появи рослини у 2020 році та надано прогнози щодо можливості подальшого поширення *Pistia stratiotes* водних об'єктах басейну р. Сіверський Донець на території Харківської області.

Ключові слова: інвазійний організм, біологічне різноманіття, небезпека, чужорідний вид.

Приведены результаты экспедиционных исследований участков водных объектов, где было зафиксировано появление пистии (*Pistia stratiotes*) в 2013-2016 гг., а также участков, на которых установлено риск вселения и развития растения. Проанализированы масштабы распространения растения в р. Харьков и р. Северский Донец. Рассмотрены особенности влияния популяций растения на водные экосистемы Харьковского региона. На основе исследований случаев натурализации и распространения пистии проанализированы причины появления растения в 2020 году и даны прогнозы о возможности дальнейшего распространения *Pistia stratiotes* в водных объектах бассейна р. Северский Донец на территории Харьковской области.

Ключевые слова: инвазивный организм, биологическое разнообразие, опасность, чужеродный вид.

The results of expeditionary studies of areas of water bodies, where the appearance of *Pistia stratiotes* was recorded in 2013-2016, as well as areas where the risk of plant

invasion and development was established are given. The plant distribution scale in the R. Kharkov and in R. Seversky Donets was analyzed. The features of the influence of plant populations on aquatic ecosystems of the Kharkov region are considered. The reasons for the appearance of the plant in 2020 are analyzed and forecasts about the possibility of further spread of *Pistia stratiotes* in water bodies of the Seversky Donets watershed on the territory of the Kharkov region are given on the basis of studies of cases of naturalization and spreading of *Pistia*.

Key words: invasive organism, biological diversity, danger, alien species.

Актуальність. У багатьох країнах пістія (*Pistia stratiotes*) є визнаним інвазійним організмом, який формуючи щільні зарості, може впливати на гідрологічний і гідрохімічний режими водного об'єкта, збільшувати витрати води за рахунок випаровування, створювати умови для повного заростання і заболочування, становити небезпеку для біологічного різноманіття.

Саме вплив інвазійних чужорідних організмів визначається, як одна з найбільших небезпек втрати біологічного різноманіття. Моніторинг появи і дослідження впливу інвазійних чужорідних організмів загалом, та *Pistia stratiotes* зокрема, на водні об'єкти басейну р. Сіверський Донець у Харківській області є актуальним завданням.

Результати дослідження

Вперше спеціалістами УКРНДІЕП популяції пістії були виявлені у річці Сіверський Донець у районі с. Есхар у 2013 році. У цьому районі рослину було знайдено у каналі філії «Теплоелектроцентраль» (раніше ТЕЦ-2), ділянці, розташованій нижче річки Сіверський Донець у стариці річки у с. Есхар так званому оз. Хасан.

З моменту перших повідомлень про виявлення пістії у Харківському регіоні УКРНДІЕП проводив моніторинг розвитку, поширення і впливу на окремі аспекти функціонування екосистем водних об'єктів басейну р. Сіверський Донець. Частина отриманого матеріалу знайшла відображення в публікаціях [1-8].

Дослідження впливу пістії у басейні річки Сіверський Донець також проводились спеціалістами інших установ. Зокрема у роботі [9] представлені результати досліджень з встановлення джерел і шляхів поширення *Pistia stratiotes*, особливостей її морфологічної будови, біології екології в умовах Сіверського Дінця. У роботі прогнозувалось погіршення якісного стану води загалом і кисневого режиму зокрема, у зв'язку з масовим відмиранням рослин в умовах настання холодів.

Рослину було інтродуковано в один зі ставків Харківського зоопарку, площею 300 м² в середині липня 2013 року. Дослідження з моделювання розвитку *Pistia stratiotes* в умовах обраного ставка показало, що спалах біомаси рослини здатен викликати погіршення умов водоспоживання, пов'язані з можливістю хвороб тварин і людей[10].

У вересні 2020 р. співробітниками отримано повідомлення про виявлення у річках Сіверський Донець та Харків пестії тілоризовидної, також за інформацією місцевих жителів у 2019 р. в оз. Хасан зустрічались окремі екземпляри рослини.

Нами були організовані польові дослідження місць локалізації пістії, та ділянок на яких раніше вона була зафіксована. Додатково були обстежені місця найбільш вразливі до поширення та розвитку інвазійних видів.

За результатами натурних спостережень, які проводив УКРНДІЕП у 2020 р., пістія була виявлена в р. Сіверський Донець нижче с. Мохнач. Встановлено, що територія розповсюдження охоплювала ділянку, яка складала 6,8 км за течією, нижче мосту в с. Мохнач. У даному районі рослина перебувала в літоральній зоні, серед водних рослин (в основному сальвінії) на глибині 0,2-0,3 м., розміри розеток складала 2-10см (Рис.1).



Рисунок 1 – Мінімальні та максимальні розміри пістії

Зустрічалися як поодинокі екземпляри, так і групи до 25 рослин, вільно плаваючих рослин не було виявлено.

Подальші дослідження дозволили встановити наявність пістії в районі м. Зміїв (близько 20 км нижче верхньої межі). На цій ділянці *Pistia stratiotes* мала ті ж розміри, окрім нерухомих рослин (серед водних рослин), зустрічались і пливучі (одиначо і групами).

Також у 2020 р. пістія у черговий раз була виявлена в річці Харків. Наприкінці вересня у 2016 році спеціалістами УКРНДІЕП проводилися експедиційні дослідження річок Харків і Лопань. Скупчення пістії поширювалися на ділянці близько 2,7 км по річці Харків та на 500 м за течією річки Лопань. Були виявлені квітучі рослини, які могли дати насіння, і збільшити ймовірність встановлення стійких популяцій. Однак протягом кількох наступних років появу пістії на цих ділянках не було зафіксовано. Осередки поширення молодих рослин у цьому районі були виявлені тільки в кінці вересня 2020р. року.

Таким чином екземпляри пістії, які спостерігалися з кінця вересня до середини жовтня 2020 р. у р. Сіверський Донець та р. Харків, відрізнялись незначними розмірами та не давали всходів, що пов'язано з недостатніми температурними показниками. Неприятливі температурні умови також вплинули на відсутність квітучих особин. Відповідно подальша поява і розвиток популяцій пістії на досліджуваних ділянках басейну р.Сіверський Донець можливі тільки з насіння попередніх років, або за рахунок повторного вселення чужорідного виду.

Розвиток інвазійного виду *Pistia stratiotes*, становить значні ризики, як для водних екосистем, так і для господарської діяльності людини. Масштабний розвиток організму викликає затінення великих акваторій річки, водна рослинність в таких зонах може відмирати, а кисневий режим, погіршуватися, внаслідок відсутності аерації води. Такий вплив рослини на зміну кисневого режиму спостерігався нами у вересні 2013 р. в районі моста у с. Задонецьке. Визначення вмісту розчиненого кисню у р. Сіверський Донець (біля мосту у с. Задонецьке) у місцях скупчення пістії показало значний її вплив на кисневий режим. Вимірювання вмісту розчиненого кисню проводилися для ділянок, на яких зосереджувалися значні скупчення пістії на ділянках без рослини у придонному і поверхневому шарах (табл. 1). Під самим скупченням рослин вміст кисню складав 3,05 мг / дм³. За межами скупчення *Pistia stratiotes* значення кисню були на рівні 8,96-8,12 мг / дм³., при цьому проточність спостерігалася на всіх досліджуваних ділянках.

Таблиця 1 – Вміст розчиненого кисню у вересні 2013 р.

	Місце відбору		Розчинений кисень, мг / дм ³
1	Скупчення пістії	поверхневий шар	4,81
2		придонний шар	5,31
3	Ділянка без пістії	поверхневий шар	8,96
4		придонний шар	8,12

Результати визначення впливу масового розвитку рослини на вміст розчиненого кисню у 2014 р. наведено у табл. 2. За результатами дослідження вміст розчиненого кисню в місцях скупчення пістії був нижче вмісту розчиненого кисню в місцях без рослини навіть спостерігався дефіцит кисню (згідно ПДКр.г. мінімальний вміст розчиненого кисню у літній період 6,0 МГО / дм³). При цьому поверхневий шар є менш насичений киснем, ніж придонний, що вказує на активне поглинання розчиненого кисню рослиною.

Таблиця 2– Вміст розчиненого кисню у липні 2014 р.

Місце відбору	кисень, мг / дм ³	Температура, °С	насичення киснем, %
Сіверський Донець, вище каналу	4,39	23	51,6
Сіверський Донець, с. Задонецьке	5,80	25	70,9
Канал, вище затору	7,53	32	105,1
Канал, нижче затору	6,90	30	92,7
Хасан, у верхів'ї	4,08	22	47,0
Хасан, у пониззі	0,63	22	7,2

При значному розвитку рослини на окремих ділянках річки можливе формування скупчень у вигляді затору. Подібне спостерігалось у 2013-2014рр. у районі с. Задонецьке, де утворювався затор довжиною до 1,9км, середній показник біомаси пістіїс кладав 25кг / м².

Результати наших досліджень 2013-2014рр. свідчать про негативний вплив пістіїна фітопланктоні угруповання у місцях її масового розвитку, а саме зменшення видової різноманітності і зниження загальної біомаси. Це здебільшого пов'язано з впливом одночасного відмирання значної кількості біомаси загалом та впливом на зміну показників якості води за біогенними елементами, зокрема.

Дослідження впливу *Pistia stratiotes* на вміст біогенних елементів проводилось для ділянки ріки, на який відбувався масовий розвиток рослини у липні 2014 р. (біля

с. Задонецьке). Визначення вмісту біогенних речовин проводилося в місцях скупчення пістії і на ділянках вільних від рослини нижче за течією. Було встановлено низький вміст азоту, що свідчить про активне його поглинання рослиною. Стрибкоподібне збільшення вмісту нітритів у місцях заростання пістією може свідчити про початок процесів розкладу. Спостерігався високий вміст фосфатів, що також свідчить про активний розклад біомаси.

Для систематизації впливів та визначення загального рівня небезпеки спеціалістами УКРНДІЕП була проведена комплексна оцінка ризику від пістії тілоризовидної для екосистем басейну р Сіверський Донець [7-8].

Результати оцінки свідчать, що рівень ризику знаходиться в діапазоні від низького до середнього. Отже висока інвазійна спроможність рослини становить небезпеку для місцевого біорізноманіття, а її здатність формувати моноспецифічні ділянки може становити значний негативний вплив на екосистеми водних об'єктів басейну р.Сіверський Донець, особливо при масовому розвитку, як влітку 2013 р. Можливість створення постійних життєздатних популяцій було оцінено, як посередню (ризик натуралізації були в діапазоні від низького до середнього значення) у зв'язку з доволі низькими температурами у осінньо-зимовий період, що в подальшому знайшло підтвердження спостереженнями за багаторічний період. Таким чином найбільшу небезпеку становить саме масовий розвиток пістії, проте це цілком залежить від наявності сприятливих температурних умов.

Була проведена оцінка ризику натуралізації пістії у в Канівському водосховищі у роботі [11]. Результати дослідження показали, що на рівні перевірконої оцінки можна констатувати досить низьку ймовірність натуралізації цього виду у Канівському водосховищі та виникнення загрозливих ситуацій, на зразок масового розвитку рослини у р. Сіверський Донець у 2013 р.

За результатами двох різних оцінок, ризик натуралізації *Pistia stratiotes* не було визначено як високий у зв'язку з доволі низькими температурами у осінньо-зимовий період. При настанні сприятливих температур популяції рослини, особливо у випадку масового розвитку, можуть становити небезпеку зміни сталих процесів у екосистемах, втрати біологічного різноманіття, впливати на погіршення якості води та створювати ризик у водогосподарській діяльності. Проведені дослідження свідчать про необхідність продовження моніторингу випадків, пов'язаних з розвитком *Pistia stratiotes* у водних об'єктах басейну р.Сіверський Донець, а також потребу більш ґрунтовного вивчення наслідків такого виду біологічного забруднення.

Висновки

Проведені дослідження показали, що існує небезпека негативного впливу популяції *Pistia stratiotes* на водні екосистеми басейну р. Сіверський Донець, особливо, в умовах масового розвитку рослини. Потрапивши у водні об'єкти р. Сіверський Донець, рослина утворила, як вказувалося раніше [3-5], стійкі популяції, що володіють найважливішою властивістю популяцій – самовідтворенням.

Найбільш вірогідно, що чергова поява пістії у 2020 році у водних об'єктах басейну р. Сіверський Донець на території Харківської області пов'язана з впливом гідрологічних та кліматичних чинників. Загалом 2020 рік характеризувався дуже низьким рівнем води, збільшився прогрів донних відкладів, в яких могло знаходитися насіння рослини. Відновлення популяцій пістії свідчать про високу життєздатність насіння, що пролежало кілька років у донних відкладах зберегло схожість.

За результатами двох різних оцінок [7-8,11], ризик натуралізації рослини авторами не було визначено як високий, проте, накопичення нових даних останніх років вимагають продовження подальших досліджень її впливу на місцеві екосистеми, а також оновлення оцінок ризику.

Квітучих екземплярів *Pistia stratiotes* у 2020 році на жодній з досліджуваних ділянок р. Сіверський Донець та р. Харків виявлено не було. Насіння рослини має високий рівень живучості, схожість може зберігатися 4-5 років. Таким чином відновлення популяцій з насіння попередніх років є цілком ймовірним.

Аналіз стану проблеми показав, що необхідними є роботи з продовження моніторингу розвитку популяцій пістії у водних об'єктах басейну р. Сіверський Донець на території Харківської області та розробки природоохоронних заходів щодо попередження та мінімізації негативних екологічних наслідків інвазій.

Литература

1. Васенко А. Г., Старко Н. В., Верниченко-Цветков Д. Ю., Лунгу М. Л., Персианов Г. В. О появлении пистии телорезовидной (*Pistia stratiotes*) в водных объектах Харьковской области. – IX Міжнародна наук.-практ. конф. “Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення”: Сб. наук. ст. у 2-х т. Т. Т. 1/ УкрНДІЕП. – Х.: Райдер, 2013. – С. 190-195.
2. Васенко А. Г., Старко Н. В., Лунгу М. Л. О нахождении пистии телорезовидной (*Pistia stratiotes* L.) в Харьковской области. - Тобольск научный – 2013: Мат. X Всерос.

научно-практ. конф. – Тобольск: Тобольская тип. филиал ОАО «Тюменский изд. дом», 2013. – С. 69-71.

3. Васенко А. Г., Старко Н. В., Персианов Г. В., Верниченко-Цветков Д. Ю. Мониторинг развития, распространения и влияния на экологическое состояние реки Северский Донец пистии телорезовидной//Материали за 10-а международна научна практична конференция, «Динамиката на съвременната наука». Том 10. Екология. Химия и химически технологии. Сельско стопанство. Ветеринарна наука. – София. «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2014. – С. 12-16.

4. Васенко А. Г., Старко Н. В., Верниченко-Цветков Д. Ю., Миланич А. Ю. Пистия телорезовидная (*Pistia stratiotes*) в водных объектах Харьковской области//X Міжнародна наук.-практ. конф. “Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення”: Сб. наук. ст. / НДУ «УКРНДІЕП». – Х.: Райдер, 2014. – С. 43-48.

5. Васенко А. Г., Старко Н. В., Верниченко-Цветков Д. Ю. Некоторые итоги изучения состояния пистии телорезовидной (*Pistia stratiotes*) в водных объектах Харьковской области// XI Міжнародна наук.-практ. конф. “Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення”: Сб. наук. ст. / УКРНДІЕП. – Х.: Райдер, 2015. – С. 48-52.

6. Васенко О. Г., Верниченко-Цветков Д. Ю., Зінченко І. В., Старко М. В., Якуба О. В. Вплив затору пістії на якість води Сіверського Дінця// XI Міжнародна наук.-практ. конф. “Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення”: Сб. наук. ст. / УКРНДІЕП. – Х.: Райдер, 2015. – С. 44-47.

7. Козловська О. В. Оцінка екологічних ризиків від інвазійних явищ на прикладі пістії тілорезовидної / Екологічна безпека: Зб. наук. ст. XII Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 5-9 вересня 2016 р.) / УКРНДІЕП. – Х.: Райдер, 2016. – С. 123-130.

8. Козловська О. В. Оцінка ризику від пістії тілорезовидної для басейну р Сіверський Донець // Прикладні аспекти техногенно-екологічної безпеки: збірник матеріалів Міжнародної наукової практичної конференції / Національний університет цивільного захисту України. – Х.: НУЦЗУ, 2015. – С. 227-228 .

9. Масовий розвиток *Pistia stratiotes* (Araceae) в р. Сіверський Донець (Харківська область) / Г. О. Казарінова, Ю. Г. Гамуля, А. Б. Громакова // Український ботанічний журнал. - 2014. - Т. 71, № 1. - С. 17-21. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/UBJ_2014_71_1_5

10. Григорьев А.Я., Жолткевич, Г. Н., Носов, К. В., Гамуля, Ю. Г., Беспалов, Ю. Г., Высоцкая, Е. В., Печерская, А. И. Дискретные модели динамических систем,

определяющих стабильность гидробиоценозов //Ветеринарна медицина. – 2014. – №. 99. – С. 164-167.

11. Находка пистии телорезовидной *Pistia stratioides* в Каневском водохранилище и оценка риска ее натурализации / С.А. Афанасьев, А.Л. Савицкий // Гидробиологический журнал. — 2016. — Т. 52, № 4. — С. 55-63.

Referenses

1. Vasenko A. G., Starko N. V., Vernichenko-Tsvetkov D. YU., Lungu M. L., Persianov G. V. O poyavlenii pistii telorezovidnoy (*Ristia stratiotes*) v vodnykh ob"yektakh Khar'kovskoy oblasti. – ÍX Mizhnarodna nauk.-prakt. konf. “Yekologíchna bezpeka: problemi í shlyakhi virishennya”: Sb. nauk. st. u 2-kh t. T. T. 1/ UkrNDÍEP. – KH.: Rayder, 2013. – S. 190-195.
2. Vasenko A. G., Starko N. V., Lungu M. L. O nakhozhdennii pistii telorezovidnoy (*Ristia stratiotes* l.) v Khar'kovskoy oblasti. - Tobol'sk nauchnyy – 2013: Mat. KH Vseros. nauchno-prakt. konf. – Tobol'sk: Tobol'skaya tip. filial OAO «Tyumenskiy izd. dom», 2013. – S. 69-71
3. Vasenko A. G., Starko N. V., Persianov G. V., Vernichenko-Tsvetkov D. YU. Monitoring razvitiya, rasprostraneniya i vliyaniya na ékologicheskoe sostoyanie reki Severskií Donets pistii telorezovidnoí//Materiali za 10-a mezhdunarodna nauchna praktichna konferentsiya, «Dinamikata na súvremennata nauka». Tom 10. Ekologiya. Khimiya i khimicheski tekhnologii. Sel'sko stopanstvo. Veterinarna nauka. – Sofiya. «Byal GRAD-BG» OOD, 2014. – S. 12-16.
4. Vasenko A. H., Starko N. V., Vernychenko-Tsvetkov D. YU., Mylanych A. YU. Pystyya telorezovydnaya (*Ristia stratiotes*) v vodnykh obektakh Kharkovskoy oblasti//X Mizhnarodna nauk.-prakt. konf. “Ekolohichna bezpeka: problemy i shlyakhy vyrishennya”: Sb. nauk. st. / NDU «UKRNDIEP». – KH.: Rayder, 2014. – S. 43-48.
5. Vasenko A. H., Starko N. V., Vernychenko-Tsvetkov D. YU. Nekotorye ytohy yzuchenyaya sostoyaniya pystyy telorezovydnoy (*Pistia stratiotes*) v vodnykh obektakh Kharkovskoy oblasti// XI Mizhnarodna nauk.- prakt. konf. “Ekolohichna bezpeka: problemy i shlyakhy vyrishennya”: Sb. nauk. st. / UKRNDIEP. – KH.: Rayder, 2015. – S. 48-52.
6. Vasenko O. H., Vernychenko-Tsvetkov D. YU., Zinchenko I. V., Starko M. V., Yakuba O. V. Vplyv zatoru pistiyi na yakist vody Sivers'koho Dintsya// XI Mizhnarodna nauk.-prakt. konf. “Ekolohichna bezpeka: problemy i shlyakhy vyrishennya”: Sb. nauk. st. / UKRNDIEP. – KH.: Rayder, 2015. – S. 44-47.
7. Kozlovska O. V. Otsinka ekolohichnykh ryzykiv vid invazyynykh yavlyshch na prykladi pistiyi tiloryzovydnoyi / Ekolohichna bezpeka: Zb. nauk. st. KHII Mizhnarodnoyi naukovopraktychnoyi konferentsiyi (m. Kharkiv, 5-9 veresnya 2016 r.) / UKRNDIEP. – KH.: Rayder, 2016. – S. 123-130.

8. Kozlovska O. V. Otsinka ryzyku vid pistiyi tiloryzovydnoyi dlya baseynu r Siverskyy Donets // Prykladni aspekty tekhnohenno-ekolohichnoyi bezpeky: zbirnyk materialiv Mizhnarodnoyi naukovoyi praktychnoyi konferentsiyi / Natsionalnyy universytet tsyvil'noho zakhystu Ukrayiny. – KH.: NUTSZU, 2015. – S. 227-228.
9. Masovyy rozvytok *Pistia stratiotes* (Araceae) v r. Siverskyy Donets (Kharkivska oblast) / H. O. Kazarinova, YU. H. Hamulya, A. B. Hromakova // Ukrayinskyy botanichnyy zhurnal. - 2014. - T. 71, № 1. - S. 17-21. - Rezhym dostupu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/UBJ_2014_71_1_5
10. Grigor'yev A.YA., Zholtkevich, G. N., Nosov, K. V., Gamulya, YU. G., Bespalov, YU. G., Vysotskaya, Ye. V., Pecherskaya, A. I. Diskretnyye modeli dinamicheskikh sistem, opredelyayushchikh stabil'nost' gidrobiotsenozov // Veterinarna meditsina. – 2014. – №. 99. – S. 164-167.
11. Nakhodka pistii telorezovidnoy *Pistia stratioides* v Kanevskom vodokhranilishche i otsenka riska yeye naturalizatsii / S.A. Afanas'yev, A.L. Savitskiy // Hidrobiologicheskyy zhurnal. — 2016. — T. 52, № 4. — S. 55-63.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Верниченко-Цветков Дмитро Юрійович – кандидат біологічних наук, провідний науковий співробітник лабораторії досліджень екологічної стійкості об'єктів довкілля та природних територій особливої охорони. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УКРНДІЕП, м. Харків, тел.: 057-702-15-78, e-mail: vernichenko-tsvetkov@niiep.kharkov.ua

Верниченко-Цветков Дмитрий Юрьевич – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории исследований экологической устойчивости объектов окружающей среды и природных территорий особой охраны. Научно-исследовательское учреждение «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем», УКРНИИЭП., г. Харьков, тел.: 057-702-15-78, e-mail: vernichenko-tsvetkov@niiep.kharkov.ua

Vernychenko-Tsvetkov Dmytro Yuriyovych – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of Research of Ecological Sustainability of Environmental Objects and Natural Areas of Special Protection. Research Institution "Ukrainian Research Institute of Environmental Problems", USRIEP, Kharkiv, phone: 057-702-15-78, e-mail: vernichenko-tsvetkov@niiep.kharkov.ua

Старко Николай Викторович – старший научный сотрудник Научно-исследовательское учреждение «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем», УКРНИИЭП., г. Харьков; тел.: 097-883-30-92, e-mail: nikolaj.starko@gmail.com.

Старко Микола Вікторович – старший науковий співробітник. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УКРНДІЕП, м. Харків; тел.: 097-883-30-92, e-mail: nikolaj.starko@gmail.com.

Starko Nikolay Viktorovich – senior. scientific staff. Ukrainian Research Institute of Environmental Problems, USRIEP. Kharkov; phone: 097-883-30-92, e-mail: nikolaj.starko@gmail.com.

Гутков Георгій Валентинович – завідувач сектором. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УКРНДІЕП, м. Харків; тел.: 057-702-16-05

Гутков Георгій Валентинович – заведующий сектором. Научно-исследовательское учреждение «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем», УКРНИИЭП., г. Харьков; тел.:057-702-16-05

Gutkov George Valentinovich – Head by sector. Scientific Research Institution "Ukrainian Scientific Research Institute of Ecological Problems", USRIEP. Kharkov; phone: 057-702-16-05

Козловська Оксана Вікторівна – науковий співробітник. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УКРНДІЕП, м. Харків; тел.: 066-166-56-09, e-mail: xsenia.ka@gmail.com,
Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-5590-5670>

Козловская Оксана Викторовна – научный сотрудник Научно-исследовательское учреждение «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем», УКРНИИЭП., г. Харьков; тел.: 066-166-56-09, e-mail: xsenia.ka@gmail.com, Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-5590-5670>

Kozlovska Oksana Viktorivna – researcher. Research Institution "Ukrainian Research Institute of Environmental Problems", UKRNDIEP, Kharkiv; tel: 066-166-56-09, e-mail: xsenia.ka@gmail.com, Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-5590-5670>

В. І. ВІТЬКО, В. В. КАРТАШОВ, Г. В. ХАБАРОВА

ОЦІНКА ТРАНСКОРДОННОГО ВПЛИВУ ВИКИДІВ РАДІОНУКЛІДІВ АЕС УКРАЇНИ ПРИ НОРМАЛЬНИХ ТА АВАРІЙНИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

У статті наведені розрахунки та обґрунтовано радіаційний вплив на кордоні України наслідків викидів радіоактивних речовин з АЕС України за умов нормальної експлуатації та у разі виникнення максимальної проектної аварії. Обрано найбільш несприятливі метеоумови, при яких дози максимальні. Показано, що максимальне значення доз опромінення для дорослих на кордонах України не перевищує допустимі ліміти доз за умов нормальної експлуатації енергоблоків або у разі виникнення максимальної проектної аварії та оцінено величини ризиків за 50 років.

Ключові слова: викиди АЕС, забруднення атмосферного повітря, радіонукліди, доза опромінення, нормальні та аварійні умови експлуатації, радіаційний ризик.

В статье расчетным путем обосновано радиационное состояние на границе Украины, вследствие выбросов радиоактивных веществ с АЭС Украины при нормальной эксплуатации и в случае возникновения максимальной проектной аварии. В расчетах использованы наиболее неблагоприятные метеоусловия, приводящие к максимальным дозам. Показано, что максимальное значение доз облучения на границе Украины не превышает допустимые пределы доз в условиях нормальной эксплуатации и при максимальной проектной аварии. Оценен радиационный риск для населения на границе за 50 лет.

Ключевые слова: выбросы АЭС, загрязнение атмосферного воздуха, радионуклиды, доза облучения, нормальные и аварийные условия эксплуатации, радиационный риск

The article contains the substantiated radiation impact calculations from Ukrainian NPPs' releases on the Ukraine border under normal operating conditions and in the emergency. In calculations it was used the most unfavorable meteorological conditions, which leads to the maximum doses. It has been shown that the maximum doses for men

on the Ukraine border does not exceeded the permissible limits for the normal operations or in the emergency situation. It was assessed the radiation risk for men in the emergency.

Key words: NPP emissions, atmospheric air pollution, radionuclide, radiation dose, normal and emergency operating conditions, radiation risk

Вступ

Міжнародне співробітництво в галузі охорони атмосферного повітря здійснюється відповідно до принципів, встановлених міжнародними договорами в галузі охорони атмосферного повітря [1].

Відповідно до пункту 2 Додатка I "Конвенції щодо оцінки впливу на навколишнє середовище в трансграничному контексті", ратифікованої Законом України № 534-XIV від 19.03.1999 р. [2] та вимог Директив 2014/52/ЄС [3] та 2001/42/ЄС [4], проводиться оцінка впливу на навколишнє середовище запланованого виду діяльності, які можуть призводити до значного шкідливого транскордонного впливу, в тому числі і атомні електростанції.

Згідно зі статтею 35 Договору про Євратом [5] та Директиви 2011/92/ЄС [6] держави-члени повинні забезпечити наявність відповідної програми моніторингу рівня радіоактивності в довкіллі.

Відповідно до вимог пункту 3 статті 13 Модельного закону про оцінку впливу на навколишнє середовище, (Постанова N 35-12 від 28 жовтня 2010 р.) [7] важливо проводити оцінку впливу на навколишнє середовище згідно дотримання міжнародних екологічних вимог.

В Україні знаходиться в експлуатації чотири АЕС з 15 діючими блоками: Запорізька АЕС – шість блоків ВВЕР-1000, Южно-Українська АЕС – три блоки ВВЕР-1000, Хмельницька АЕС – два блоки ВВЕР-1000, Рівненська АЕС – два блоки ВВЕР-440 та два блоки ВВЕР-1000 [8].

Метою даної роботи є оцінка впливу на забруднення атмосферного повітря та поверхні ґрунту викидів радіоактивних речовин з АЕС України при нормальних та аварійних умовах експлуатації.

1. Вибір розрахункових точок на кордоні України

Для проведення оцінки радіаційного впливу АЕС України на рисунку 1 наведено досліджені АЕС України та відображено розташування контрольних точок на кордоні України, в яких будуть проводитися подальші відповідні розрахунки [9].

Вибір точок обумовлений взаємним розташуванням АЕС України і закордонних АЕС. Орієнтовано вибрані точки, які характеризують значення тих або інших радіаційних параметрів для кожної країни (не менш двох для кожної) та ті, що знаходяться поблизу від різних АЕС.



Рисунок 1– Розташування АЕС України та контрольних точок на її кордоні [7]

2. Вплив викидів радіонуклідів на кордоні за умов безаварійного режиму експлуатації АЕС України

Опис та результати тестування програмного комплексу PC CREAM, за допомогою якого проводились розрахунки, наведений у [8, 9].

Аналіз дозових навантажень на критичну групу населення на кордоні України в контрольних точках показує, що більше 99% дози від викидів АЕС України при нормальній роботі обумовлено викидами наступних радіонуклідів: С-14, Н-3, Хе-133 і Хе-135.

На рисунку 2 наведено залежність об'ємної активності вказаних чотирьох радіонуклідів у приземному шарі атмосферного повітря, спричинені викидами з усіх АЕС України, на кордоні з суміжними країнами.

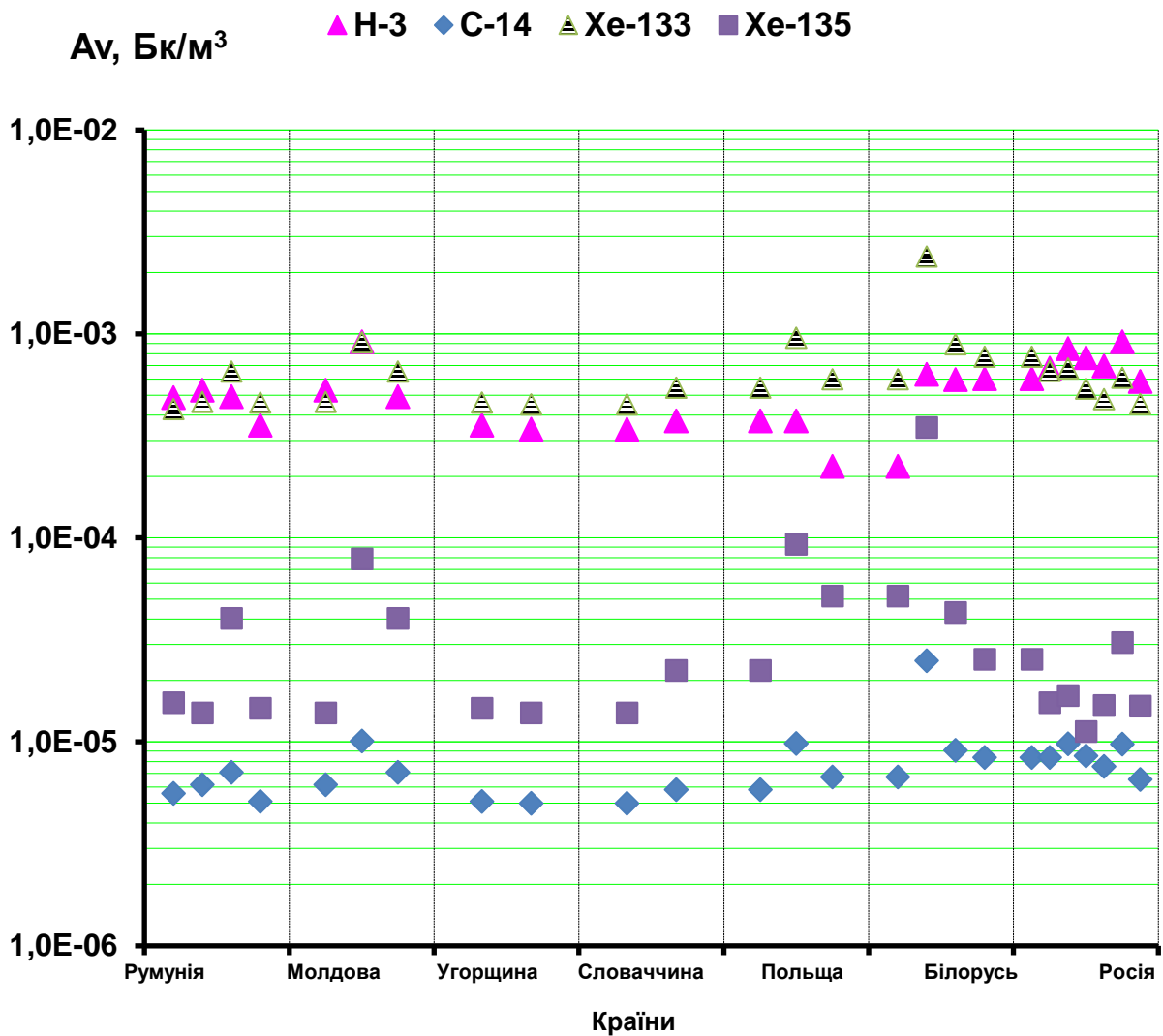


Рисунок 2 – Середньорічні значення об'ємної активності ³H, ¹⁴C, ¹³³Xe та ¹³⁵Xe у приземному шарі атмосферного повітря, спричинені викидами з усіх АЕС України [9]

За результатами розрахунків найбільші об'ємні активності у приземному шарі атмосферного наступні: для ³H - 9,2E-05 Бк/м³, т.17 ; для ¹⁴C - 2,5E-05 Бк/м³, т.10; для ¹³³Xe - 2,4E-03 Бк/м³, т.10; та для ¹³⁵Xe - 3,5E-04 Бк/м³, т.10. Ці об'ємні активності не являють загрозу для населення, про це свідчать малі дози, обумовлені цими радіонуклідами, див. далі розрахунки доз.

На рисунку 3 наведені сумарні величини випадінень вказаних радіонуклідів на поверхню ґрунту на кордоні з сусідніми країнами, які спричинені викидами з усіх АЕС України при нормальних умовах експлуатації.

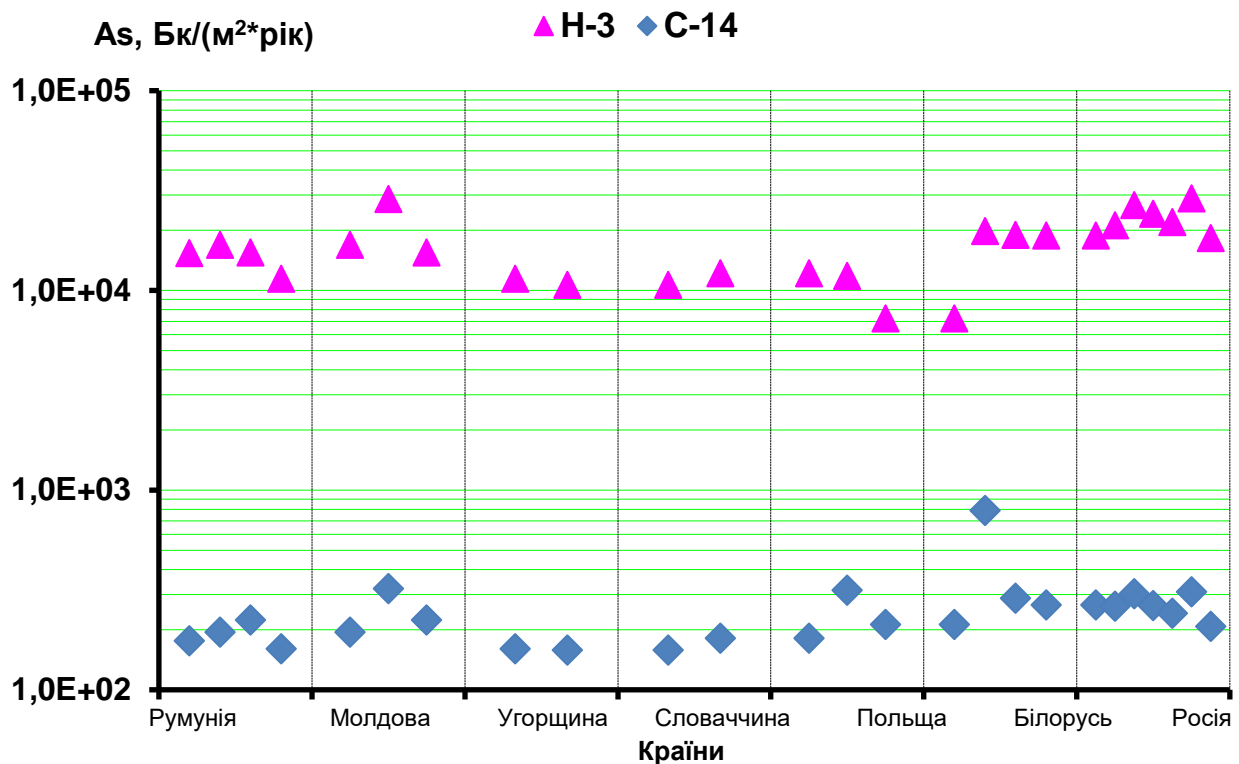


Рисунок 3 – Сумарні величини випадіння H-3, C-14 на поверхню ґрунту, спричинені викидами з усіх АЕС України

Найбільші величини річних випадіннь на поверхню ґрунту наступні: для ^3H - $2,89\text{E}+04$ Бк/(м²*рік), т.17 ; для ^{14}C - $7,93\text{E}+02$ Бк/(м²*рік), т.10. Різні АЕС мають різний викид того чи іншого радіонукліда, тому максимум сумарних випадень спостерігаються в різних точках.

Необхідно відмітити, що величини річних випадіннь - це один з компонентів, що дають внесок у повну дозу опромінення. Повна доза опромінення, сформована від всіх радіонуклідів і всіх шляхів опромінення дуже мала, див. розрахунки далі. Тому величини річних випадіннь не являють загрозу для населення.

На рисунку 4 наведені очікувані сумарні річні ефективні дози опромінення на кордоні з сусідніми країнами від викидів радіонуклідів з усіх АЕС України.

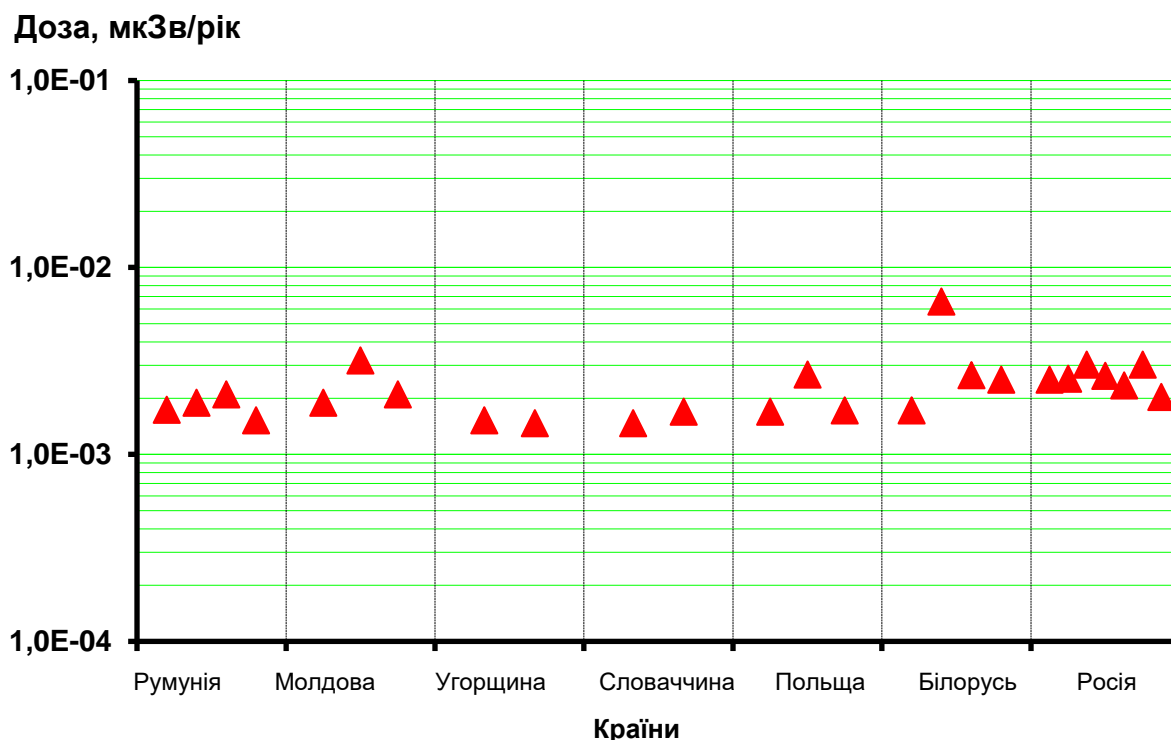


Рисунок 4 – Очікувані сумарні річні ефективні дози опромінення від викидів радіонуклідів з усіх АЕС [9]

Ефективні дози (визначені за Публікацією МКРЗ № 60 [10]) обчислюються з використанням дозових коефіцієнтів з Публікації МКРЗ № 72 [11]. В Україні при розробці норм і правил з радіаційної безпеки також використовуються рекомендації МКРЗ.

Максимальні річні ефективні дози опромінення за умов нормальної експлуатації АЕС України очікуються для критичної групи населення "дорослі" і складають приблизно 6,6 нЗв/рік, див. рисунок 4. Ця величина в 6000 раз менша за квоту, яка встановлена для АЕС згідно НРБУ-97 (40 мкЗв/рік) [12]. Максимальна доза очікується в точці 10 на кордоні з Республікою Білорусь (66 км від Рівненської АЕС).

Основними дозо-утворюючими радіонуклідами є вуглець-14, тритій і два ізотопу ксенону: 133 та 135. Ці радіонукліди в сумі дають більш ніж 99% дози. Наприклад, в точці 1 співвідношення в сумарну дозу ^{14}C , ^3H , ^{133}Xe , ^{135}Xe наступне 75:24:1:0,3, а точці 10 це співвідношення таке 88:8:1,5:1,5. Це обумовлене як різним викидом з кожної АЕС та різної відстанню від АЕС до контрольної точки.

Основними шляхами опромінення є харчові продукти, інгаляційний шлях та зовнішнє гамма-опромінення від хмари викидів. Серед продуктів харчування найбільший внесок в сумарну дозу дають зернові продукти та молоко, коренеплоди і

м'ясо дають небагато менший внесок, ще менший внесок від фруктів та зелених овочів.

3. Вплив викидів радіонуклідів на кордоні за умов аварійного викиду на одній АЕС України

Для аналізу радіаційних наслідків аварій вивчалась наступна максимальна проектна аварія (МПА) – аварія, яка викликана двостороннім розривом охолоджувальної системи (аварія ядерного реактора із втратою теплоносія) при номінальному рівні енергії.

Вибір метеорологічних умов при аварійних ситуаціях зроблено на основі розрахунків доз опромінення населення, тобто обрані найбільш несприятливі метеоумови, при яких дози максимальні (консервативний підхід).

Залежно від погодних умов доза в розрахунковій точці може змінюватися. За Пасквілем розглядаймо шість категорій погоди: А, В, С, D, Е, F. Для максимальної проектної аварії розрахунки очікуваної ефективної дози на різних відстанях, які проведені при різному рівні опадів, показали, що максимальна очікувана ефективна доза за 50 років досягається при рівні опадів 0 мм/год для більшості розрахункових точок.

Проведені розрахунки очікуваних ефективних індивідуальних доз за 50 років та ризиків за той же період в різних розрахункових точках на кордоні України при МПА на одній АЕС України наведено у таблиці 1.

Таблиця 1– Максимальні значення доз та ризиків у розрахункових точках при МПА на будь-якій АЕС

№ точки	Максимальна доза, Зв	Максимальний ризик
1	1,74E-05	9,32E-07
2	1,39E-05	7,42E-07
3	8,09E-05	4,22E-06
4	3,45E-05	1,83E-06
5	1,11E-05	5,92E-07
6	1,03E-05	5,51E-07
7	1,59E-05	8,49E-07
8	6,22E-05	3,27E-06
9	6,04E-05	3,17E-06
10	1,92E-04	9,70E-06
11	1,81E-05	9,67E-07
12	9,63E-06	5,16E-07
13	7,11E-06	3,82E-07
14	8,96E-06	4,80E-07
15	5,85E-06	3,14E-07

16	1,08E-05	5,81E-07
17	2,37E-05	1,26E-06
18	1,74E-05	9,32E-07

Величина очікуваної ефективної дози за 50 років максимальна для республіки Білорусь та приблизно дорівнює 0.19 мЗв, тобто в середньому 3,8 мкЗв за рік. Ближче всіх до державного кордону розташована РАЕС, тому максимальні значення доз та ризиків при можливих аваріях можуть бути на кордоні з республікою Білорусь в точці 10, див. рисунок 1. Відносно мала відстань до кордону з Польщею від РАЕС. Також відносно близьке до кордону з Румунією та Молдовою розташована ЮУАЕС, тому ці чотири країни можуть отримати максимальні дози та ризики при аваріях на АЕС України, див. таблицю 1.

Згідно Норм радіаційної безпеки України [12] при радіаційній аварії визначені такі величини доз, див. які таблицю 2, при яких необхідно проводити контрзаходи для захисту населення. Доза 1 Гр за 2 доби (згідно НРБУ [12] п.1 таблиці 2) не перевищена, тому що сумарна ефективна доза за 50 років значно менша. Доза 5 мЗв на все тіло за перші 2 тижні (згідно НРБУ [12] п.2 таблиці 2) не перевищена, тому що розрахунок для Республіки Білорусь, як найближчої до РАЕС, для періоду 50 років дає величину 0,19 мЗв.

Таблиця 2 – Рівні втручання при радіаційних аваріях згідно НРБУ [12]

№ п/п	Контрзаходи	Рівні доз
1	Безумовно виправдане екстрене втручання при гострому опроміненні	1 Гр за 2 доби на все тіло (кістковий мозок)
2	Нижня межа виправданості для невідкладних контрзаходів	5 мЗв на все тіло за перші 2 тижні після аварії
3	Нижня межа виправданості для прийняття рішення про переселення	0,2 Зв за період переселення
4	Нижня межа виправданості для прийняття рішення про переселення	0,05 Зв за перші 12 місяців після аварії
5	Нижня межа виправданості для прийняття рішення про тимчасове переселення	0,1 Зв за період тимчасового відселення

Всі останні величини доз в таблиці 2 згідно НРБУ [12]: 0,2 Зв; 0,05 Зв; 0,1 Зв більші ніж максимальна доза для республіки Білорусь, яка дорівнює 0,19 мЗв за 50 років. Для останніх держав очікувані дози ще менші, тому ніякого втручання не потрібно.

Далі покажемо різні внески від шляхів та радіонуклідів в загальну дозу. Ці внески небагато відрізняються для різних відстаней від джерела викиду. Наші

розрахунки відносяться до середньої відстані АЕС від розрахункових точок на кордоні України.

Наприклад, відносний внесок різних нуклідів в очікувану ефективну дозу на відстані 425 км від джерела викиду при МПА наступний: Cs-134 – 47%; Cs-137 – 21%, I-131 – 14%; Xe-133 – 6%; Xe-135 -4%; Kr-88 – 3%. Решта 5%.

Відносні внески в ефективну дозу різних шляхів опромінення на відстані 425 км при МПА: харчування – 85%; дихання – 10%; опромінення від ґрунту – 5%.

З усіх продуктів харчування помітний внесок у сумарну ефективну дозу вносять: зернові продукти, молоко і м'ясо, овочі та картопля.

Очікувані ефективні дози для населення після МПА невеликі в порівнянні з природним радіаційним фоном. У відповідність з доповіддю Наукового комітету ООН з дії атомної радіації Генеральній Асамблеї ООН за 1993 р. [13] річна ефективна доза від природних джерел радіації в областях з нормальним радіаційним фоном дорівнює 2,4 мЗв, тобто за 50 років ця доза складає 120 мЗв. А при МПА для всіх суміжних з Україною країн очікувана доза за 50 років менше 0,19 мЗв.

При різних аваріях очікуються випадання де яких радіонуклідів на поверхню ґрунту, що приводить к забрудненню продуктів харчування і внутрішньому опроміненню людини. Людина може отримати и дозу от зовнішнього опромінення від ґрунту, але цій канал відносно слабкий.

Проведені розрахунки величин очікуваної щільності випадінь за 50 років на різних розрахункових точках на кордоні України для найбільш небезпечних трьох радіонуклідів (Cs-134, Cs-137, I-131 при МПА на РАЕС, ЗАЕС, ЮУАЕС та ХАЕС), див. рис. 5.

Практично аварія може відбутися на одній з АЕС, та виходячи з консервативного підходу, ми вибрали максимальні значення випадінь у кожній розрахунковій точці на кордоні України.

Так, як викид радіонукліда I-131 при МПА більше, ніж викид радіонуклідів Cs, а період напіврозпаду радіонукліда I-131 навпаки значно менше періодів напіврозпаду радіонуклідів Cs, то співвідношення значень випадання цих ізотопів залежить від відстані.

З ростом відстані відносна активність радіонукліда I-131 щодо активності радіонуклідів Cs зменшується. Тому форма кривої залежності активності випадінь від відстані згаданих радіонуклідів різна, що помітно на рисунку 5. До того ж у цих радіонуклідів швидкість випадіння різна.

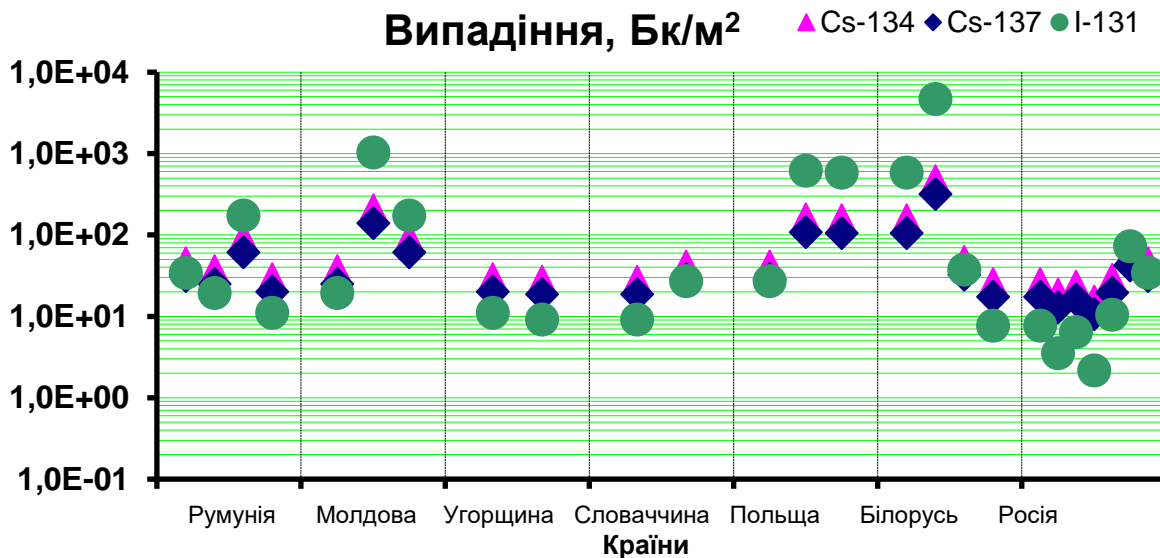


Рисунок 5 – Величини випадіннь найбільш небезпечних радіонуклідів на кордоні України з суміжними країнами при МПА

Висновки

Проаналізоване взаємне розташування АЕС України і суміжних країн, та обрані розрахункові точки на кордоні України, які в максимальному ступені характеризують можливий вплив роботи всіх АЕС на кордоні країни.

У роботі проведені розрахунки та обґрунтовано радіаційний вплив на навколишнє природне середовище та населення наслідків викидів радіоактивних речовин за умов нормальної експлуатації та у разі максимальної проектної аварії.

Максимальне значення еквівалентних доз на все тіло на кордонах України не перевищує допустимі ліміти доз за умов нормальної експлуатації енергоблоків або у разі виникнення максимальної проектної аварії.

Ближче всіх до державного кордону розташована РАЕС, тому максимальні значення розрахункових доз і ризиків при можливій аварії можуть бути на кордоні з республікою Білорусь.

Максимальний ризик за 50 років, обумовлений максимальної проектною аварією, очікується на кордоні з Республікою Білорусь і складає $9,7E-06$.

Крім Білорусі відносно мала відстань від однієї з АЕС України до кордону з Польщею, Румунією та Молдовою, тому ці чотири країни можуть отримати максимальні дози та ризики при аваріях на АЕС України.

При максимальній проектної аварії величина очікуваної ефективної дози за 50 років максимальна для Республіки Білорусь і приблизно дорівнює 0.19 мЗв, тобто в середньому $3,8$ мкЗв за рік.

Очікувані ефективні дози для населення після МПА невеликі в порівнянні з природним радіаційним фоном, рівні втручання згідно НРБУ-97 не перевищені.

Литература

1. Модельний закон про охорону атмосферного повітря затвердженого на XII пленарному засіданні Міжпарламентської Ассамблеї держав-учасників СНД (Постанова № 12-12 від 8 грудня 1998 р. URL: http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/997_a30).
2. Convention on Environmental Impact Assessment in Transboundary Context. Ratification 19.03.1999. No534-XIV. URL: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_272 (Ukr).
3. Рекомендації Комісії 2004/2/Євратом від 11 жовтня 2010 року про застосування статті 37 Договору про Євратом (2010/635/Євратом). URL: <https://www.google.com.ua/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=2ahUKEwiViL-N5IPmAhWAhcQBHfR4AHUQFjACegQIBxAC&url=http%3A%2F%2Fold.minjust.gov.ua%2Ffile%2F32447.docx&usg=AOvVaw0srsZJI9gdTMkgOKRoawkF>
4. Directive 2011/92/EU on the assessment of the effects of certain public and private projects on the environment. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32014L0052>
5. DIRECTIVE 2014/52/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 16 April 2014. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0052&from=EN>.
6. Модельний закон про оцінку впливу на навколишнє середовище СНД прийнятий на 35-му пленарному засіданні Міжпарламентської Асамблеї держав-учасниць СНД, міжнародний документ (Постанова N 35-12 від 28 жовтня 2010 р.
7. Вітько В.І., Карташов В.В., Хабарова Г.В. Радіаційний вплив АЕС України на кордоні суміжних країн / Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення: зб. наук. статей XVI Міжнародної науково-практичної конференції 14–18 вересня 2020 року/УКРНДІЕП.–ПП «Стиль-Іздат», 2020. – с. 110-114.
8. Звіт про науково-дослідну роботу «Оцінка взаємного транскордонного впливу АЕС України та суміжних країн. Етап 1 «Збір необхідних даних щодо викидів штучних радіонуклідів в атмосферне повітря АЕС України та суміжних країн, метеорологічних характеристик та інших необхідних для розрахунків даних»/ УКРНДІЕП, 2019. 133 с.

9. Звіт про науково-дослідну роботу «Оцінка взаємного транскордонного впливу АЕС України та суміжних країн». Етап 2 «Оцінка транскордонного впливу АЕС України»/УКРНДІЕП, 2020. 90 с.
10. Radiation Protection. ICRP Publication 60. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (ICRP). – N.Y.: Pergamum Press, 1991. – 197 p.
11. ICRP 72. International Commission on Radiological Protection, “Age Dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides, Part 5. Compilation of Ingestion and Inhalation Dose Coefficients” ICRP Publication 72, Pergamon Press, Oxford, 1996.
12. Норми радіаційної безпеки України. Доповнення: Радіаційний захист від джерел опромінення (НРБУ-97/Д-2000). ДГН 6.6.1-6.5.061-2000). Київ: НКРЗУ, 2000. – 84 с.
13. Sources and effects of ionizing radiation. UNSCEAR, UN, N.Y., 1993, 922 pp.

Referenses

1. *Modelny`y zakon pro okhoronu atmosfernoho povitrya zatverdzheno na XII plenarnomu zasidanni Mizhparlament-skoyi Assambleyi derzhav-uchasnykiv SND (Postanova № 12-12 vid 8 hrudnya 1998 r. URL: http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/997_a30.*
2. *Convention on Environmental Impact Assessment in Transboundary Context. Ratification 19.03.1999. No534-XIV. URL: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_272 (Ukr).*
3. *Rekomendatsiyi Komisiyi 2004/2/Yevratom vid 11 zhovtnya 2010 roku pro zastosuvannya statti 37 Dohovoru pro Yevratom (2010/635/Yevratom). URL: <https://www.google.com.ua/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=2ahUKEwiViL-N5IPmAhWAxcQBHfR4AHUQFjACegQIBxAC&url=http%3A%2F%2Fold.minjust.gov.ua%2Ffile%2F32447.docx&usg=AOvVaw0srsZJI9gdTMkgOKRoawkF>*
4. *Directive 2011/92/EU on the assessment of the effects of certain public and private projects on the environment. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32014L0052>*
5. *DIRECTIVE 2014/52/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 16 April 2014. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0052&from=EN>*
6. *Model`nyy zakon pro otsinku vplyvu na navkolyshnye seredovyshe SND pryynyaty na 35-mu plenarnomu zasidanni Mizhparlament-s`koyi Asambleyi derzhav-uchasnyts` SND, mizhnarodnyy dokument (Postanova N 35-12 vid 28 zhovtnya 2010 r.*
7. *Vit`ko V.I., Kartashov V.V., Khabarova H.V. Radiatsiyyny vplyv AES Ukrayiny na kordoni sumizhnykh krayin / Ekolohichna bezpeka: problemy i shlyakhy vyrishennya: zb. nauk. statey*

XVI Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi 14–18 veresnya 2020 roku/UKRNDIEP.–PP «Styl'-Izdat», 2020. – s. 110-114.

8. Zvit pro naukovo-doslidnu robotu «Otsinka vzayemnoho transkordonnoho vplyvu AES Ukrayiny ta sumizhnykh krayin. Etap 1 «Zbir neobkhidnykh danykh shchodo vykydiv shtuchnykh radionuklidiv v atmosferne povityra AES Ukrayiny ta sumizhnykh krayin, meteorolohichnykh kharakterystyk ta inshykh neobkhidnykh dlya rozrakhunkiv danykh»/ UKRNDIEP, 2019. 133 s.

9. Zvit pro naukovo-doslidnu robotu «Otsinka vzayemnoho transkordonnoho vplyvu AES Ukrayiny ta sumizhnykh krayin». Etap 2 «Otsinka transkordonnoho vplyvu AES Ukrayiny»/ UKRNDIEP, 2020. 90 s.

10. Radiation Protection. ICRP Publication 60. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (ICRP). – N.Y.: Pergamum Press, 1991. – 197 p.

11. ICRP 72. International Commission on Radiological Protection, “Age Dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides, Part 5. Compilation of Ingestion and Inhalation Dose Coefficients” ICRP Publication 72, Pergamon Press, Oxford, 1996.

12. Normy radiatsiyanoi bezpeky Ukrayiny. Dopovnennya: Radiatsiyyny zakhyst vid dzherel oprominennya (NRBU-97/D-2000). DHN 6.6.1-6.5.061-2000). Kyiv: NKRZU, 2000. – 84 s.

13. Sources and effects of ionizing radiation. UNSCEAR, UN, N.Y., 1993, 922 pp.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Вітько Валерій Іванович – кандидат фізико-математичних наук. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УКРНДІЕП, м. Харків; тел.: 057-702-15-96, e-mail: valerivitko@gmail.com;

Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-9074-8965>

Витко Валерий Иванович – кандидат физико-математических наук Научно-исследовательское учреждение «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем», УКРНИИЭП., г. Харьков; тел.: 057-702-15-96, e-mail: valerivitko@gmail.com; Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-9074-8965>

Vitko Valeriy Ivanovitch – PhD in Phys.-Math Sc., Scientific Ukrainian Research Institute of Environmental Problems, USRIEP. Kharkiv; phone: 057-702-15-96

E-mail: valerivitko@gmail.com; Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-9074-8965>

Карташов Віктор Вікторович – кандидат технічних наук Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УКРНДІЕП, м. Харків; тел.: 057-702-15-96, e-mail: fanoff@ukr.net;

Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-4905-9607>

Карташев Виктор Викторович – кандидат технических наук. Научно-исследовательское учреждение «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем», УКРНИИЭП., г. Харьков; тел.: 057-702-15-96, e-mail: fanoff@ukr.net; Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-4905-9607>

Kartashov Victor Victorovich – PhD in Tech Sc., Scientific Research Scientific Ukrainian Research Institute of Environmental Problems, USRIEP. Kharkiv; phone: 057-702-15-96, e-mail: fanoff@ukr.net; Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-4905-9607>

Хабарова Ганна Володимирівна – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник. Лабораторія радіоекологічної безпеки та радіаційного моніторингу. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УКРНДІЕП, м. Харків, тел.: 095319312, e-mail: anetp@ukr.net,
Orcid: <http://orcid.org/0000-0001-8373-7427>

Хабарова Анна Владимировна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник. Лаборатория радиозэкологической безопасности и радиационного мониторинга. Научно-исследовательское учреждение «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем», УКРНИИЭП., г. Харьков, тел.: 095319312, e-mail: anetp@ukr.net, Orcid: <http://orcid.org/0000-0001-8373-7427>

Khabarova Hanna Volodymyrivna – PhD in Tech Sc., Senior Researcher. Radiecological Safety and Radiation Monitoring Laboratory. Ukrainian Research Institute of Environmental Problems, USRIEP. Kharkiv, phone: 095319312, e-mail: anetp@ukr.net,
Orcid: <http://orcid.org/0000-0001-8373-7427>

Т. Ф. ЖУКОВСЬКИЙ, О. В. ТКАЧОВА, О. Л. ПШЕНИЧНОВА, І. В. ОБЧАРОВА

ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ ЗВАЛИЩНОГО ГАЗУ ЗАЛЕЖНО ВІД ТЕМПЕРАТУРИ ТА ГЛИБИНИ ЗАЛЯГАННЯ ВІДХОДІВ НА РОГАНСЬКОМУ ПОЛІГОНІ ТПВ (М. ХАРКІВ)

В роботі представлено результати аналізу даних натурних досліджень із визначення умов утворення та складу звалищного газу, який виділяється на Роганському полігоні ТПВ (м. Харків). Визначено вплив температури та глибини залягання відходів на склад звалищного газу.

Ключові слова: звалищний газ, умови утворення, полігони твердих побутових відходів, викиди, парникові гази.

В работе представлены результаты анализа данных натурных исследований по определению условий образования и состава свалочного газа, который выделяется на Роганском полигоне ТБО (г. Харьков). Определено влияние температуры и глубины залегания отходов на состав свалочного газа.

Ключевые слова: свалочный газ, механизм образования, полигоны твердых бытовых отходов, выбросы, парниковые газы.

During the operation of landfills and landfills for solid domestic waste (MSW), landfill gas is released into the air, which includes greenhouse gases.

The paper presents the results of field studies of the formation of landfill gas at the Rogan solid waste landfill (Kharkiv), its characteristics and composition.

The aim of the research is to study the formation of landfill gas at the Rogan solid waste landfill (Kharkiv), as well as the effect of temperature and depth of solid waste burying on the volumes and characteristics of landfill gas, which is released from waste.

In 2018, UKRNDIEP performed the field studies of the emission and composition of landfill gas at the Rogan solid waste landfill (Kharkiv). Sampling was carried out from two previously hermetically sealed wells - No. 1 and No. 2. The diameter of well No. 1 was 0.6 m, depth - 6.3 m. Well No. 2 had a diameter of 0.5 m and a depth of 2.0 m. Landfill gas samples were taken with an electro aspirator "Tayfun" P2-20. For determination of the physical parameters, the following measuring instruments were used: thermometers TL-3,

stopwatch; polyvinylchloride tube, inner diameter is 5 mm. In order to determine the qualitative and quantitative composition of landfill gas, the following devices were used: gas analyzer "KOLION-1V-03", interferometer mine SHI-12, gas analyzer "TESTO-350".

The average results of the determined chemical composition of the landfill gas indicate a high content of methane - 40-60%, carbon dioxide - 5-25% vol., oxygen - 0.8-1.7% vol.

According to the obtained data of field studies, it was found that the moisture content of the landfill gas practically does not change, does not depend on the season and the depth of occurrence and is about 93-96%. The temperature of the landfill gas is maximum in summer and decreases with increasing sampling depth.

It is determined that the composition of landfill gas depends on the temperature and depth waste occurrence. The concentration of methane in the landfill gas decreases with an increase in temperature and a decrease in the depth waste occurrence.

Key words: landfill gas, formation mechanism, solid waste landfill, emissions, greenhouse gases.

Актуальність. При експлуатації полігонів та сміттєзвалищ твердих побутових відходів (ТПВ) у атмосферне повітря виділяється звалищний газ (біогаз), який містить парникові гази, а саме: 55-75 % метану (CH_4), 25-45 % вуглекислого газу (CO_2). Зважаючи на високий вміст метану, звалищний газ є одним з перспективних альтернативних джерел енергії. Для прийняття рішення на будівництво систем видобутку і використання звалищного газу на конкретному полігоні ТПВ необхідно визначити кількісні та якісні характеристики звалищного газу, а також оцінити обсяги його утворення на даному полігоні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що потенціал звалищного газу в країнах Європейського Союзу наближається до 9 млрд. m^3 /рік, у США— 13 млрд. m^3 /рік, в Україні — близько 1 млрд. m^3 на рік [1]. Згідно даних експертів Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, при зборі та утилізації звалищного газу Україна може щорічно заощаджувати 2200 млн. m^3 природного газу та отримувати 634 млн. кВт*год на рік електроенергії.

Метою роботи є дослідження утворення звалищного газу на Роганському полігоні ТПВ (м. Харків), а також впливу температури та глибини залягання ТПВ на обсяги та характеристики звалищного газу, який виділяється від захоронених на цьому полігоні відходів.

Механізм утворення звалищного газу на полігонах ТПВ

На полігонах, у товщі твердих побутових відходів, під дією мікроорганізмів відбувається біотермічний процес розпаду органічної складової відходів. До таких відходів відносяться: харчові, садово-паркові відходи, макулатура, текстиль, інші целюлозовміщуючі відходи, кількість яких коливається від 60 до 80 % від маси ТПВ.

Процес біологічного розкладення ТПВ включає аеробну та анаеробну фази.

Аеробна фаза протікає на глибині 50-80 см при доступі кисню. Аеробні бактерії достатньо швидко здійснюють гідроліз та окислення харчових відходів, які містять жири, білки та протеїни. Виділяється біогаз у невеликій кількості, який складається у основному з двоокису вуглецю, азоту та парів води.

Анаеробний процес, який призводить до утворення звалищного газу, складається з наступних етапів: початок процесів метаноґенезу (2-7 років після початку захоронення відходів); експоненціальний розвиток протягом 12-17 років (метану досягає максимуму); стабільне утворення звалищного газу (25-30 років); затухання анаеробних процесів, зниження утворення звалищного газу; стадія біологічної інертності.

У результаті анаеробного процесу біологічного розкладення ТПВ утворюється звалищний газ, основну масу якого складають метан (40-60 %) і діоксид вуглецю (10-35 %). На ряду з основними компонентами звалищний газ містить оксид вуглецю, пари води, оксиди азоту, аміак, сірководень, вуглеводні, які мають шкідливий вплив на здоров'я людини та стан навколишнього природного середовища [2].

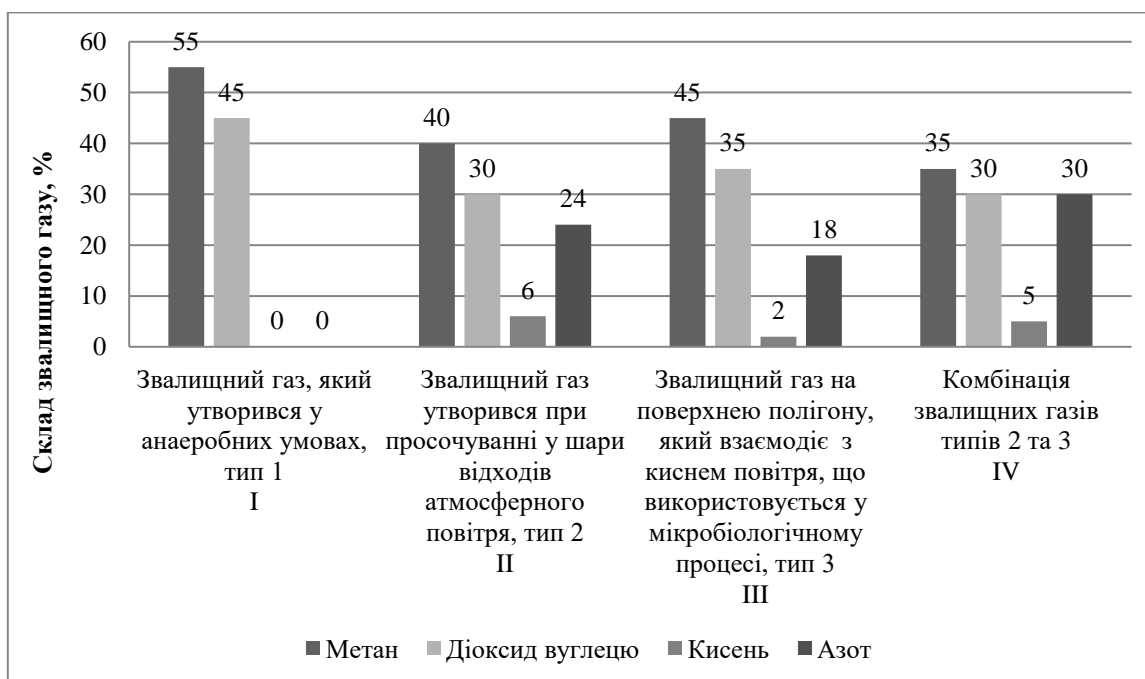


Рисунок 1 – Склад звалищного газу у залежності від життєвого циклу полігону [3]

Склад звалищного газу дуже складний та різноманітний. Він постійно змінюється у залежності від життєвого циклу полігону. Склад звалищного газу залежно від типу захоронення ТПВ (або життєвого циклу полігону) наведено на рис. 1.

Тип захоронення ТПВ 1 (у анаеробних умовах при відсутності доступу кисню) характеризується високим вмістом метану у звалищному газі, адже йде процес метаноґенезу. Вміст метану у звалищному газі досягає максимуму (~55%) орієнтовно через 20-25 років. Тип захоронення ТПВ 2 (у випадку незначного доступу кисню) характеризується зменшенням вмісту метану (~40%) та вуглекислого газу (~30%) та збільшенням – азоту (~24%). Тип 3 (звалищний газ над поверхнею полігону взаємодіє з киснем повітря) у випадку зменшення кількості кисню спостерігається збільшення вмісту метану (~45%); Тип 4 – це комбінація 2 та 3 типів, вміст метану, вуглекислого газу та азоту приблизно однаковий (~30-35%).

Визначення складу і фізичних характеристик звалищного газу, який утворюється на полігонах ТПВ

Співробітниками лабораторії охорони атмосферного повітря та систем управління відходами УКРНДІЕП у липні-серпні та жовтні-листопаді 2018 року були проведені натурні (польові) дослідження емісії та складу звалищного газу на Роганському полігоні ТПВ (м. Харків). З метою визначення складу звалищного газу і концентрації компонентів в ньому проводився відбір та подальший аналіз проб звалищного газу.

Газ відкачували із попередньо герметично закритих двох колодязів – №1 і №2. Колодязь № 1 розміщений справа від в'їзду на полігон. Діаметр колодязя – 0,6 м, глибина – 6,3 м. Колодязь № 2 розміщений зліва від в'їзду на полігон на горі відходів. Діаметр колодязя – 0,5 м, глибина – 2,0 м.

Проби звалищного газу відбиралися електроаспіратором "Тайфун" Р2-20. При визначенні фізичних параметрів використовували наступні вимірювальні прилади:

- термометри ТЛ-3,
- секундомер
- трубки полівінілхлоридні, внутрішній діаметр 5 мм.

З метою визначення якісного та кількісного складу звалищного газу застосовувалися наступні прилади:

- газоаналізатор «КОЛИОН-1В-03»
- інтерферометр шахтний ШИ-12
- газоаналізатор «TESTO-350».

Схема відбору проб звалищного газу на полігоні ТПВ у с. Рогань наведена на рисунку 2.

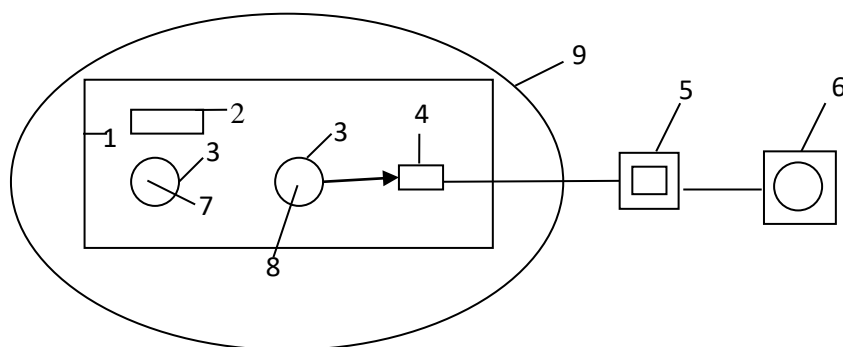


Рисунок 2—Схема проведення інструментальних вимірів по визначенню хімічного складу та фізичних параметрів звалищного газу з тіла Роганського полігону ТПВ

**) Де: 1 – полігон ТПВ та ПО; 2 – установка з утилізації біогазу; 3 – колодязі для відбору проб; 4 – забірна трубка; 5 – електроаспіратор Тайфун; 6 – газоаналізатор; 7,8 – точки виміру температури і вологості повітряного середовища; 9 – межа санітарно-захисної зони полігону*

Результати дослідження фізичних параметрів (вологість та температура) звалищного газу наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати дослідження фізичних параметрів звалищного газу на Роганському полігоні ТПВ

Дата відбору проби	Колодязь № 1, глибина 6,3 м	Колодязь № 2, глибина 2,0 м
1	2	3
Вологість		
червень 2018 р.	94,0 об. %	96,0 об. %
серпень 2018 р.	96,0 об. %	96,0 об. %
листопад 2018 р.	93, 0 об.%	93,0 об.%
Температура		
червень 2018 р.	24°C	26°C
серпень 2018 р.	31 °C	33°C
листопад 2018 р.	17°C	19°C

Як видно із даних, наведених у таблиці 1, вологість звалищного газу практично не змінюється, не залежить від пори року та глибини залягання, розбіжність становить не більше 3 %. Простежується залежність між температурою звалищного газу, порою року та глибиною відбору проб. Максимальні значення спостерігалися у найспекотніший місяць літа (серпень). Із збільшенням глибини відбору проб температура звалищного газу знижується.

При проведенні натурних досліджень були відібрані проби для визначення об'ємів звалищного газу та дослідження його хімічного складу у верхній зоні

колодязів (0,5 м вниз від поверхні землі). Результати досліджень показали, що хімічний склад звалищного газу, який утворюється на Роганському полігоні, має наступні характеристики: метан – 40-60 % об., діоксид вуглецю – 5-25 % об., сірководень – 0,0015-0,0025 % об., кисень – 0,8-1,7 % об., оксид азоту - 0,0004-0,0009 % об., вологість – 96-98 %.

Проведено дослідження із визначення впливу температури та глибини залягання на склад звалищного газу. Дані щодо концентрації метану залежно від глибини відбору проби та температури звалищного газу наведено на рисунку 3.

Як видно із графіку на рис.3, з ростом температури та зменшенням глибини колодязя концентрація метану у звалищному газі на полігоні падає. При чому, чим ближче до поверхні тіла полігону закладовані відходи, тим більша швидкість зменшення вмісту метану.

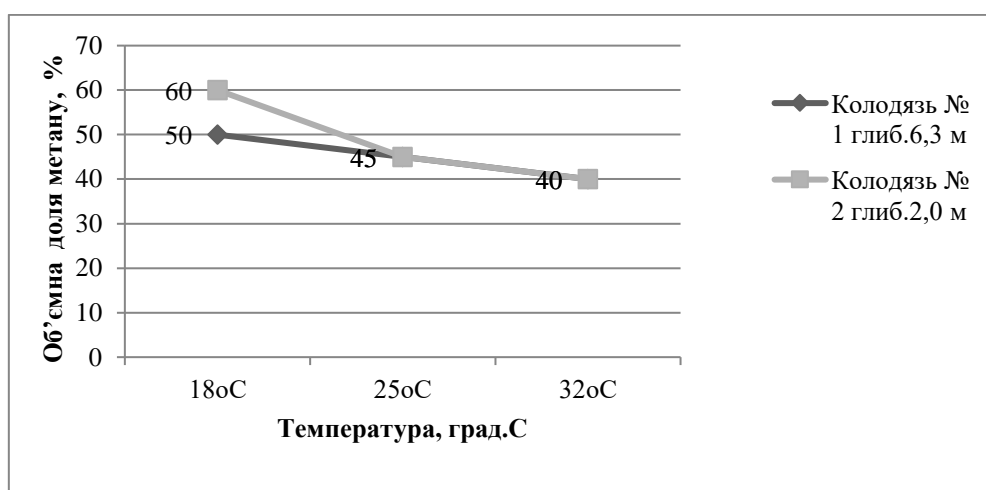


Рисунок 3 – Графік зміни вмісту метану у звалищному газі залежно від температури та глибини

Динаміка виділення діоксиду вуглецю наведена на рисунку 4.

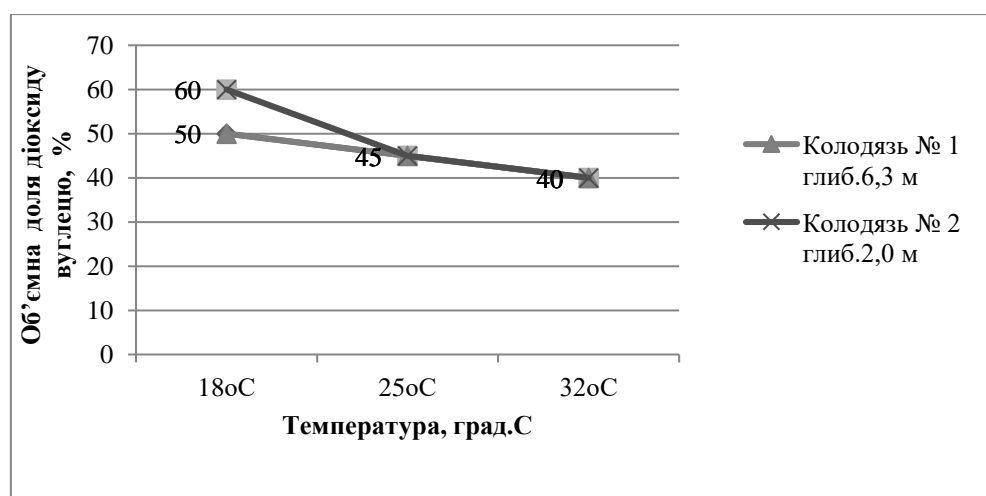


Рисунок 4 – Графік зміни вмісту діоксиду вуглецю у звалищному газі залежно від температури звалищного газу

Як видно із графіку на рис. 4, процентний вміст діоксиду вуглецю більший у звалищному газі, який надходить із верхнього шару захоронених відходів. Зі зростанням температури вміст діоксиду вуглецю зменшується.

Дані щодо вмісту кисню у викидах звалищного газу наведено на рисунку 5.

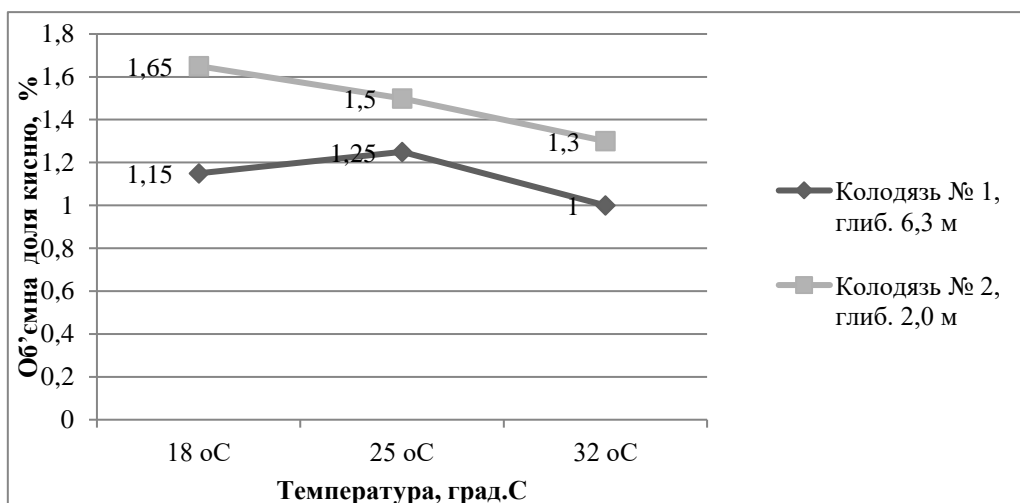


Рисунок 5 – Графік зміни вмісту кисню у звалищному газі залежно від температури звалищного газу

Аналізуючи дані, наведені на рисунку 5, можна констатувати, що вміст кисню у об'ємі звалищного газу на глибині 6,3 м менше, ніж на глибині 2,0 м у зв'язку обмеженим доступом кисню.

Високий паливний потенціал звалищного газу полігонів ТПВ дозволяє ефективно його використовувати замість природного газу в енергетичних установках за відносно простими способами його підготовки [4, 5].

Висновки

Проведено натурні дослідження утворення звалищного газу на Роганському полігоні ТПВ (м. Харків). Усереднені результати хімічного аналізу звалищного газу свідчать про високий вміст метану – 40-60 %, окрім того присутні діоксид вуглецю – 5-25 % об., кисень – 0,8-1,7 % об.

Встановлено, що максимальна концентрація метану у звалищному газі спостерігається у анаеробних умовах при відсутності доступу кисню.

Визначено залежність хімічного складу звалищного газу від температури та глибини залягання захоронених на полігоні відходів. З ростом температури та зменшенням глибини залягання концентрація метану у звалищному газі на полігоні падає.

Література

1. William E. Grant. Ecology & Natural Resources Management. System analysis and simulation / William E. Grant. — New York : John Wiley and Sons, 2012. — 381 p.
2. Соколов, В. Б. Твердые бытовые отходы – реальная опасность для окружающей среды и здоровья человека [Текст] / В. Б. Соколов, И. В. Попов // Вестник Костромского государственного технологического университета: рецензируемый периодический научный журнал. — Кострома: КГТУ, 2007. — № 15. — С. 126–128.
3. «Рекомендації з розрахунку утворення біогазу і вибору систем дегазації на полігонах захоронення твердих побутових відходів», Державний комітет Російської Федерації з будівництва та житлово-комунального комплексу ФГУП, Федеральний центр благоустрою та поводження з відходами. М. 2003. — 19 с.
4. Андрейчиков А. В., Андрейчиков О. Н. Анализ, синтез, планирование решений в экономике. — М.: Финансы и статистика, 2000. — 368 с.;
5. K2-106787 НОВІ технології та обладнання по переробці промислових та побутових відходів і їх медико-екологічне забезпечення: Тр. III наук.-техн. конф. (24-28 лютого 2004 р., Сваляв. р-н). — К.: Т-во «Знання» України, 2004. — 105 с.

References

1. William E. Grant. Ecology & Natural Resources Management. System analysis and simulation / William E. Grant. — New York: John Wiley and Sons, 2012. — 381 p.
2. Sokolov, V. B. Tverde bytove otkhody – real'naya opasnost' dlya okruzhayushchey sredy i zdorov'ya cheloveka [Tekst] / V. B. Sokolov, I. V. Popov // Vestnik Kostromskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta: retsenziruemyy periodicheskiy nauchnyy zhurnal. — Kostroma: KGTU, 2007. — № 15. — S. 126–128.
3. «Rekomendatsiyi z rozrakhunku utvorenniya biohazu i vyboru system de hazatsiyi na polihonakh zakhoronennya tverdykh pobutovykh vidkhodiv», Derzhavnyy komitet Rosiys'koyi Federatsiyi z budivnyitstva ta zhytlovo-komunal'noho kompleksu FHUP, Federal'nyy tsentrom blahoustroyu ta povodzhennya z vidkhodamy. M. 2003. — 19 s.
4. Andreychikov A. V., Andreychikov O. N. Analiz, sintez, planirovanie resheniy v ekonomike. — M. Finansy i statistika, 2000. — 368 s.
5. K2-106787 NOVI tekhnolohiyi ta obladnannya po pererobtsi promyslovykh ta pobutovykh vidkhodiv i yikh medyko-ekolohichne zabezpechennya: Tr. III nauk.-tekhn. konf. (24-28 lyutoho 2004 r., Svalyav. r-n). — K.: T-vo «Znannya» Ukrayiny, 2004. — 105 s.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Жуковський Тимофій Федорович – кандидат технічних наук, завідувач лабораторії. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УкрНДІЕП, м. Харків; тел.: (057)702-15-81, e-mail: gtf.niiep@gmail.com

Жуковский Тимофей Федорович – кандидат технических наук, заведующий лабораторией. Научно-исследовательское учреждение «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем», УкрНИИЭП., г. Харьков; тел.: (057)702-15-81, e-mail: gtf.niiep@gmail.com

Zhukovsky Timofey Fedorovich - Candidate of Technical Sciences, Head of Laboratory. Research Institute of Environmental Problems, USRIEP. Kharkov; phone: (057)702-15-81, e-mail: gtf.niiep@gmail.com

Ткачова Олена Володимирівна – завідувач сектором. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УкрНДІЕП, м. Харків; тел.: (057)702-15-81, e-mail: tkachov2007@bigmir.net

Ткачова Елена Владимировна – заведующий сектором. Научно-исследовательское учреждение «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем», УкрНИИЭП., г. Харьков; тел.: (057)702-15-81, e-mail: tkachov2007@bigmir.net

Tkachova Elena Vladimirovna – Head by sector. Research Institute of Environmental Problems, USRIEP. Kharkov; phone: (057)702-15-81, e-mail: tkachov2007@bigmir.net

Пшеничнова Олена Леонідівна – старший науковий співробітник, кандидат технічних наук. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УкрНДІЕП, м. Харків; тел.: (057)702-15-81, e-mail: el.protsenko@gmail.com

Пшеничнова Елена Леонидовна – старший научный сотрудник, кандидат технических наук. Научно-исследовательское учреждение «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем», УкрНИИЭП., г. Харьков; тел.: (057)702-15-81, e-mail: el.protsenko@gmail.com

Pshenichnova Olena Leonidivna – leading nauch. Staff, Candidate of Technical Sciences. Institute of Environmental Problems, USRIEP. Kharkov; phone: (057)702-15-81, e-mail: el.protsenko@gmail.com

Овчарова Ірина Вікторівна – науковий співробітник. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УКРНДІЕП, м. Харків; тел.: (057)702-15-81, e-mail: irinarogalska7@gmail.com.

Овчарова Ирина Викторовна – научный сотрудник. Научно-исследовательское учреждение «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем», УКРНИИЭП., г. Харьков; тел.: (057)702-15-81, e-mail: irinarogalska7@gmail.com.

Ovcharova Irina Viktorovna – nauch. Staf. Sciences. Institute of Environmental Problems, USRIEP. Kharkov; phone: (057)702-15-81, e-mail: irinarogalska7@gmail.com.

*І. В. ЗІНЧЕНКО, Г. В. ТАРАН, К. О. ЦИТЛИШВІЛІ, О. В. БАБІЧ,
О. Ю. ШОСТЕНКО*

ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМБІНУВАННЯ МЕТОДІВ ОЗОНУВАННЯ І БІОСОРБЦІЙНОГО ОБРОБЛЕННЯ

Проведено експериментальні дослідження очищення модельних стічних вод, які за своїм складом відповідали стокам, що утворюються на харчових виробництвах. Очищення стоків засновано на використанні природних окиснювачів до яких належать озон і кисень. При комбінуванні методів озонування і біосорбційного оброблення відбувається глибоке окиснення речовин, які містяться в стічних водах харчових виробництв і важко розкладаються. Поєднання цих методів дозволило збільшити ефект очищення стічних вод та скоротити час оброблення. Дослідження проводились на модельних стічних водах, які містили великі концентрації тваринних білків, жирів та вуглеводнів. Ефективність очищення за ХСК досягала (97–98) %.

Озонування модельного стоку проводили фахівці інституту плазмової електроніки і нових методів прискорювання Національного наукового центру «Харківський фізико-технічний інститут» (ННЦ ХФТІ).

Ключові слова: озонування, озоно-повітряна суміш, модельний стік, біосорбційне окиснення стічних вод, ХСК.

Проведены экспериментальные исследования очистки модельных сточных вод, которые по своему составу соответствовали стокам, образующимся на пищевых производствах. Очистка стоков основана на использовании природных окислителей, к которым относятся озон и кислород. При комбинировании методов озонирования и биосорбционной обработки происходит глубокое окисление веществ, которые содержатся в сточных водах пищевых производств и трудно разлагаются. Сочетание этих методов позволило увеличить эффект очистки сточных вод и сократить время обработки. Исследования проводились на модельных сточных водах, содержащих большие концентрации животных белков, жиров и углеводов. Эффективность очистки по ХПК достигала (97-98%).

Озонирование модельного стока проводили специалисты института плазменной электроники и новых методов ускорения Национального научного центра «Харьковский физико-технический институт» (ННЦ ХФТИ).

Ключевые слова: озонирование, озono-воздушная смесь, модельный сток, биосорбционное окисление сточных вод, ХПК.

Experimental studies of model wastewater treatment, which in their composition corresponded to the effluents generated in food production. Wastewater treatment is based on the use of natural oxidants which include ozone and oxygen. When combining methods of ozonation and biosorption treatment, there is a deep oxidation of substances that are contained in the wastewater of food production and are difficult to decompose. The combination of these methods has increased the effect of wastewater treatment and reduced treatment time. The studies were performed on model wastewater, which contained high concentrations of animal proteins, fats and hydrocarbons. The cleaning efficiency according to COD reached (97–98)%.

Ozonation of the model runoff was carried out by specialists of the Institute of Plasma Electronics and New Methods of Acceleration of the National Research Center "Kharkiv Institute of Physics and Technology" (NRC KhIPT).

Key words: ozonation, ozone-air mixture, model wastewater, biosorption oxidation of wastewater, COD.

Постановка проблеми

Стічні води підприємств харчової промисловості відносяться до висококонцентрованих і багатокomпонентних, у склад яких входять органічні, і неорганічні речовини. Традиційним деструктивним методом очистки є біохімічний метод, при якому на очисних спорудах відбувається окиснення речовин (у тому числі, токсичних) в стічних водах. Частина білків, а також жири і СПАР важко піддаються біохімічному розкладанню, що створює труднощі під час біологічного очищення. Особливою проблемою для очищення таких стічних вод є наявність в них жиророзчинних сполук. Підвищений вміст жирів в стічних водах, які направляються на біологічне очищення, сприяє утворенню плівки на іммобілізованому біоценозі, що перешкоджає кисневому обміну і порушує масообмін мікроорганізмів-деструкторів, а також сприяє утворенню активного мулу, який погано осідає. Тому традиційні методи очищення таких стічних вод не можуть забезпечити належного рівня очистки.

Об'єкт досліджень – сучасні методи очищення стічних вод харчової промисловості.

Мета роботи – встановити ефективність оброблення стічних вод, які містять великі концентрації органічних сполук тваринного походження, озонуванням і комбінуванням методів озонування і біосорбційного очищення.

Методи дослідження – хімічні, біологічні.

Особливості окиснення органічних сполук, що важко розкладаються, озоном

У сучасній технології очистки стічних вод є тенденція щодо використання екологічно "чистих", природних окиснювачів, наприклад, кисень повітря, озон, пероксид водню, ультрафіолетове опромінювання. Застосування цих окиснювачів не призводить до вторинного забруднення води продуктами їх розкладання, що не справить шкідливої дії під час скидання очищеної води у поверхневий водний об'єкт або у разі подальшого її безпечного використання. Озон (O_3) – дуже ефективний екологічний окиснювач і дезінфектант, тому що є природним елементом і при його розкладанні, окрім молекул кисню не утворюється інших продуктів розкладання, які було б потрібно видаляти з системи очищення.

Одержували озон безпосередньо з повітря у безбар'єрному розряді у спеціальному приладу – озонаторі, який складається з системи двох електродів з повітряним прошарком між ними (4 – 5 мм), який служить розрядним проміжком. Об'ємний розряд формується між трубчастим анодом та системою голчастих катодів, що використовуються для створення підвищеної напруженості електричного поля [1].

Озоно-повітряна суміш надходить через фільтросні пластинки у воду і змішується з нею у контактному резервуарі. Концентрація озону у озоно-повітряній суміші, яка використовувалась для знезаражування будь-якої води, змінювалась від 1 до 10 мг/дм³. Час обробки модельних розчинів складав 1, 3 та 6 годин. Причому, великі дози застосовують, коли необхідно крім знезаражування ще знебарвити та дезодорувати розчин.

Озон у воді одночасно розчинюється і розкладається. Швидкість його розкладу залежить від температури води та її складу. Великі концентрації завислих речовин та іонів металів лімітують процеси окиснення.

Електронна структура озону біполярна: з одного боку – негативна, з іншого – позитивна.

З речовинами, що знаходяться у воді, озон може реагувати або безпосередньо в молекулярній формі, або як радикал OH^\cdot , який виникає при розкладанні озону в воді. Вважається, що в нейтральній воді ці реакції розподілені порівну. У кислому середовищі переважає молекулярний механізм, а в лужному – радикальний [3].

Окислювальна здатність (редокс-потенціал) дорівнює – 2,07, що вище пероксиду водню і хлору (1,77 і 1,36 відповідно), що свідчить про потужну здатність O_3 до окиснення органічних і деяких мінеральних сполук.

Для очищення стічних вод харчової промисловості важлива здатність щодо окиснення складних органічних речовин, які важко розкладаються мікроорганізмами активного мулу.

Для деструкції органічних сполук за допомогою O_3 , важливим чинником є електронна структура озону, яка є біполярною: «негативною» і «позитивною», тому озон може реагувати одночасно як електрофільно так, і нуклеофільно. У воді окиснення речовин озоном має переважно електрофільний механізм. Але кінетика взаємодії розчиненого озону з різними органічними сполуками різна [3].

З O_3 не реагують безпосередньо або реагують слабо ненасичені вуглеводи, насичені алкільні сполуки, бензол, карбонові кислоти. Але такі речовини, як білки, лінійні та циклічні вуглеводи, спирти, жири піддаються окисненню, що важливо під час окиснення домішок, які містяться в стічних водах виробництв харчової промисловості. Особливо важно окиснення жироподібних речовин, тому що вони, як правило, містяться у великих концентраціях в таких стоках і дуже важко окислюються мікроорганізмами активного мулу при біологічному обробленні. Також гальмуються біохімічні реакції окиснення складних органічних сполук, тому попереднє озонування таких стічних вод дозволяє розкласти складні органічні системи до більш простих і доступних з подальшим окисненням мікроорганізмами активного мулу.

Застосування технологій озонування ефективно для інактивації патогенної мікрофлори, яка у високих концентраціях, як правило, міститься в стічних водах харчових виробництв.

Реакційна здатність радикалів дозволяє окислювати практично всі органічні сполуки. В реакціях з органічними речовинами утворюються вторинні радикали, які продовжують брати участь у ланцюговій реакції, тобто первинні радикали ініціюють ланцюгові реакції в рідині, що обробляється [4]. Такі радикали під час взаємодії з розчиненими речовинами не змінюють їх концентрацію в воді, але змінюють їх склад. Тобто більш складні сполуки розкладаються на простіші, які при такій структурі

можуть поглинатися мікроорганізмами активного мулу під час біоочищення. Якщо у водному середовищі є кисень, то ланцюг окислювальних реакцій подовжується за допомогою вторинних радикалів, що буде сприяти очищенню води. Тому для подовження ланцюгової реакції окислення стічну воду необхідно насичувати киснем. Один із способів насичення киснем – продування повітря через шар води.

Встановлення параметрів процесу очищення стічних вод озонуванням і комбінуванням методів озонування і біосорбційної обробки.

Для визначення оптимальних концентрацій O_3 проводили оброблення модельного розчину у різних режимах, який відповідав складу стічних вод молокозаводів.

Для встановлення впливу озону на деструкцію забруднюючих речовин визначали оптимальні параметри процесу озонування.

Таблиця 1 – Параметри озонування

Концентрація, г O_3/m^3	Час оброблення, (год.)	Об'єм проби, що оброблювалась, мл	Коефіцієнт використання O_3	Питома доза, г O_3/m^3
1	1	600	0,1	0,083
	3	400	0,075	0,271
	6	200	0,05	0,646
5	1	600	0,1	0,415
	3	400	0,075	1,55
	6	200	0,05	3,23
10	1	600	0,1	0,83
	3	400	0,075	2,71
	6	200	0,05	6,46

Модельний стік містив великі концентрації молочних білків, вуглеводнів та жироподібних речовин. Такі стічні води неможна направляти на біологічне очищення без попереднього оброблення. Найбільш важкому розкладанню піддаються жири. Результати оброблення модельного стоку озоно-повітряною сумішшю надані в таблиці 2.

Таблиця 2 – Параметри оброблення модельного стоку озono-повітряною сумішшю

Режим оброблення	pH	ХСК, мгО/дм ³	Жири, мг/дм ³
До оброблення (контроль)	7,00	1650,0	491,0
1 год. 1 г/м ³	7,38	1300,0	-
1 год. 5 г/м ³	4,98	1115,0	-
1 год. 10 г/м ³	6,37	960,0	196,7
3 год. 1 г/м ³	4,98	528,0	-
3 год. 5 г/м ³	2,78	815,0	-
3 год. 10 г/м ³	3,06	532,0	262,3
6 год. 1 г/м ³	2,71	620,0	-
6 год. 5 г/м ³	1,92	510,0	-
6 год. 10 г/м ³	2,1	407,0	237,2

З даних таблиці видно, що під впливом міцного окиснювання складні хімічні речовини розкладаються, що виражається у зниженні ХСК і вмісту жирів у середньому на 50%. При цьому, за тривалою експозицією оброблення (3 і 6 годин) відбувається значне зниження величини рН середовища (відносно контрольного зразку). Це пояснюється окисненням жирів до карбонових кислот, які мають низкі значення рН. Стічну воду з таким кислим середовищем заборонено спрямовувати на біологічне очищення, до каналізаційних мереж і в загалі до водного об'єкту.

Для визначення впливу попереднього озонування щодо активного мулу, модельний стік оброблювали озono-повітряною сумішшю (концентрація О₃ = 1 г/м³) і подальше його очищали на біодисковому реакторі за допомогою іммобілізованого активного мулу. Результати дослідження надані в таблицях 3 і 4.

Таблиця 3 – Результати оброблення модельного стоку озono-повітряною сумішшю

Час оброблення, год.	Показники	
	pH	ХСК, мгО/дм ³
До оброблення	5,30	1450
1	5,30	900
2	5,18	720

Після оброблення озono-повітряною сумішшю, ХСК модельного стоку за годину знизилось майже на 40% і досягло 900 мгО/дм³. За 2 год. оброблення ХСК знизилось на 50%, але також значно знизилась величина рН, тому для подальшого доочищення був обраний стік, що оброблювався озонуванням протягом одного часу. Модельний стік за такими характеристиками додавали для доочищення в біосорбційний дисковий реактор з іммобілізованим біоценозом.

Результати очищення модельного стоку біосорбційним методом без попереднього озонування і після озонування надані в табл. 4.

Таблиця 4 – Результати оброблення модельного стоку в біодисковому реакторі іммобілізованим біоценозом

Час оброблення, год	Очищення модельного стоку в біодисковому реакторі без попереднього озонування		Очищення модельного стоку в біодисковому реакторі після озонування	
	pH	ХСК, мгО/дм ³	pH	ХСК, мгО/дм ³
Модельний стік, що додавали для очищення	5,3	1050,0	5,3	900,0
1	6,18	490,0	7,53	662,5
3	7,54	530,0	7,75	195,0
6	7,93	290,0	8,10	41,0
8	7,94	260,0	8,20	22,0

З таблиці 4 і рис. 1 видно, що за 8 год. очищення води в біореакторі вміст розчинених домішок за ХСК знизився на 75%, а під час очищення (доочищення) води в біореакторі після її оброблення озоном, показник ХСК знизився майже на 98%. Таким чином, попереднє озонування дозволяє більш ефективно очищати воду, яка містить великі концентрації речовин, що важко біорозкладаються.

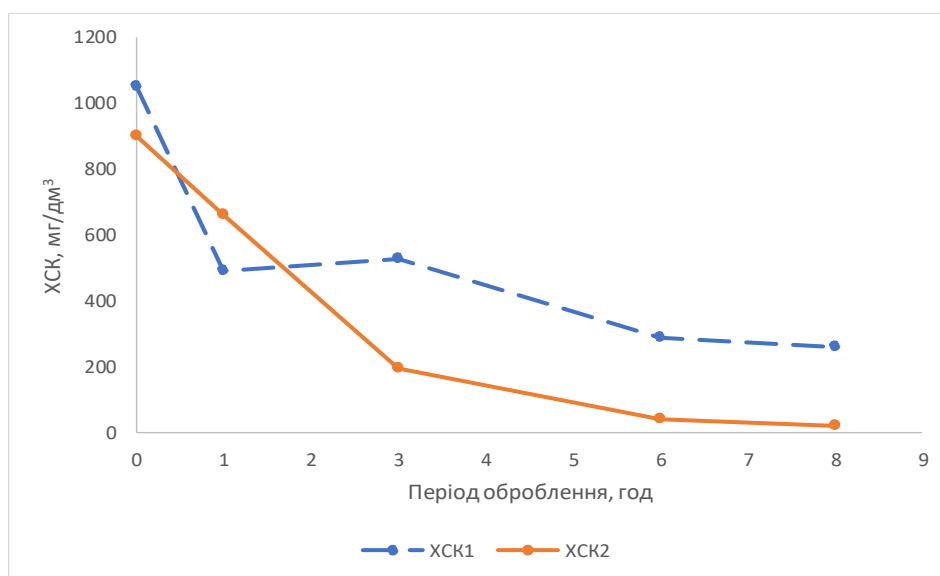


Рисунок 1 – Динаміка окиснення забруднюючих речовин в біореакторі.

ХСК1 – при біосорбційному обробленні (без попереднього озонування)

ХСК2 – при комбінуванні озонування з біосорбційним обробленням

Для встановлення впливу дії озону на біоценоз визначали ферментативну активність мікроорганізмів активного мулу після його контакту з пробами води, які були попередньо озоновані. Ферментативну активність визначали біотестуванням за

комплексом дегідрогеназ (ДГА) [5]. В пробірки з водою, яка була оброблена озоном протягом 1 год. або 2 год., додавали біомасу активного мулу з біореактору і відповідні реактиви для визначення ферментативної активності. Контрольними зразками були проби води без оброблення (вихідна вода) і суспензія активного мулу, в яких також визначали ДГА. Інтенсивність фарбування розчину відповідала ступеню ферментативної активності – чим яскравіше розчин, тим більше ДГА і, відповідно, активність метаболізму мікроорганізмів.

Найбільша інтенсивність спостерігалась у пробі води, що була оброблена озоном протягом 1 години. Вода після оброблення насичалась киснем, який стимулював окислювально-відновленні реакції в клітинах мікроорганізмів. Таким чином, було встановлено, що оброблення води озоном, яка подальше додається на очищення в біореактор, не є токсичною відносно активного мулу. Навпаки, це сприяє збільшенню ферментативної активності мікроорганізмів і, відповідно, збільшує ефект очищення.

Висновки

Озонування модельного стоку сприяло окисненню важкорозчинних речовин, що дозволило знизити рівень ХСК і жирів у модельному стоці на (40 – 50) % і (30 – 50) % відповідно.

Очищення модельного стоку біосорбційним методом в біодисковому реакторі за попереднім обробленням його озono-повітряною сумішшю дозволило скоротити термін перебування стоку в системі очищення і досягти ефекту очищення за ХСК до 98%.

Оптимальною концентрацією озону в озono-повітряної суміші, при якій відбувається ефективне очищення від органічних забруднюючих речовин, є 1– 5 г Оз/м³.

Оброблення модельного розчину озono-повітряною сумішшю при концентрації озону 1 – 5 гОз/м³ не пригнічує життєдіяльність активного мулу, але навпаки стимулює ферментативну активність мікроорганізмів, що виражається в збільшенні їх ДГА.

Література

1. Голота В. И., Завада Л. М., Кадолин Б. Б., Пашенко И. А., Таран Г. В., Шило С. Н. Генерация озона в тлеющем разряде положительной полярности. *Вопросы атомной науки и техники*. 2000. № 1. С. 58-62.
2. Пискарев И. М., Иванова И. П., Иванова И. П., Трофимова С. В. Источник излучения плазмы на основе искрового разряда на воздухе для биомедицинских

исследований. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2014. № 10-3. С. 12-16.

3. Розумовский С. Д., Заиков Г. З. Озон и его реакции с органическими соединениями. Москва: Наука, 1974. 322 с.

4. Применение генераторов холодной плазмы в экологических задачах <http://docplayer.ru/45367579-Udk-n-a-aristova-p-p-lihachev-t-s-myslivec-i-m-piskarev-v-a-ushtkanov-primenenie-generatorov-holodnoy-plazmy-v-ekologicheskikh-zadachah.html> (дата звернення: 17.01.2021).

5. Методические рекомендации по определению дегидрогеназной активности при технологическом контроле за работой аэротенков. - Министерство жилищно-коммунального хозяйства РСФСР Ордена Трудового Красного знамени, Академия коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова. - Москва, 1978.

References

1. Golota V. Y., Zavada L. M., Kadoly`n B. B., Pashhenko Y. A., Taran G. V., Shy`lo S. N. *Generacy`ya ozona v tleyushhem razryade polozhy`tel`noj polyarnosty`. Voprosy atomnoj nauky` y` texny`ky`. 2000. # 1. S. 58-62.*

2. Py`skarev Y. M., Y`vanova Y. P., Y`vanova Y. P., Trofy`mova S. V. *Y`stochny`k y`zlucheny`ya plazmy na osnove y`skrovogo razryada na vozduxe dlya by`omedy`cy`nsky`x y`ssledovany`j. Mezhdunarodnyj zhurnal pry`kladny`x y` fundamental`ny`x y`ssledovany`j. 2014. # 10-3. S. 12-16.*

3. Rozumovsky`j S. D., Zay`kov G. Z. *Ozon y` ego reakcy`y` s organy`chesky`my` soedy`neny`yamy`. Moskva: Nauka, 1974. 322 s.*

4. *Pry`meneny`e generatorov xolodnoj plazmy v ekology`chesky`x zadachax* <http://docplayer.ru/45367579-Udk-n-a-aristova-p-p-lihachev-t-s-myslivec-i-m-piskarev-v-a-ushtkanov-primenenie-generatorov-holodnoy-plazmy-v-ekologicheskikh-zadachah.html> (data zvernennya: 17.01.2021).

5. *Metody`chesky`e rekomendacy`y` po opredeleny`yu degy`drogenaznoj akty`vnosty` pry` texnologiy`cheskom kontrole za rabotoj aэrotенков. - My`ny`sterstvo zhy`ly`shhno-kommunal`nogo xozyajstva RSFSR Ordena Trudovogo Krasnogo znameny`, Akademy`ya kommunal`nogo xozyajstva y`m. K.D.Pamfylova. - Moskva, 1978.*

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Зінченко Ірина Василівна – завідувач лабораторією. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УКРНДІЕП, м. Харків; тел.:(066)325-05-44; e-mail: zinchenko@niiep.kharkov.ua.
Orcid:<https://orcid.org/0000-0001-8554-3300>

Зинченко Ирина Васильевна – заведующий лабораторией. Научно-исследовательское учреждение «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем», УКРНИИЭП., г. Харьков; тел.:(066)325-05-44; e-mail: zinchenko@niiep.kharkov.ua. Orcid:<https://orcid.org/0000-0001-8554-3300>

Zinchenko Iryna Vasylivna – Researcher. Ukrainian Research Institute of Environmental Problems, USRIEP. Kharkov; phone:(066)325-05-44; e-mail: zinchenko@niiep.kharkov.ua. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8554-3300>

Таран Григорій Віталійович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник. Інститут плазмової електроніки і нових методів прискорювання Національного наукового центру «Харківський фізико-технічний інститут», м. Харків, тел.:(050)804-43-79, e-mail: tarang@kipt.kharkov.ua
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2081-5584>

Таран Григорий Витальевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник. Институт плазмовой электроники и новых методов ускорения Национального научного центра «Харьковский физико-технический институт», г. Харьков, тел.:(050)804-43-79, e-mail: tarang@kipt.kharkov.ua
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2081-5584>

Taran Hryhoriy Vitaliyovych – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher. Institute of Plasma Electronics and New Methods of Acceleration of the National Research Center "Kharkiv Institute of Physics and Technology", Kharkiv, phone: (050) 804-43-79, e-mail: tarang@kipt.kharkov.ua, Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2081-5584>

Цитлишвілі Катерина Олександрівна – науковий співробітник. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УКРНДІЕП, м. Харків; тел.:(057) 702-16-07; e-mai: TSYTLISHVILI@niiep.kharkov.ua.
Orcid: <http://orcid.org/0000-0001-7468-0107>

Цитлишвили Екатерина Александровна – научный сотрудник. «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем», УКРНИИЭП., г. Харьков; тел.: (057) 702-16-07; e-mail: TSYTLISHVILI@niiep.kharkov.ua.

Orcid: <http://orcid.org/0000-0001-7468-0107>

Tsytlivili Kateryna Oleksandrivna – Researcher. Ukrainian Research Institute of Environmental Problems, USRIEP. Kharkov; phone: (057) 702-16-07; e-mail: TSYTLISHVILI@niiep.kharkov.ua., Orcid: <http://orcid.org/0000-0001-7468-0107>

Бабіч Олена Вікторівна – провідний науковий співробітник, кандидат технічних наук. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УКРНДІЕП, м. Харків; тел.:(093)053-30-10, e-mail: babich@niiep.kharkov.ua, Orcid: <http://orcid.org/0000-0003-0821-1585>

Бабич Елена Викторовна – ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук. «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем», УКРНИИЭП., г. Харьков; тел.:(093)053-30-10, e-mail: babich@niiep.kharkov.ua, Orcid: <http://orcid.org/0000-0003-0821-1585>

Babich Olena Viktorivna – cand. tech. sciences; leading researcher. Ukrainian Research Institute of Environmental Problems, USRIEP. Kharkov; phone: (093)053-30-10, e-mail: babich@niiep.kharkov.ua, Orcid: <http://orcid.org/0000-0003-0821-1585>

Шостенко Олексій Юрійович – науковий співробітник. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УКРНДІЕП, м. Харків; тел.:(066)387-84-00, e-mail: shostenko_alex@ukr.net.

Шостенко Алексей Юрьевич – научный сотрудник. «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем», УКРНИИЭП., г. Харьков; тел.: (066)387-84-00, e-mail: shostenko_alex@ukr.net

Shostenco Olexsiy Yuriyovych – Researcher. Ukrainian Research Institute of Environmental Problems, USRIEP. Kharkov; phone: (066)387-84-00, e-mail: shostenko_alex@ukr.net

*О. В. КЛІМОВ, Г. С. НАДТОЧІЙ, О. В. ФІЛАТОВА, Д. О. КЛІМОВ,
І. М. ГАЙДРІХ*

ПРИРОДНІ КОМПЛЕКСИ МІСТА ХАРКОВА, ЯКІ ПОТРЕБУЮТЬ ОСОБЛИВОЇ ОХОРОНИ

Наведені результати досліджень 2000-2020 рр. фіто- та зоорізноманіття 26 природних комплексів території м. Харків. Виявлено 37 раритетних видів (17 видів флори і 20 видів фауни), занесених до Червоної книги України (2009). Природні комплекси охороняються лише частково у складі мережі природно-заповідного фонду в межах 6 заповідних об'єктів. Визначені ще 15 територій (12 водно-болотних угідь, 3 лісових урочища) із значним різноманіттям раритетної біоти, що потребують заповідання.

Ключові слова: природні комплекси, водно-болотні угіддя, лісові урочища, флора, фауна, рідкісні види, природно-заповідний фонд, м. Харків.

Приведены результаты исследований 2000-2020гг. фито- и зооразнообразия 26 природных комплексов территории г. Харьков. Обнаружено 37 раритетных видов (17 видов флоры и 20 видов фауны), занесенных в Красную книгу Украины (2009). Природные комплексы охраняются только частично в составе сети природно-заповедного фонда в пределах 6 заповедных объектов. Выделены еще 15 территорий (12 водно-болотных угодий, 3 лесных урочища) со значительным разнообразием раритетной биоты, требующие заповедования.

Ключевые слова: природные комплексы, водно-болотные угодья, лесные урочища, флора, фауна, редкие виды, природно-заповедный фонд, г. Харьков.

The purpose of the article is to summarize the accumulated information and results of own research on the state of natural biota residues in Kharkiv, to determine their location and boundaries, to develop a set of measures for their conservation.

Studies of biodiversity of natural complexes in the city of Kharkiv were conducted during 2000-2020. 22 wetlands and 4 forest tracts were surveyed.

Currently, the undisturbed natural complexes are protected as part of the nature reserve network within 6 protected objects (Regional Landscape Park Sokolnyky-Pomirky, forest reserve of local significance Hryhorivsky bir, hydrological reserve of local significance Kryukivsky, botanical natural monuments of local significance Sokolnyky, Pomirky, Zalyutynska), on the area of 1,505 hectares, which is 44.5% of the total area of the territories of Kharkiv discovered by us.

Other 15 most valuable natural complexes require further bequeathing, where a significant rarity of phyto- and zoodiversity has been preserved.

These are 12 wetlands and fragments of three forest tracts: fragments of the Uda river valley (a section of the floodplain near Poltava road, a swamp near the Khvylynka railway station and a section of the floodplain near the Novozhanove railway station); fragments of the Kharkiv river valley (swamp in the river floodplain. Manzhosivka and Kitlyarchyny stream floodplain in the village of Velyka Danylivka); section of the Lopan river floodplain near the ring road; the Nemyshlya river floodplain section along Nemyshlyanska Street; fragments of the Sukhyi Zhykhor river valley (Lake Tsyhanka, 2 swamps in the settlements of Osnova and Kosolapivka), fragments of the Zhykhorets river valley (Novyi Lyman lake, swamp in the village of Zhykhor), three sections in the forest tracts Bir, Shcherbakove, Vasyschenkivsky bir.

As part of the biodiversity of the studied natural complexes, 37 rare species (17 species of flora and 20 species of fauna) listed in the Red Book of Ukraine (2009) were identified.

Key words: natural complexes, wetlands, forest tracts, flora, fauna, rare species, nature reserve fund, Kharkiv

Актуальність. Територіальні комплекси Харкова сформувалися в межах природних територій Східно-Європейських рівнин на південній межі Лісостепової зони України. Природні комплекси після тривалого антропогенного впливу втратили характерні природні риси регіону і мають строкате чергування напівприродних та антропогенних ландшафтів.

Результати наших досліджень останніми десятиліттями довели, що в межах міста серед забудови збереглися окремі фрагменти біоценозів, які існували в минулому, до формування міста, або набули рис близьких до природних. Довкілля в міській забудові дуже відрізняється від звичних природних умов існування рослин та тварин. Воно характеризується значним скороченням площі природних комплексів,

їх фрагментацією, розривом шляхів сполучення та ізолюванням окремих популяцій, груп та особин рослин та тварин. Внаслідок цього в умовах міста формується видовий склад флори і фауни, дуже збіднений у порівнянні з природним.

Зі складу біоти особливу увагу приділяли залишкам рослинного покриву, який зберігся у межах міста з давніх часів і який зараз визначає сучасне середовище існування рослин та тварин в антропогенних умовах.

Серед надрукованих останніми роками робіт необхідно відзначити окремі дослідження, присвячені знахідкам раритетної флори [1, 3] та особливостям зонування природної рослинності території м. Харків [2].

Мета статті – узагальнити накопичену інформацію та результати власних досліджень щодо стану залишків природної біоти на території Харкова, визначити їх місцезнаходження та межі, розробити комплекс заходів щодо їх збереження.

Матеріал та методи. Дослідження біорізноманіття природних комплексів території м. Харків проводились упродовж 2000-2020 рр. Обстежено 22 водно-болотні угіддя та 4 лісові урочища. Дослідження проводили за загальноприйнятими методиками: визначали видове різноманіття флори і фауни, рослинні угруповання, раритетні види рослин і тварин, занесені до Червоних книг України (2009), наявність яких є підставою для створення об'єктів природно-заповідного фонду на цих територіях.

У тексті статті використані скорочення: ЧС МСОП – Червоний список Міжнародної союзу охорони природи, ЄЧС – Європейський червоний список (2015, 2009), ЧКУ – Червона книга України (2009), ЗКУ – Зелена книга України (2009), ЧСХО – Червоний список Харківської області (2012), ЧКХО – Червона книга Харківської області (2013), ПЗФ – природно-заповідний фонд.

Результати.

У результаті досліджень було виявлено, що серед природних комплексів міста ще збереглись:

- фрагменти водно-болотних комплексів у долинах річок Уди, Лопань, Харків, ділянки справжніх та болотистих лук, а також заболочених річкових заплавл з залишками водних та прибережно-водних рослин, які мають загальні риси непорушених місцезростань.
- фрагменти лісових комплексів, нагірних дібров та борів;
- фрагменти суходільних луків у долинах річок Очеретянка, Немишля, Ліднянка, Жихорець.

Водно-болотні комплекси

Основу водно-болотних комплексів міста Харків складає гідрологічна мережа, до якої входять основні річки: Харків, Лопань та Уди з притоками та території їх водозборів.

У межах міста розташовані витoki річок Олексіївка, Очеретянка, Саржинка, Сухий Жихор, Жихорець та Студенок, які забезпечують водність основних річок міста як їх притоків.

На відміну від лісових комплексів, водно-болотні – краще зберегли свої природні властивості, характерні для природних водних об'єктів, але це, переважно, заплавні частини річкових долин, де ще представлене багате біорізноманіття, притаманне цим природним комплексам.

Басейн р. Харків (ліва притока р. Лопань)

Заплава р. Очеретянка (права притока р. Харків)

Заплава річки включає три екосистеми.

Верхів'я розташовані біля селища Олешки, вздовж вулиць Ніколаєва, Тітова та Гагаріна. Рослинність представлена болотними угрупованнями з домінуванням *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., купинних видів *Carex* sp., *Equisetum fluviatile* L. та справжніми луками з типовими різнотравно-злаковими угрупованнями. У складі раритетної флори *Inula helenium* L. (ЧСХО [11]). На лівобережних крутосхилах, що оточують заплавну частину угруповання суходільних різнотравно-злакових луків з участю *Salvia pratensis* L. (ЧСХО [11]).

Нижче за течією розташоване озеро Очерет. Його береги оточують зарості *Phragmites australis*, *Typha latifolia* L., окремі дерева та куртини чагарникових видів *Salix* sp.

У рослинному покриві нижньої ділянки заплави річки від бульвару Садового, вздовж вулиць Гризодубової та Котляри, поширені угруповання з домінуванням *Phragmites australis*, кореневищних видів *Carex* sp., *Scirpus sylvaticus* L., *Schoenoplectus lacustris* (L.) Palla, *Typha latifolia*, *T. angustifolia* L., *Acorus calamus* L. Зростають вільшаники із *Alnus glutinosa* (L.) Gaerth., чагарникові та деревні види *Salix* sp. У складі раритетної флори *Inula helenium* (ЧСХО [11]). На лівобережних крутосхилах, що оточують заплавну частину угруповання різнотравно-злакових суходільних луків з участю декоративних, медоносних та лікарських видів рослин.

У складі гніздового орнітокомплексу заплави р. Очеретянка понад 15 видів, серед яких *Botaurus stellaris* L., *Ixobrychus minutus* L., *Anas platyrhynchos* L., *Fulica atra* L., *Gallinula chloropus* L., *Alcedo atthis* L. (ЄЧС [18]). Під час сезонних міграцій на озері Очерет перебувають качки, мартини, крячки.

Раритетні види земноводних та плазунів: *Hyla orientalis* Bedr. (ЧКХО [16]), *Emys orbicularis* (L.) (ЧС МСОП, ЄЧС [17], ЧК ХО [16]).

Болото у заплаві р. Манжосівка (ліва притока р. Харків)

Розташоване на правобережній заплавної терасі річки, на території селища Велика Данилівка, між вулицями Леся Сердюка, Колосиста, Генерала Удовиченка та Ново-Солонецька.

Трав'яниста рослинність представлена болотами та луками, деревна – вільшаниками із *Alnus glutinosa* та вербняками з деревних та чагарникових видів *Salix* sp.

У складі раритетної флори види Orchidaceae (*Anacamptis laxiflora* (Lam.) R.M. Bateman, Pridgeon et M.W. Chase, *A. palustris* (Jacq.) R.M. Bateman, *Dactylorhiza incarnata* (L.) Soo, *D. maculata* (L.) Soo), занесені до ЧКУ [14] та види з ЧСХО [11]: *Inula helenium*, *Valeriana officinalis* L., *Sanguisorba officinalis* L.

Раритетні види ентомофауни *Papilio machaon* L., *Iphiclides podalirius* (L.), занесені до ЧКУ [15].

Заплава Кітлярчиного струмка (ліва притока р. Харків)

Розташована на території селища Велика Данилівка, між вулицями Смородинова, Старий Куток, Аральська та провулком Володі Дубініна.

Рослинний покрив заплави представлений болотними угрупованнями, заболоченими, справжніми та засоленими луками.

У складі раритетної флори види Orchidaceae (*Anacamptis laxiflora*, *A. palustris*, *Dactylorhiza incarnata*, *D. maculata*, *D. majalis* (Rchb.) P. F. Hunt & Summerhayes, *Orchis mascula* (L.) L. – перша знахідка цього виду в Харківській області) [9], занесені до ЧКУ [14] та види з ЧСХО [11]: *Inula helenium*, *Valeriana officinalis*, *Sanguisorba officinalis*.

Раритетні види ентомофауни *Papilio machaon*, *Iphiclides podalirius*, занесені до ЧКУ [15].

Квітуче озеро

Розташоване на лівобережній заплавної терасі р. Харків, вздовж провулку Квітучого та вул. Баланевського.

Вздовж берегів озера зростають смуги *Phragmites australis*, *Typha latifolia*, *T. angustifolia*.

У складі гніздового орнітокомплексу близько 20 видів, серед яких *Podiceps cristatus* L., *P. ruficollis* (Pall.), *Botaurus stellaris*, *Ixobrychus minutus*, *Cygnus olor* Gm., *Anas platyrhynchos*, *Fulica atra*, *Gallinula chloropus*, *Alcedo atthis* (ЄЧС [18]). Під час сезонних міграцій на озері перебуває значна кількість качок, мартинів, крячків.

На водоймі чисельні *Emys orbicularis* (ЧС МСОП, ЄЧС [17], ЧК ХО [16]) та різні види Odonata, серед яких *Anax imperator* Leach, занесений до ЧКУ [15].

Журавлівське водосховище

Розташоване у долині р. Харків. Водосховище перетинає вул. Героїв Праці. Один з великих водних об'єктів міста.

Вздовж берегів водойми масиви *Phragmites australis*, *Typha latifolia*, *T. angustifolia*, зростають чагарникові та деревні види *Salix* sp., *Elaeagnus angustifolia* L., *Acer negundo* L. На поверхні водного дзеркала відмічені угруповання глечиків жовтих (*Nupharetta luteae*) (ЗКУ [5], вид із ЧСХО [11]).

У складі гніздового орнітокомплексу понад 25 видів, серед яких *Podiceps cristatus*, *Botaurus stellaris*, *Ixobrychus minutus*, *Anas platyrhynchos*, *Falco tinnunculus* L. (ЧКХО [16]), *Fulica atra*, *Gallinula chloropus*, *Columba palumbus* L., *Alcedo atthis* (ЄЧС [18]).

Під час сезонних міграцій та літніх кочівель на водоймі перебувають *Cygnus olor*, *Anas* sp., *Larus* sp., *Chlidonias* sp. На цій ділянці долини р. Харків спостерігались пролітні зграї *Grus grus* L. (ЧКУ [15]). На незамерзаючих ділянках водосховища та русла річки концентруються зимівельні скупчення *Anas* sp.

На водоймі чисельна *Emys orbicularis* (ЧС МСОП, ЄЧС [17], ЧК ХО [16]), Раритетний вид ентомофауни *Anax imperator* (ЧКУ [15]).

Заплава р. Немишля (ліва притока р. Харків)

Ділянка заплави з двома озерами, між вулицями Немишлянська, Краснодарська та проїздом Петрівський.

По берегах озер угруповання *Phragmites australis*, *Typha latifolia*, *T. angustifolia*, *Scirpus sylvaticus*, кореневищних видів *Carex* sp., вербняки із чагарникових та деревних видів *Salix* sp. На мезофітних ділянках угруповання різнотравно-злакових луків зі значною участю декоративних і лікарських видів рослин. Раритетний вид флори *Inula helenium* (ЧСХО [11]).

У складі гніздового орнітокомплексу понад 20 видів, серед яких *Podiceps cristatus*, *Botaurus stellaris*, *Ixobrychus minutus*, *Anas platyrhynchos*, *Rallus aquaticus* (L.), *Fulica atra*, *Gallinula chloropus*, *Alcedo atthis* (ЄЧС [18]), *Columba palumbus*. Під час літніх кочівель та сезонних міграцій на озерах перебувають *Anas* sp., *Larus* sp., *Chlidonias* sp.

Раритетні види земноводних та плазунів: *Hyla orientalis* (ЧКХО [16]), *Emys orbicularis* ЧС МСОП, ЄЧС [17], ЧКХО [16]).

Басейн р. Уди

Заплава р. Уди (біля Полтавського шляху)

Ділянка правобережної та лівобережної заплави з руслом річки та старицею в околицях селища Хвилинка, від мосту на автошляху Харків-Київ (вул. Полтавський шлях) до окружної дороги.

У заплаві збереглися фрагменти унікальних лучних та водно-болотних рослинних угруповань – місця зростання *Gladiolus tenuis* M. Bieb. [13], представників Orchidaceae (*Anacamptis laxiflora*, *A. palustris*, *Dactylorhiza incarnata*, *D. maculata*, *D. majalis*) [10], занесених до ЧКУ [14] та видів з ЧСХО [11] (*Inula helenium*, *Nuphar lutea* (L.) Smith, *Acorus calamus*, *Persicaria bistorta* (L.) Samp., *Sanguisorba officinalis*, *Valeriana officinalis*), а також цінних лікарських та декоративних видів рослин.

У складі гніздового орнітокомплексу понад 25 видів, серед яких *Ixobrychus minutus*, *Anas platyrhynchos*, *Crex crex* L., *Gallinula chloropus*, *Vanelus vanelus* L. (ЧС МСОП, ЄЧС [17]), *Tringa totanus* (L.) (ЧКХО [16]), *Falco tinnunculus* L. (ЧКХО [16]), *Alcedo atthis* (ЄЧС [18]).

Раритетний вид плазунів: *Emys orbicularis* ЧС МСОП, ЄЧС [17], ЧКХО [16]).

Жовтневе водосховище (Удянський гідропарк)

Розташоване на ділянці р. Уди від мосту на автошляху Харків-Київ, між селищами Нова Баварія та Григорівка.

Жовтневий (Удянський) гідропарк є ключовою територією Удянського природного коридору місцевого значення екологічної мережі Харківської області [6].

По берегах водойми масиви *Phragmites australis*, *Typha latifolia*, *T. angustifolia*, кореневищних видів *Carex* sp., вербняки із чагарникових та деревних видів *Salix* sp., вільшаники із *Alnus glutinosa*.

У пониженнях берегів зростають види Orchidaceae (*Epipactis palustris* (L.) Crantz, *Dactylorhiza incarnata*, *D. maculata*) [10], занесені до ЧКУ [14]. У воді угруповання формації глечиків жовтих (*Nupharetta luteae*) (ЗКУ [5], вид із ЧСХО [11]).

У складі гніздового орнітокомплексу понад 25 видів, серед яких *Podiceps cristatus*, *P. ruficollis*, *Ixobrychus minutus*, *Anas platyrhynchos*, *Fulica atra*, *Gallinula chloropus*, *Larus ridibundus* (L.), *Chlidonias niger* (L.), *Sterna hirundo* L. (ЧКХО [16]), *Columba palumbus*, *Alcedo atthis* (ЄЧС [17]). Під час літніх кочівель та сезонних міграцій на водоймі перебувають *Cygnus olor*, *Anas* sp., *Larus* sp., *Chlidonias* sp.

На водоймі чисельна *Emys orbicularis* (ЧС МСОП, ЄЧС [18], ЧКХО [16]). Із ссавців тут мешкають *Castor fiber* L. та *Ondatra zibethicus* (L.).

Болото на правобережній надзаплавній терасі р. Уди

Розташоване поблизу залізничної станції Хвилінка, вздовж залізничної колії, вулиці Гуківської, провулку Ранковий, в'їзду Гуківський, вул. Транспортна.

Рослинність представлена болотними угрупованнями з домінуванням *Phragmites australis*, купинних та кореневищних видів *Carex* sp., *Equisetum palustre* L. Зростають чагарникові та деревні види *Salix* sp., *Betula pendula* Roth., *Populus alba* L.

У складі раритетної флори види Orchidaceae (*Anacamptis laxiflora*, *A. palustris*, *Dactylorhiza incarnata*) [9], занесені до ЧКУ [14], та види з ЧСХО [11]: *Inula helenium*, *Sanguisorba officinalis*, *Valeriana officinalis*.

Орнітокомплекс представлений понад 15 видами.

Заплава р. Уди (поблизу залізничної станції Новожанове)

Ділянка лівобережної заплави розташована у трикутнику між залізничними коліями поблизу селищ Новоселівка та Новожанове.

Рослинність представлена болотними угрупованнями з домінуванням кореневищних видів *Carex* sp., *Equisetum palustre*, *Phragmites australis*, *Typha latifolia*, *T. angustifolia*. Зростають вільшаники із *Alnus glutinosa*, березняки із *Betula pendula*, тополівники із *Populus alba*, чагарникові та деревні види *Salix* sp. Піщаний масив вкритий псамофітною рослинністю.

У складі раритетної флори *Botrychium lunaria* (L.) Sw., *Anacamptis coriophora* (L.) R.M. Bateman, Pridgeon et M.W. Chase s.l., *A. palustris*, *Dactylorhiza incarnata*, *Epipactis palustris*, занесені до ЧКУ [14] та види з ЧСХО [11]: *Ophioglossum vulgatum* L., *Dryopteris carthusiana* (Vill.) H.P. Fuchs, *Pyrola rotundifolia* L., *Sanguisorba officinalis*, *Valeriana officinalis*, *Dianthus stenocalyx* (Trautv.) Juz., *Inula helenium* [3, 1].

Раритетні види фауністичного комплексу: *Hyla orientalis* (ЧКХО [16]), *Bufo bufo* (L.) (ЧКХО [16]), *Emys orbicularis* (ЧС МСОП, ЄЧС [18], ЧКХО [16]), *Eremias arguta* (Pall.) (ЄЧС [18], ЧКХО [16]), *Falco subbuteo* L. (ЧКХО [16]).

Заплава р. Ліднянка (права притока р.Уди)

Ділянка заплави та Перший Ліднянський ставок розташовані на території селища Лідне вздовж вул. Горнинська та провулку Горянський.

Рослинність представлена болотними угрупованнями з домінуванням *Phragmites australis*, *Typha latifolia*, *T. angustifolia*, кореневищних та купинних видів *Carex* sp., *Equisetum palustre*. Зростають вільшаники із *Alnus glutinosa*, чагарникові та деревні види *Salix* sp. На крутосхилах, що оточують заплавної частину угруповання різнотравно-злакових суходільних луків з участю декоративних та лікарських видів рослин. Раритетні види флори з ЧСХО [11]: *Inula helenium*, *Sanguisorba officinalis*, *Valeriana officinalis*.

У складі орнітокомплексу понад 15 видів, серед яких *Ixobrychus minutus*, *Anas platyrhynchos*, *Fulica atra*, *Gallinula chloropus*, *Alcedo atthis* (ЄЧС [17]).

Раритетні види земноводних та плазунів: *Hyla orientalis* (ЧКХО [16]), *Emys orbicularis* (ЧС МСОП, ЄЧС [18], ЧКХО [16]).

Оснoв'янське озеро

Розташоване на лівобережній надзаплавній (боровій) терасі р. Уди біля вулиць Достоевського, Свистунівська, Озерна.

По берегах озера та на островах зростають угруповання *Phragmites australis*, *Typha latifolia*, *T. angustifolia*, видів *Carex* sp., чагарникові та деревні види *Salix* sp.

У складі гніздового орнітокомплексу понад 15 видів, серед яких *Podiceps cristatus*, *Botaurus stellaris*, *Ixobrychus minutus*, *Anas platyrhynchos*, *Fulica atra*, *Gallinula chloropus*, *Alcedo atthis* (ЄЧС [17]). Під час літніх кочівель та сезонних міграцій на водоймі концентруються чисельні скупчення водоплавних та навколоводних птахів (гагари, чаплі, лебеді, качки, пастушкові, кулики, мартини, крячки).

Раритетний вид плазунів *Emys orbicularis* (ЧС МСОП, ЄЧС [18], ЧКХО [16]).

Долина р. Жихорець (ліва притока р. Уди)

Заплава р. Жихорець

Ділянка заплави річки біля селищ Павленки та Федорці.

Рослинність представлена болотними угрупованнями з домінуванням кореневищних та купинних видів *Carex* sp., *Equisetum fluviatile*, *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim, *Typha latifolia*, *T. angustifolia*, *Phragmites australis*. Зростають чагарникові та деревні види *Salix* sp. Раритетний вид флори *Inula helenium* з ЧСХО [11].

На лівобережних схилах та балках, що оточують заплавної частину, угруповання різнотравно-злакових суходільних луків з участю *Salvia nutans* L. та *S. pratensis* L. (ЧСХО [11]).

Орнітокомплекс представлений понад 15 видів, серед яких *Ixobrychus minutus*, *Anas platyrhynchos*, *Fulica atra*, *Gallinula chloropus*, *Alcedo atthis* (ЄЧС [17]).

Раритетні види земноводних та плазунів: *Hyla orientalis* (ЧКХО [16]), *Emys orbicularis* (ЧС МСОП, ЄЧС [18], ЧКХО [16]).

Ставки-відстійники міських очисних споруд водовідведення №2

Комплекс ставків-відстійників розташований на лівобережній заплавної терасі р. Жихорець біля селища Безлюдівка.

Ставки мають різний рівень води з замуленими ділянками із заростями *Phragmites australis* та іншої водно-болотної рослинності по берегах. Є ставки, повністю зарослі *Phragmites australis*. На берегах ставків уздовж дамб зростають чагарникові та деревні види *Salix* sp., *Acer negundo*, *Sambucus nigra* L., *Robinia pseudoacacia* L.

На ставках сформувався унікальний для Харкова орнітокомплекс, у складі якого понад 30 видів [8]. Тут розташовані чисельні колоніальні поселення мартинів, крячків, куликів. Раритетні види гніздового орнітокомплексу: *Himantopus himantopus* (L.) (ЧКУ [14]), *Vanelus vanelus* (ЧС МСОП, ЄЧС [17]), *Tringa totanus* (ЧКХО [16]), *Sterna hirundo* (ЧКХО [16]). Під час сезонних міграцій на ставках концентруються чисельні скупчення різних видів куликів. У різні періоди року тут перебувають хижі птахи: *Milvus migrans* Bodd. (ЄЧС [17], ЧКУ [14]), *Falco tinnunculus* (ЧКХО [16]), *Buteo buteo* (L.) та інші, що живляться мишоподібними гризунами.

Озеро Новий Лиман

Розташоване на лівобережній заплавної терасі р. Жихорець поряд з комплексом ставків-відстійників міських очисних споруд водовідведення № 2 біля селища Безлюдівка.

По берегах озера угруповання *Phragmites australis*, *Typha latifolia*, *T. angustifolia*. Зростають чагарникові та деревні види *Salix* sp.

У складі гніздового орнітокомплексу понад 15 видів, серед яких *Podiceps cristatus*, *P. ruficollis*, *Botaurus stellaris*, *Ixobrychus minutus*, *Anas platyrhynchos*, *Fulica atra*, *Gallinula chloropus*. На озері живляться та відпочивають птахи, що гніздяться поряд на ставках-відстійниках очисних споруд. Під час літніх кочівель, сезонних міграцій та зимівлі на водоймі концентруються чисельні скупчення водоплавних та

навколоводних птахів (лебеді, качки, пастушкові, мартини, крячки). Був зареєстрований *Heliaeetus albicilla* (L.) [8], занесений до ЧКУ [15].

Озеро Циганка

Розташоване на правобережній надзаплавній терасі р. Жихорець біля Мереш'янського шосе, вздовж залізничної колії.

Відкрите водне дзеркало глибоководної частини озера оточене великими масивами *Phragmites australis*. По берегах зростають чагарникові та деревні види *Salix* sp.

У складі гніздового орнітокомплексу понад 15 видів, серед яких *Podiceps cristatus*, *P. ruficollis*, *Botaurus stellaris*, *Ixobrychus minutus*, *Anas platyrhynchos*, *Fulica atra*, *Gallinula chloropus*. Під час літніх кочівель та сезонних міграцій на водоймі чисельні скупчення *Anas* sp., *F. atra*, *Larus ridibundus*, *L. cachinnans* Pall., *Chlidonias* sp.

Болото у заплаві р. Жихорець

Розташоване на території селища Жихор між вулицями Сінна, Комишова, Мічуріна.

Рослинність представлена болотними угрупованнями з домінуванням *Phragmites australis*, *Typha latifolia*, *T. angustifolia*, кореневищних та купинних видів *Carex* sp., *Equisetum palustre*, *Epilobium angustifolium* L. Зростають чагарникові та деревні види *Salix* sp. Раритетний вид флори *Inula helenium* з ЧСХО [11].

У складі орнітокомплексу близько 15 видів.

Раритетний вид плазунів *Emys orbicularis* (ЧС МСОП, ЄЧС [18], ЧКХО [16]).

Басейн р. Лопань (ліва притока р.Уди)

Заплава р. Лопань

Ділянка долини річки від окружної дороги вздовж вулиць Підгірна та Набережна.

Широке русло річки з затоками. Болотні масиви з угрупованнями *Phragmites australis*, *Typha latifolia*, *T. angustifolia*, *Carex* sp. По берегах зростають *Alnus glutinosa*, *Betula pendula*, деревні та чагарникові види *Salix* sp.

У складі раритетної флори види з ЧСХО [11]: *Nymphaea alba* L., *Nuphar lutea*.

Орнітокомплекс представлений понад 15 видами, серед яких *Botaurus stellaris*, *Ixobrychus minutus*, *Anas platyrhynchos*, *Fulica atra*, *Gallinula chloropus*.

Раритетні види фауни: *Anax imperator* (ЧКУ [15]), *Hyla orientalis* (ЧКХО [16]), *Emys orbicularis* (ЧС МСОП, ЄЧС [18], ЧКХО [16]), *Alcedo atthis* (ЄЧС [17]).

Долина р. Сухий Жихор (ліва притока р. Лопань)

Озеро Кар'єр

Озеро утворилось на місці піщаного кар'єру. Розташоване поблизу проспекту Гагаріна, біля мотелю "Дружба".

По берегах озера зростають угруповання *Phragmites australis*. Круті схили навколо озера поросли деревно-чагарниковою рослинністю (*Salix* sp., *Populus* sp., *Populus tremula* L., *Acer* sp., *Fraxinus excelsior* L., *Elaeagnus angustifolia*).

У складі орнітокомплексу близько 15 видів, серед яких *Ixobrychus minutus*, *Anas platyrhynchos*, *Gallinula chloropus*.

Болото у заплаві р. Сухий Жихор (селище Косолапівка)

Розташоване на правобережній заплавної терасі річки між вулицями Вокзальна, Жихорська, Зелена, Волинська.

Рослинність представлена болотними угрупованнями з домінуванням *Phragmites australis*, *Typha latifolia*, *T. angustifolia*, купинних та кореневищних видів *Carex* sp., *Equisetum fluviatile*, *Acorus calamus*. Зростають чагарникові та деревні види *Salix* sp.

У складі раритетної флори вид з Orchidaceae *Dactylorhiza maculate* [9], занесений до ЧКУ [14], та *Inula helenium* з ЧСХО [11].

Орнітокомплекс представлений понад 15 видами, серед яких *Botaurus stellaris*, *Ixobrychus minutus*, *Anas platyrhynchos*, *Circus aeruginosus* (L.), *Fulica atra*, *Gallinula chloropus*, *Columba palumbus*.

Раритетні види фауни: *Hyla orientalis* (ЧКХО [16]), *Emys orbicularis* (ЧС МСОП, ЄЧС [18], ЧКХО [16]).

Болото у заплаві р. Сухий Жихор (селище Основа)

Розташоване на правобережній заплавної терасі річки вздовж вулиць Валдайська та Оранжева

Болото з ділянками відкритої води з домінуючими угрупованнями *Phragmites australis*. У північній частині угруповання купинних видів *Carex* sp., ділянка справжніх лук з різнотравно-злаковими угрупованнями, масив чагарникових та деревних видів *Salix* sp., *Populus* sp. Раритетний вид флори *Inula helenium* (ЧСХО [11]).

У складі орнітокомплексу понад 20 видів, серед яких *Podiceps cristatus*, *P. ruficollis*, *Botaurus stellaris*, *Ixobrychus minutus*, *Anas platyrhynchos*, *Circus aeruginosus*, *Rallus aquaticus*, *Fulica atra*, *Gallinula chloropus*, *Columba palumbus*, *Larus ridibundus*, *L. cachinnans*).

Раритетні види фауни: *Hyla orientalis* (ЧКХО [16]), *Emys orbicularis* (ЧС МСОП, ЄЧС [18], ЧКХО [16]).

Загальна площа водно-болотних угідь, які потребують особливої охорони на території Харкова складає понад 1000 га.

Витоки річок

Окрім водно-болотних угідь, які потребують особливої охорони в Харкові, особливої уваги потребують місця витоку малих річок, що формують водотоки річок Манжосівка, Жихорець та Студенок.

Витік р. Манжосівка (ліва притока р. Харків) розташований на території селища Північна Салтівка вздовж вул. Метробудівників.

Витік р. Жихорець (ліва притока р. Уди) розташований на території Індустріального р-ну біля проспекту Олександрівський, вздовж вул. Раскової.

Витік р. Студенок (ліва притока р. Уди) розташований на території Індустріального р-ну біля вулиць Молодіжна, Луї Пастера, вздовж провулка Сусаніна.

Лісові комплекси

На території Харкова збереглися тільки фрагменти дубових та соснових лісів, що вкривали західну частину міста до його виникнення суцільним покривом, який розрізався річковими долинами.

Зараз ці фрагменти представлені окремими лісовими урочищами, але вони зберегли стан лише наближений до природного і за складом домінантів нагадують праліси, що існували тут у минулому.

Тим не менш, у цих урочищах існує багата флора і фауна, але внаслідок фрагментації лісового покриву та неодноразового знищення цих осередків існування рослин та тварин, значна кількість видів вважається зникаючими та рідкісними і потребують охорони.

Лісові комплекси збереглися, переважно, на півночі міста – урочища Сокольники-Помірки, Олексіївське, Тищенки, Бір та на заході – урочища Григорівський бір, Щербачеве та Васищенківський бір.

Урочища Сокольники-Помірки та Олексіївське.

Масив, який залишився від діброви, що вкривала в минулому територію майбутнього Харкова – це залишок лісів, які збереглися на плакорі між річками Лопань та Харків.

Природоохоронна цінність цього лісового комплексу в тому, що він знаходиться на південній межі поширення дібров у Лісостеповій зоні України, тому і флора та фауна їх також унікальна.

Урочище Бір.

Розташоване на північному сході міста, на території селища Велика Данилівка, на піщаній терасі р. Харків, біля окружної дороги.

Лісовий масив сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) віком 60-90 років. Природоохоронну цінність має вільхово-осокове болото площею 5,9 га на півночі урочища. У складі раритетної флори *Dryopteris carthusiana*, занесений до ЧСХО [11]).

Урочище Щербачеве.

Розташоване на півдні міста на піщаній терасі р. Уди між селищами Жихор та Гути, вздовж Трипільського провулка, вулиць Крюківська та Кар'єрна.

Лісовий масив сосни звичайної (*Pinus sylvestris*) віком 70-90 років з березняками та заболоченими ділянками у пониженнях. Природоохоронну цінність мають лісові ділянки у кв. 6 з берези повислої (*Betula pendula*) та водно-болотних угруповань. У складі раритетної флори *Dryopteris carthusiana*, занесений до ЧСХО [11].

Раритетні види фауністичного комплексу: *Formica rufa* L. (ЧС МСОП, ЄЧС), *Hyla orientalis* (ЧКХО [16]), *Bufo bufo* (ЧКХО [16]), *Emys orbicularis* (ЧС МСОП, ЄЧС [18], ЧКХО [16]), *Eremias arguta* (ЄЧС [18], ЧКХО [16]), *Coronella austriaca* Laur. (ЧКУ [15]).

Урочище Васищенківський бір.

Розташоване на крайньому півдні міста, на піщаній терасі р. Уди. Навколо урочища розташоване селище Жихор.

Лісовий масив сосни звичайної (*Pinus sylvestris*) віком 80-110 років. Найбільшу природоохоронну цінність мають кв. 28 та 29 (площа 68 га), які знаходяться у пониженні. Тут поширені вільхово-осокові та високотравні болота, вологі луки.

У складі раритетної флори папороті – *Athyrium filix-femina* (L.) Roth, *Thelypteris palustris* Schott, *Dryopteris carthusiana*, занесені до ЧСХО [11].

Раритетні види фауністичного комплексу: *Formica rufa* L. (ЧС МСОП, ЄЧС), *Hyla orientalis* (ЧКХО [16]), *Bufo bufo* (ЧКХО [16]), *Emys orbicularis* (ЧС МСОП, ЄЧС [18], ЧКХО [16]), *Eremias arguta* (ЄЧС [18], ЧКХО [16]), *Coronella austriaca* (ЧКУ [15]).

Загальна площа лісових ділянок у складі лісових урочищ, які потребують особливої охорони на території Харкова – понад 2300 га.

Природно-заповідний фонд м. Харків

Частина залишків природних територій, які ще збереглися на території Харкова вже охороняються в складі ПЗФ України. Мережа ПЗФ м. Харків представлена 17 територіями та об'єктами, серед яких 14 природних територій та об'єктів та 3 штучно створені об'єкти [7, 12]. Загальна площа ПЗФ міста 1585,5 га, що складає 4,5% від площі міста.

Існуючі корінні природні комплекси охороняються лише частково у складі мережі ПЗФ у межах 6 заповідних об'єктів на площі 1505 га [7, 12], що складає 44,5% від загальної площі природних комплексів, які ми виявили на території м. Харків.

Регіональний ландшафтний парк Сокольники-Помірки

Парк площею 1104,6 га створено з метою збереження в природному стані масиву діброви, який зберігся на території урочища Сокольники-Помірки в межах м. Харків та упорядкування рекреаційного використання його природних комплексів мешканцями міста.

Лісовий заказник місцевого значення Григорівський бір

Заказник площею 76 га створено з метою збереження масиву соснового лісу штучного походження на надзаплавній терасі долини р. Уди та упорядкування його рекреаційного використання мешканцями міста. Розташований між проспектом Любові Малої та Григорівським шосе.

Гідрологічний заказник місцевого значення Крюківський

Розташований у південно-західній частині м. Харків, в Основ'янському районі, у заплаві р. Уди вздовж вул. Крюківська. Загальна площа 39,3 га. На території заказника зберігається низка видів рослин та тварин, які потребують особливої охорони.

Ботанічна пам'ятка природи місцевого значення Сокольники-Помірки

Пам'ятка природи зберігає найбільш цінну лісову ділянку площею 163,1 га у складі Регіонального ландшафтного парку Сокольники-Помірки, витік р. Саржинка.

Ботанічна пам'ятка природи місцевого значення Помірки

Пам'ятка природи зберігає найбільш цінну лісову ділянку площею 120,4 га у складі Регіонального ландшафтного парку Сокольники-Помірки, витік р. Олексіївка.

Ботанічна пам'ятка природи місцевого значення Залютинська

Пам'ятка природи зберігає фрагмент заплави р. Уди – місця зростання раритетних видів рослин: 7 видів Orchidaceae, занесених до ЧКУ [14] та 10 видів з ЧСХО [11].

У складі раритетної флори цих територій ПЗФ представлено 13 видів, занесених до ЧКУ [14]: *Allium ursinum* L., *Tulipa quercetorum* Klokov et Zoz, *Anacamptis coriophora*, *A. palustris*, *Dactylorhiza incarnata*, *D. maculate*, *D. majalis*, *Epipactis helleborine* (L.) Crantz, *E. palustris*, *Listera ovata* (L.) R.Br., *Neottia nidus-avis* (L.) Rich., *Platanthera bifolia* (L.) Rich., *Pulsatilla pratensis* (L.) Mill. s.l. [7, 12, 13].

На територіях досліджених природних комплексів, які не охороняються, виявлено 10 раритетних видів рослин, занесених до ЧКУ [14], і серед них *Botrychium lunaria*, *Gladiolus tenuis*, *Anacamptis laxiflora*, *Orchis mascula*, які не зустрічаються на існуючих територіях ПЗФ міста.

Висновки

На території міста Харкова малопорушені природні комплекси збереглися на площі 3 379 га. Це 22 водно-болотні угіддя та 4 лісові урочища, які потребують особливої охорони як середовища існування видів рослин і тварин, які занесені до Червоної книги України. Серед них:

- водно-болотні комплекси у долинах річок Харків, Уди, Лопань та фрагменти лучної рослинності, що з ними межують;
- фрагменти ізольованих один від одного лісових урочищ, вкритих дібровами та борами.

Зараз малопорушені природні комплекси охороняються у складі мережі ПЗФ у межах 6 заповідних об'єктів на площі 1 505 га, що складає 44,5% від загальної площі виявлених нами природних територій м. Харків.

Потребують подальшого заповідання ще 15 найбільш цінних природних комплексів, де збереглось значне раритетне фіто- та зоорізноманіття. Це 12 водно-болотних угідь та фрагменти трьох лісових урочищ:

- фрагменти долини р. Уди (ділянка заплави біля Полтавського шляху, болото поблизу залізничної станції Хвилінка та ділянка заплави біля залізничної станції Новожанове),
- фрагменти долини р. Харків (болото у заплаві р. Манжосівка та заплава Кітлярчиного струмка у селищі Велика Данилівка),
- ділянка заплави р. Лопань біля окружної дороги,
- ділянка заплави р. Немишля вздовж вул. Немишлянська,
- фрагменти долини р. Сухий Жихор (озеро Циганка, 2 болота на території селищ Основа та Косолапівка),

- фрагменти долини р. Жихорець (озеро Новий Лиман, болото в селищі Жихор),
- три ділянки у лісових урочищах Бір, Щербакове, Васищенківський бір.

У складі біорізноманіття досліджених природних комплексів виявлено 37 раритетних видів (17 видів флори та 20 видів фауни), занесених ЧКУ (2009), серед яких 8 видів не зустрічаються на існуючих заповідних територіях міста.

Література

1. Бенгус Ю. В., Садрицька А. І. Знахідки рослин Червоної книги України в м. Харкові та Харківській області // Знахідки рослин і грибів Червоної книги України та Бернської конвенції (Резолюція 6). Т. 1. / наук. ред. А. А. Куземко. Київ – Чернівці: Друк Арт, 2019. С. 45–46.
2. Гамуля Ю. Г., Звягинцева К. А. Особенности зонирования местообитаний природной и антропогенной растительности г. Харькова // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія: біологія. Вип. 11, № 905. 2010. С. 43–54.
3. Друлёва И. В., Гамуля Ю. Г. Новое местонахождение популяции редкого вида папоротника *Botrychium lunaria* (L.) Sw. в черте г. Харькова // Сб. научн. статей: Научные исследования на территориях природно-заповедного фонда Харьковской области. Харьков, 2003. С. 41–43.
4. Жалнін А. В., Горелова Л. М. Сучасний стан лісової рослинності у заказниках «Помірки» та «Помірки–Сокольники» Харківського лісопарку // Лісівництво і агролісомеліорація. Харків: РВП «Оригінал», 1999. Вип. 95. С. 103–108.
5. Зелена книга України / під загальною редакцією члена-кореспондента НАН України Я. П. Дідуха. К.: Альтерпрес, 2009. 448 с.
6. Клімов О. В. Екологічна мережа Харківської області / О. В. Клімов, О. В. Філатова, Г. С. Надточій та ін. Харків: Райдер, 2008. 167 с.
7. Клімов О. В. Природно-заповідний фонд Харківської області. Довідник. / О. В. Клімов, О. Г. Вовк., О. В. Філатова та ін. Харків: Райдер, 2005. 304 с.
8. Надточій А. С., Осадчук В. В. Орнитокомплекс прудов-отстойников Безлюдовских очистных сооружений // Птицы и окружающая среда. Сб. научн. работ под ред. Русева И. Т., Стойловского В. П., Корзюкова А. И., Кивганова Д. А. Одесса: Апрель, 2013. С. 134–137.
9. Надточій Г. С. Знахідки нових місцезростань рослин родини зозулинцеві (Orchidaceae) на території м. Харків // Зустрічі видів, занесених до Червоної книги

- України та міжнародних угод. (Серія: «Conservation Biology in Ukraine». – Вип. 19.). Київ – Чернівці: Друк Арт, 2020. – С. 335–336.
10. Надточій Г. С. Знахідки представників родини Зозулинцеві (Orchidaceae) у долині річки Уди (Харківська область) // Знахідки рослин і грибів Червоної книги України та Бернської конвенції (Резолюція 6). Т. 1. / наук. ред. А. А. Куземко. Київ – Чернівці: Друк Арт, 2019. С. 45–46.
11. Офіційні переліки регіонально рідкісних рослин адміністративних територій України (довідкове видання) / Укладачі: докт. біол. наук, проф. Т. Л. Андрієнко, канд. біол. наук М. М. Перегрим. Київ: Альтерпрес, 2012. 148 с.
12. Філатова О. В., Клімов О. В. Мережа територій природно-заповідного фонду Харкова // Шляхи оптимізації природно-заповідного фонду міст України у період формування локальних екомереж: матеріали Всеукраїнського науково-практичного семінару (14-15 лютого 2012р. м. Київ. Полтава, Дивосвіт, 2013. С. 9–13.
13. Філатова О. В., Надточій Г. С., Вовк О. Г. Знахідки рослин, занесених до Червоної книги України, в Лісостеповій зоні Харківській області // Знахідки рослин і грибів Червоної книги України та Бернської конвенції (Резолюція 6). Т. 1. / наук. ред. А. А. Куземко. Київ – Чернівці: Друк Арт, 2019. С. 391–416.
14. Червона книга України. Рослинний світ / за ред. Я. П. Дідуха. Київ: Глобалконсалтинг, 2009. 900 с.
15. Червона книга України. Тваринний світ / за ред. І. А. Акімова. Київ: Глобалконсалтинг, 2009. 600 с.
16. Червона книга Харківської області. Тваринний світ / За ред. Г. О. Шандикова, Т. А. Атемасової. Гол. ред. В. А. Токарський. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2013. 472 с.
17. BirdLife International (2015). European Red List of Birds. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. URL: https://www.researchgate.net/publication/298789814_The_European_Red_List_of_Birds_2015
18. Cox, N. A. and Temple, H. J. 2009. European Red List of Reptiles. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. URL: https://ec.europa.eu/environment/nature/conservation/species/redlist/downloads/European_reptiles.pdf

Referenses

1. Bengus Yu. V., Sadrycz`ka A. I. Znaxidky` rosly`n Chervonoyi kny`gy` Ukrayiny` v m. Xarkovi ta Xarkivs`kij oblasti // Znaxidky` rosly`n i gry`biv Chervonoyi kny`gy` Ukrayiny` ta Berns`koyi konvenciyi (Rezolyuciya 6). T. 1. / nauk. red. A.A. Kuzemko. Ky`yiv – Chernivci: Druk Art, 2019. S. 45–46.
2. Gamulja Ju. G., Zvjaginceva K. A. Osobennosti zonirovaniya mestoobitanij prirodnoj i antropogennoj rastitel'nosti g. Khar'kova // Visnik Kharkivs'kogo nacional'nogo universitetu imeni V.N. Karazina. Serija: biologija. Vip. 11, № 905. 2010. S. 43–54.
3. Druljova I. V., Gamulja Ju. G. Novoe mestonakhozhdenie populjacji redkogo vida paporotnika *Botrychium lunaria* (L.) Sw. v cherte g. Khar'kova // Sb. nauchn. statej: Nauchnye issledovanija na territorijakh prirodno-zapovednogo fonda Khar'kovskoj oblasti. Khar'kov, 2003. S. 41–43.
4. Zhalnin A. V., Goryelova L. M. Suchasny`j stan lisovoyi rosly`nnosti u zakazny`kax «Pomirky`» ta «Pomirky`–Sokol`ny`ky`» Xarkivs`kogo lisoparku // Lisivny`cztvo i agrolisomelioraciya. Xarkiv: RVP «Ory`ginal», 1999. Vy`p. 95. S. 103–108.
5. Zelena kny`ga Ukrayiny` / pid zagal`noyu redakciyeyu chlena-korespondenta NAN Ukrayiny` Ya.P. Diduxa – K.: Al`terpres, 2009. – 448 s.
6. Klimov O. V. Ekologichna merezha Xarkivs`koyi oblasti / O. V. Klimov, O. V. Filatova, G. S. Nadtochij ta in. Xarkiv: Rajder, 2008. 167 s.
7. Klimov O. V. Pry`rodno-zapovidny`j fond Xarkivs`koyi oblasti. Dovidny`k. / O. V. Klimov, O. G. Vovk., O. V. Filatova ta in. Xarkiv: Rajder, 2005. 304 s.
8. Nadtochij A. S., Osadchuk V. V. Ornitokompleks prudov-otstojnikov Bezljudovskikh ochistnykh sooruzhenij // Pticy i okruzhajushhaja sreda. Sb. nauchn. robot pod red. Ruseva I.T., Stojlovskogo V.P., Korzjukova A.I., Kivganova D.A. Odessa: April', 2013. S. 134–137.
9. Nadtochij G. S. Znaxidky` novy`x miscezrostan` rosly`n rody`ny` zozuly`ncevi (Orchidaceae) na tery`toriyi m. Xarkiv // Zustrichi vy`div, zaneseny`x do Chervonoyi kny`gy` Ukrayiny` ta mizhnarodny`x ugod. (Seriya: «Conservation Biology in Ukraine». – Vy`p. 19.). Ky`yiv – Chernivci: Druk Art, 2020. – C. 335–336.
10. Nadtochij G. S. Znaxidky` predstavny`kiv rody`ny` Zozuly`ncevi (Orchidaceae) u doly`ni richky` Udy` (Xarkivs`ka oblast`) // Znaxidky` rosly`n i gry`biv Chervonoyi kny`gy` Ukrayiny` ta Berns`koyi konvenciyi (Rezolyuciya 6). T. 1. / nauk. red. A.A. Kuzemko. Ky`yiv – Chernivci: Druk Art, 2019. S. 45–46.
11. Oficijni pereliky` regional`no ridkisny`x rosly`n administraty`vny`x tery`torij Ukrayiny` (dovidkove vy`dannya) / Ukladachi: dokt. biol. nauk, prof. T. L. Andriyenko, kand. biol. nauk M. M. Peregry`m. Ky`yiv: Al`terpres, 2012. 148 s.

12. Filatova O. V., Nadtochij G. S., Vovk O. G. *Znaxidky` rosly`n, zaneseny`x do Chervonoyi kny`gy` Ukrayiny`, v Lisostepovij zoni Xarkivs`kij oblasti // Znaxidky` rosly`n i gry`biv Chervonoyi kny`gy` Ukrayiny` ta Berns`koyi konvenciyi (Rezolyuciya 6). T. 1. / nauk. red. A.A. Kuzemko. Ky`yiv – Chernivci: Druk Art, 2019. S. 391–416.*
13. Filatova O. V., Klimov O. V. *Merezha tery`torij pry`rodno-zapovidnogo fondu Xarkova // Shlyaxy` opty`mizaciyi pry`rodno-zapovidnogo fondu mist Ukrayiny` u period formuvannya lokal`ny`x ekomerezh: materialy` Vseukrayins`kogo naukovoprakty`chnogo seminaru (14-15 lyutogo 2012r. m. Ky`yiv. Poltava, Dy`vosvit, 2013. S. 9–13.*
14. *Chervona kny`ga Ukrayiny`. Rosly`nny`j svit / za red. Ya. P. Diduxa. Ky`yiv: Globalkonsalty`ng, 2009. 900 s.*
15. *Chervona kny`ga Ukrayiny`. Tvary`nny`j svit / za red. I. A. Akimova. Ky`yiv: Globalkonsalty`ng, 2009. 600 s.*
16. *Chervona kny`ga Xarkivs`koyi oblasti. Tvary`nny`j svit / Za red. G. O. Shandy`kova, T. A. Atemasovoyi. Gol. red. V. A. Tokars`ky`j. Xarkiv: XNU imeni V. N. Karazina, 2013. 472 s.*
17. Cox, N.A. and Temple, H.J. 2009. European Red List of Reptiles. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. URL: https://ec.europa.eu/environment/nature/conservation/species/redlist/downloads/European_reptiles.pdf
18. BirdLife International (2015). European Red List of Birds. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. URL: https://www.researchgate.net/publication/298789814_The_European_Red_List_of_Birds_2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Клімов Олександр Васильович – завідувач «Сектору досліджень природних територій особливої охорони», кандидат географічних наук. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УКРНДІЕП, м. Харків; тел. (057) 702-16-02, e-mail: klimalexvas@gmail.com.

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0949-904X>

Климов Александр Васильевич – заведующий «Сектора исследований природных территорий особой охраны», кандидат географических наук. Научно-исследовательское учреждение «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем», УКРНИИЭП., г. Харьков; тел. (057) 702-16-02

e-mail: klimalexvas@gmail.com., Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0949-904X>

Klimov Oleksandr Vasilievich – Head of the Special Protected Areas Research Area Sector Candidate of Geographical Sciences. Ukrainian Research Institute of Environmental Problems, USRIEP. Kharkiv; phone: (057)702-16-02, e-mail: klimalexvas@gmail.com. Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0949-904X>

Надточій Ганна Семенівна – старший науковий співробітник. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УКРНДІЕП, м. Харків; тел. (057) 702-16-02, e-mail: anna_sylvia@ukr.net, Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2789-3286>

Надточій Анна Семеновна – старший научный сотрудник. Научно-исследовательское учреждение «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем», УКРНИИЭП., г. Харьков; тел. (057) 702-16-02, e-mail: anna_sylvia@ukr.net, Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2789-3286>

Nadtochiy Hanna Semenivna – Senior researcher. Ukrainian Research Institute of Environmental Problems, USRIEP. Kharkiv; phone: (057)702-16-02 e-mail: anna_sylvia@ukr.net Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2789-3286>

Філатова Ольга Віталіївна – кандидат біологічних наук, доцент. Національний фармацевтичний університет, м. Харків. e-mail: ztaxonf@gmail.com., Orcid: <http://orcid.org/0000-0003-0507-8192>

Филатова Ольга Витальевна – кандидат биологических наук, доцент. Национальный фармацевтический университет, г. Харьков. e-mail: ztaxonf@gmail.com, Orcid: <http://orcid.org/0000-0003-0507-8192>

Filatova Olga Vitalievna – PhD in Biological Sciences, Docent. National University of Pharmacy, Kharkiv, e-mail: ztaxonf@gmail.com, Orcid: <http://orcid.org/0000-0003-0507-8192>

Клімов Дмитро Олександрович – науковий співробітник. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УКРНДІЕП, м. Харків; тел. (057) 702-16-02, e-mail: klimovd0@gmail.com, Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6266-2753>

Климов Дмитрий Александрович – научный сотрудник. Научно-исследовательское учреждение «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем», УКРНИИЭП., г. Харьков; тел. (057) 702-16-02, e-mail: klimovd0@gmail.com, Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6266-2753>

Klimov Dmytro Oleksandrovych – Researcher. Ukrainian Research Institute of Environmental Problems, USRIEP. Kharkiv; phone: (057)702-16-02 e-mail: klimovd0@gmail.com, Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6266-2753>

Гайдрих Инна Миколаївна – науковий співробітник. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УКРНДІЕП, м. Харків; тел. (057) 702-16-02, e-mail: gaydrikh@gmail.com., Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9239-8762>

Гайдрих Инна Николаевна – научный сотрудник. Научно-исследовательское учреждение «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем», УКРНИИЭП., г. Харьков; тел. (057) 702-16-02, e-mail: gaydrikh@gmail.com., Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9239-8762>

Gaydrikh Inna Mykolayivna – Researcher. Ukrainian Research Institute of Environmental Problems, USRIEP. Kharkiv; phone: (057)702-16-02 e-mail: gaydrikh@gmail.com., Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9239-8762>

С. М. ОСТРОУМОВ

ПРОГНОЗУВАННЯ АВАРІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ДЕЛЬТИ ДУНАЮ

Розроблено математичну модель процесів переносу забруднюючих речовин у рукавах дельти Дунаю при забрудненні річкової води внаслідок техногенних аварій, зокрема, тих, що можуть відбуватися при здійсненні судноплавства у каналах дельти. Зазначену математичну модель можна використовувати для розрахунків одновимірного неусталеного поля концентрації речовин у рукавах дельти Дунаю при прогнозуванні негативного впливу техногенних аварій на якість річкової води та водну екосистему дельти.

Ключові слова: граф дельти Дунаю, поле концентрації речовин, рівняння поздовжньої дифузії, граничні умови, умови спряження, кінцево-різницевий метод.

Разработана математическая модель процессов переноса загрязняющих веществ в рукавах дельты Дуная при загрязнении речной воды, вследствие техногенных аварий, в частности, тех, которые могут происходить при осуществлении судоходства в каналах дельты. Указанную математическую модель можно использовать для расчетов одномерного неустановившегося поля концентрации веществ в рукавах дельты Дуная при прогнозировании негативного влияния техногенных аварий на качество речной воды и водную экосистему дельты.

Ключевые слова: граф дельты Дуная, поле концентрации веществ, уравнение продольной диффузии, граничные условия, условия сопряжения, конечно-разностный метод.

The Danube Delta, which may be considered a center of global biodiversity, requires certain protection from pollution of river water as a result of man-made accidents, in particular those that may be caused by heavy boat traffic in the branches of the delta. To avoid and prevent the consequences of such accidental pollution, it is necessary to carry out certain predictive calculations of its negative impact on the quality of river water. The main purpose of this work is to develop a mathematical model of the processes of transfer of substances during emergency pollution of the Danube delta for calculating a

one-dimensional unsteady field of concentration of substances in the branches of said delta. The known mathematical models of unsteady processes of transfer of substances in river systems provide for the use of the results obtained in the process of solving the Saint-Venant equations. But these equations are next to impossible to solve due to the lack of reliable factual information regarding the angle of inclination of the river bottom, as well as the shape and geometric parameters of the cross-section of the watercourses of the river system. In this study, in order to obtain a practical possibility of solving the problem of transfer of substances in the Danube delta, the usage of the known results of an approximate calculation of the hydraulic characteristics of the delta branches instead of the Saint-Venant equations is proposed for the first time. In the known mathematical models, the diffuse transfer of substances is taken into account not only in the diffusion equation, but also in the corresponding boundary conditions and conjugation conditions. However, it proves to be quite difficult to make an accurate calculation of the transfer of substances in river systems while using such conditions. In this study, for the first time, it is proposed not to take into account the diffusion flow of substances under boundary conditions and conjugation conditions. It is shown that this approach significantly simplifies the algorithm for calculating the transfer of substances and can be used for real river systems.

Key words: river systems, Danube Delta, field of concentration of substances, longitudinal diffusion equation, boundary conditions, conjugation conditions, finite-difference method.

Дельта Дунаю є центром біорізномаяття світового масштабу, важливим місцем гніздувань та сезонних скупчень птахів, розмноження цінних промислових та рідкісних видів риби [1]. Тому природні біоценози дельти Дунаю потребують особливого захисту від *аварійного забруднення* річкової води внаслідок техногенних аварій: аварійних пошкоджень суден при здійсненні судноплавства, аварійних скидів зворотних вод, тощо. Оскільки одночасне виникнення декількох аварій в акваторії дельти Дунаю є малоімовірним, можна вважати, що аварійне забруднення відбувається внаслідок дії лише одного *аварійного джерела забруднення* – нерухомого точкового джерела, яке діє протягом певного часу. Аварійне джерело забруднення характеризується також тим, що маса речовин, які потрапляють у дельту Дунаю від цього джерела за одиницю часу, значно перевищує масу речовин, які потрапляють за цей час від усіх інших джерел забруднення.

Унаслідок аварійного забруднення утворюється *зона забруднення* – частина дельти Дунаю, в якій концентрація забруднюючих речовин є значно більшою, чим в інших частинах дельти. Концентрація речовин у зоні забруднення, її розміри та положення її границь змінюються у часі за рахунок процесів конвективного та дифузійного переносу речовин у потоці води. Це призводить до зміни концентрації речовин у створах дельти Дунаю, розташованих нижче (за течією) аварійного джерела забруднення. При цьому в даному створі концентрація речовин починає змінюватися через певний проміжок часу після початку аварійного забруднення: спочатку ця концентрація збільшується, а потім зменшується, що обумовлено “проходженням” зони забруднення крізь розглядуваний створ. У даній роботі розглядається математична модель описаних вище процесів, яку можна використовувати для оцінки негативного впливу техногенних аварій на водну екосистему дельти Дунаю.

При математичному моделюванні переносу речовин у річкових системах використовують рівняння поздовжньої дифузії, в якому гідравлічні характеристики водотоків річкової системи вважаються заданими [2, 3]. Найбільш точний розрахунок гідравлічних характеристик водотоків потребує чисельного розв’язку рівнянь Сен-Венана [3, 4]. Але цей розрахунок практично неможливо виконати через відсутність фактичних даних щодо ухилу річкового дна, а також форми і геометричних параметрів поперечного перетину водотоків. В роботі [5] описується наближений розрахунок гідравлічних характеристик рукавів дельти Дунаю без використання рівнянь Сен-Венана, але перенос речовин уздовж рукавів дельти не розглядається. В роботі [4] розглядається математична модель усталених процесів переносу води й речовин у річковій системі без урахування дифузійного переносу речовин. Але при аварійному забрудненні дельти Дунаю практично лише дифузійний перенос речовин призводить до “розмивання” зони забруднення при її переміщенні, причому цей процес є неусталеним. Найбільш повна й точна математична модель неусталених процесів переносу речовин у річкових системах розглядається в роботі [3]. У цій роботі дифузійний перенос речовин враховується не тільки у рівнянні поздовжньої дифузії, а й у відповідних граничних умовах та умовах спряження. Але розрахунок переносу речовин із використання таких умов є дуже складним, а можливість спрощення цього розрахунку з використанням інших умов у роботі [3] не розглядається.

Метою даної роботи є розроблення математичної моделі неусталених процесів переносу речовин при аварійному забрудненні дельти Дунаю, в якій: використовуються результати розрахунку гідравлічних характеристик рукавів дельти відповідно до роботи [5]; формулюються граничні умови та умови спряження, що спрощують розрахунок переносу речовин, запропонований у роботі [3]; обґрунтовується можливість використання зазначених умов та описується відповідний алгоритм розрахунку одновимірного неусталеного поля концентрації речовин у рукавах дельти.

1. Структура дельти Дунаю. Деякі поняття термінології графів

Дельта Дунаю складається з *рукавів дельти* – поєднаних між собою ділянок річкової системи Дунаю, які не містять місць злиття або розгалуження потоків річкової води. Структуру річкової системи зручно задавати, використовуючи термінологію графів [2, 3]. Ця термінологія використовується також для опису алгоритму розв'язання задачі переносу речовин у дельті Дунаю (розділ 3). У зв'язку з цим, визначимо низку термінів, що використовуються в термінології графів [2, 3].

На рис. 1 показаний *граф дельти Дунаю* (ГДД), побудований з використанням даних, що наведені в роботі [5].

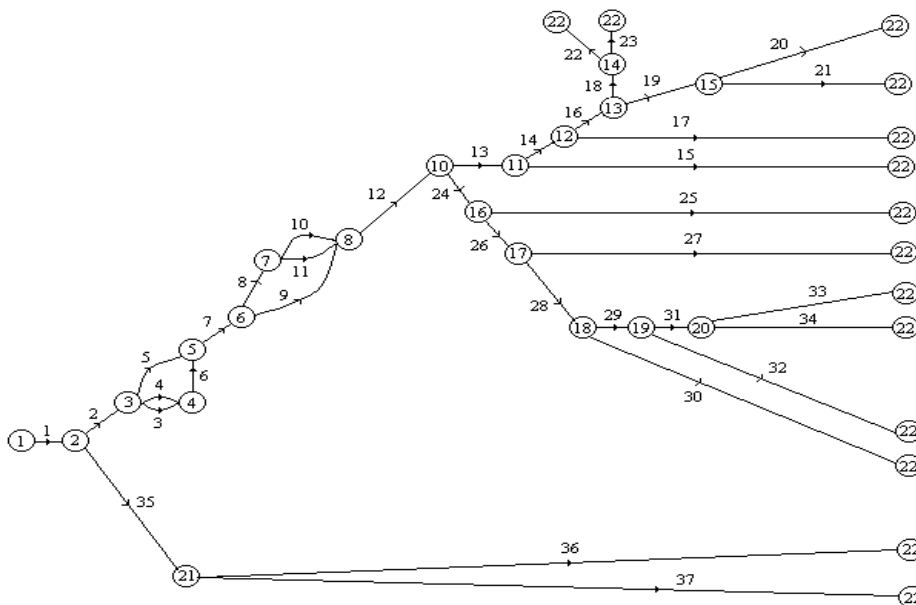


Рисунок 1 – Граф дельти Дунаю (ГДД): 1 – 37 – дуги ГДД (показані стрілками); 1 – 22 – вершини ГДД (показані кружками).

Графом називають абстрактний об'єкт, який складається із двох кінцевих множин: множини елементів, що називаються *вершинами графа*, і множини елементів, які називають *дугами графа*. Кожна дуга графа визначається парою його вершин.

Дуги ГДД відповідають рукавам дельти Дунаю, а вершини ГДД – місцям злиття або розгалуження потоків річкової води (вершини 2 – 21, рис. 1), місцям впадіння рукавів дельти Дунаю у Чорне море (вершини з номером 22), а також *вхідному створу дельти* (вершина 1). Використовуючи дані роботи [5], можна встановити відповідність між номерами дуг ГДД та назвами рукавів дельти Дунаю. Наприклад, дуга 35 (рис. 1) відповідає Тульчинському рукаву.

До кожної дуги ГДД *примикають* дві вершини – *вхідна* й *вихідна*, а кожна з цих вершин *примикає* до даної дуги. Кожна дуга ГДД *спрямована* зі своєї вхідної вершини у вихідну (дуга *виходить* із вхідної вершини та *входить* у вихідну), причому вхідній та вихідній вершинам відповідають вхідний та вихідний створи дуги: крізь *вхідний створ* вода втікає «у дану дугу» (у відповідний рукав дельти Дунаю), а крізь *вихідний створ* – витікає з даної дуги. Наприклад, на рис. 1 до дуги 7 примикає вхідна вершина 5 та вихідна вершина 6, дуга 7 виходить із вершини 5 та входить у вершину 6. Вершини графа, що примикають тільки до одної дуги, називають *граничними вершинами*, а всі інші вершини – *вершинами спряження*. Наприклад, ГДД (рис. 1) має граничні вершини 1 і 22 та вершини спряження 2 - 21. Дуги графа, що виходять із граничних вершин, називають *вхідними* дугами, а що входять у ці вершини - *вихідними* дугами графа. Граничні вершини графа, що примикають до вхідних дуг, називають *вхідними вершинами* графа. Наприклад, ГДД (рис. 1) має одну вхідну вершину 1 одну вхідну дугу 1, та 14 вихідних дуг 20-23, 15, 17, 25, 27, 30, 32-34, 36, 37.

2. Математичне формулювання задачі переносу речовин при аварійному забрудненні дельти Дунаю

Як зазначено вище, маса речовин, які потрапляють у дельту Дунаю від аварійного джерела забруднення за одиницю часу, значно перевищує масу речовин, які потрапляють за цей час від усіх інших джерел забруднення. Тому при математичному моделюванні переносу речовин у дельті Дунаю можна не враховувати усі джерела забруднення річкової води, окрім аварійного джерела. В цьому випадку для кожної дуги ГДД (рис. 1), яка не містить аварійного джерела

забруднення, перенос розглядуваної речовини уздовж відповідного рукава дельти Дунаю можна описувати таким рівнянням поздовжньої дифузії (вихідний):

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} - D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} = -kC, \quad (1)$$

У рівнянні (1) невідомою є концентрація $C = C(x, t)$, а величини u , D , k вважаються заданими. Зокрема, величини u та D можна визначити за методикою [6], використовуючи результати розрахунку гідравлічних характеристик рукавів дельти Дунаю [5].

Граничні умови до рівняння (1) задаються наступним чином.

У вхідному створі дуги використовується умова

$$C(0, t) = C_{ex}(t), \quad (2)$$

де $C_{ex}(t)$ - концентрація речовини у вхідному створі, яка тут вважається заданою: для дуги 1 (рис. 1) маємо $C_{ex}(t) = C_* = const$, де C_* - задана концентрація речовини у вхідному створі дельти Дунаю, а для інших дуг концентрація $C_{ex}(t)$ розраховується у процесі розв'язання розглядуваної задачі переносу речовин (розділ 3).

Граничну умову у вихідному створі дуги можна записати так:

$$\left. \frac{\partial C}{\partial x} \right|_{x=L} = 0, \quad (3)$$

де L - довжина дуги, м (довжина відповідного рукава дельти), яка вважається заданою [5].

Умова (3) відбиває відсутність дифузійного потоку речовини у вихідному створі дуги. Як показано далі (розділ 3), умову (3) можна використовуватися у випадках, коли конвективний потік речовини уздовж дуги значно перевищує дифузійний потік (остання умова, як правило, виконується). Відзначимо, що врахування дифузійного потоку речовини у граничних створах дуг призводить до дуже складного алгоритму розв'язання задачі переносу речовини на графі річкової мережі [3].

Початкова умова до рівняння (1) записується так:

$$C(x, 0) = C_0(x), \quad (4)$$

де функція $C_0(x)$ вважається заданою.

Якщо дуга ГДД містить аварійне джерело забруднення, то ця дуга розбивається на дуги I та II вершиною спряження, яка відповідає аварійному джерелу (рис. 2, а). У цьому випадку для дуг I та II використовується ті ж самі співвідношення (1)-(4), що й для інших дуг ГДД.

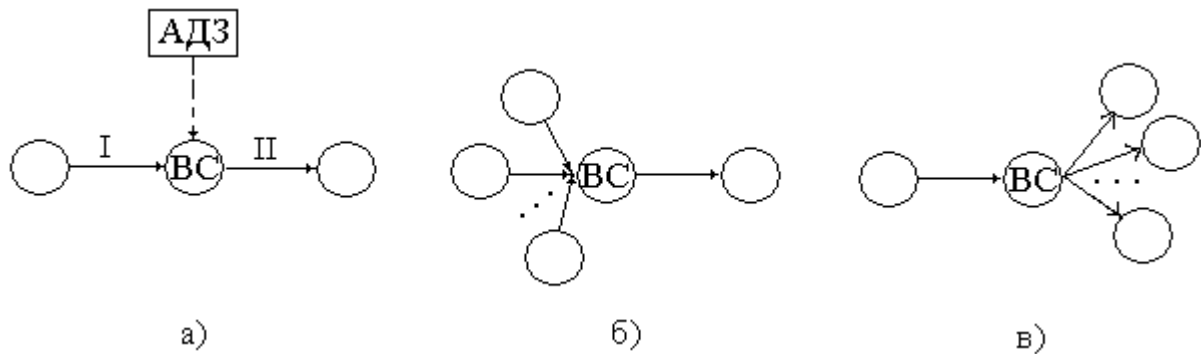


Рисунок 2 – Види вершин спряження ГДД: ВС – вершина спряження; АДЗ – аварійне джерело забруднення.

Щоби розрахувати поле концентрації $C(x,t)$ для всіх дуг ГДД, необхідно сформулювати умови спряження, які відбивають баланс маси речовини у вершинах спряження без урахування дифузійного потоку речовини. Ці умови записуються наступним чином.

Якщо вершина спряження відповідає аварійному джерелу забруднення (рис. 2, а), то

$$C_{II}^{вх} = \frac{C_I^{вих} Q_I + m}{Q_I + Q_{АДЗ}}, \quad (5)$$

де $C_{II}^{вх}$ - концентрація речовини на вході (у вхідному створі) дуги II; $C_I^{вих}$ - концентрація речовини на виході (у вихідному створі) дуги I; m - маса речовини, яка надходить за одиницю часу у річкову воду від аварійного джерела забруднення, г/с; Q_I - витрата води на дузі I, м³/с; $Q_{АДЗ}$ - витрата води, яка надходить у вершину спряження від аварійного джерела забруднення, м³/с.

В умові (5) величини m , $Q_{АДЗ}$, Q_I вважаються заданими, причому витрата Q_I розраховується за методикою [5].

Якщо вершина спряження відповідає місцю злиття декількох потоків річкової води в один потік (рис. 2, б), то

$$C^{6x} = \frac{\sum_j C_j^{6ux} Q_j}{\sum_j Q_j}, \quad (6)$$

де C^{6x} - концентрація речовини на вході дуги, що виходить із даної вершини спряження; C_j^{6ux} - концентрація речовини на виході j -ої дуги, яка входить у вершину спряження; Q_j - витрата води на j -ій дузі, м³/с (вона розраховується за методикою [5]).

Якщо вершина спряження відповідає місцю розгалуження одного потоку річкової води на декілька потоків (рис. 2, в), то

$$C_i^{6x} = C^{6ux}, \quad (7)$$

де C_i^{6x} - концентрація речовини на вході i -ої дуги, яка виходить із вершини спряження; C^{6ux} - концентрація речовини на виході дуги, що входить у вершину спряження.

3. Алгоритм розв'язання задачі переносу речовин

Для чисельного розв'язку рівняння (1) необхідно задати *часовий крок* Δt , що є однаковим для всіх дуг ГДД, та *просторовий крок* $\Delta x = L/(N - 1)$, де N - кількість *розрахункових точок* на розглядуваній дузі (конкретні значення величин Δt і Δx вибираються, виходячи із досягнення потрібної точності розрахунку). Розрахункові точки дуги нумеруються від 1 до N , точка 1 відповідає вхідному створу дуги (*входу дуги*), а точка N - вихідному створу дуги (*виходу дуги*). Точку 1 назвемо *лівою граничною точкою* дуги, точку N - *правою граничною точкою*, а всі інші точки – *внутрішніми точками* дуги.

Чисельний розв'язок рівняння (1) полягає у розрахунку концентрації речовини $C(x, t)$ в розрахункових точках дуги з координатами $x_i = (i - 1)\Delta x$ ($i = 1, 2, \dots, N$) у розглядувані моменти часу $t_j = j\Delta t$ ($j = 0, 1, \dots, S$). Розглядаючи моменти часу t_j і t_{j+1} , будемо казати, що момент часу t_{j+1} відповідає *поточному часовому шару*, а момент t_j - *попередньому шару*.

Використовуючи абсолютно стійку кінцево-різницеву схему першого порядку точності щодо кроків Δt і Δx [7], одержимо наступну кінцево-різницеву апроксимацію рівняння (1) у внутрішніх точках дуги:

$$-A_i \hat{C}_{i-1} + E_i \hat{C}_i - B_i \hat{C}_{i+1} = F_i, \quad (i=2, 3, \dots, N-1), \quad (8)$$

$$A_i = \frac{u}{\Delta x} + \frac{D}{\Delta x^2}, \quad E_i = \frac{1}{\Delta t} + \frac{u}{\Delta x} + \frac{2D}{\Delta x^2} + k, \quad B_i = \frac{D}{\Delta x^2}, \quad F_i = \frac{C_i}{\Delta t}, \quad (9)$$

де \hat{C}_i - концентрація речовини у розрахунковій точці з номером i на поточному часовому шарі, а C_i - на попередньому шарі.

У рівняннях (8) невідомими є концентрації \hat{C}_i ($i=1, 2, \dots, N$), а інші величини – відомі. Зокрема, концентрації C_i ($i=1, 2, \dots, N$), від яких залежить величина F_i у (9), розраховуються на попередньому часовому шарі. При цьому на початковому часовому шарі (при $t_i = 0$) концентрації C_i задаються початковою умовою (4).

Очевидно, що у лівій граничній точці дуги граничну умову (2) можна записати так:

$$\hat{C}_1 = C_{ex}(t), \quad (10)$$

де концентрація $C_{ex}(t)$ на поточному часовому шарі відома.

З кінцево-різницевої апроксимації граничної умови (3) у правій граничній точці дуги випливає, що

$$\hat{C}_N - \hat{C}_{N-1} = 0. \quad (11)$$

Співвідношення (8), (10), (11) являють собою замкнену систему лінійних алгебраїчних рівнянь відносно невідомих концентрацій \hat{C}_i ($i=1, 2, \dots, N$), яка розв'язується методом прогонки [7].

Алгоритм розрахунку поля концентрації речовини $C(x,t)$ для всіх дуг ГДД на поточному часовому шарі складається із низки наступних кроків (для зручності опису цього алгоритму вважається, що ГДД має декілька вхідних дуг, до яких примикають декілька вершин спряження).

На першому кроку розглядається граф першого кроку - ГДД (рис. 1), на вході усіх вхідних дуг якого концентрація речовини задана. Розв'язуючи систему рівнянь (8), (10), (11) для кожної вхідної дуги розглядуваного графа, розраховуємо поле концентрації на цій дузі, у тому числі й концентрацію речовини на виході зазначеної

дуги. Використовуючи значення концентрації на виході вхідних дуг і відповідні умови спряження (5) – (7) для вершин спряження, що примикають до вхідних дуг, розраховуємо концентрацію речовини на вході дуг, які виходять із зазначених вище вершин спряження.

На другому кроку розглядається граф, що містить усі дуги й вершини графа першого кроку, окрім його вхідних дуг і вершин. Концентрація речовини на вході усіх вхідних дуг графа другого кроку розрахована на першому кроку. Тому для графа, що розглядається на другому кроку, реалізується описаний вище алгоритм першого кроку.

Потім виконується третій крок, і так далі. Такі кроки виконуються доти, поки поле концентрації речовини не буде розраховано для всіх вихідних дуг ГДД. На цьому розрахунок поточного поля концентрації на всіх дугах ГДД закінчується.

Описаний вище алгоритм використовується для розрахунку поля концентрації на всіх розглядуваних часових шарах. Оскільки у початковий момент часу (при $t = t_0 = 0$) поле концентрації для всіх дуг відомо, з використанням описаного вище алгоритму розраховується поле концентрації на першому часовому шарі (при $t = t_1 = \Delta t$). Потім одержане на першому шарі поле концентрації використовується в якості початкової умови для розрахунку поля на другому часовому шарі (при $t = t_2 = 2\Delta t$), і т. д. Цей процес продовжується доти, поки не буде розраховано поле концентрації на останньому часовому шарі.

Відзначимо, що конвективний потік речовини уздовж водотоків реальних річкових систем значно перевищує дифузійний потік [2]. В цьому випадку, як показують розрахунки, описаний вище алгоритм дає практично такі самі результати, як і алгоритм, що описаний у роботі [3]. Це підтверджує достовірність обох зазначених алгоритмів. Разом із тим, описаний вище алгоритм є значно більш простим, чим алгоритм роботи [3]. Зокрема, за алгоритмом [3] на кожному часовому шарі дуги ГДД обходяться двічі, а за описаним вище алгоритмом – лише один раз.

Висновки

1. Наведено математичне формулювання задачі неусталеного переносу забруднюючих речовин уздовж рукавів дельти Дунаю при забрудненні річкової води внаслідок техногенних аварій, зокрема, тих, що можуть відбуватися при здійсненні судноплавства у каналах дельти.

2. При формулюванні цієї задачі у рівнянні дифузії враховуються конвективний і дифузійний потоки речовин уздовж рукавів дельти та вважається, що гідравлічні характеристики рукавів є заданими, причому вони визначаються відповідно до роботи [5] без використання рівнянь Сен-Венана.

3. У граничних умовах та умовах спряження до рівняння дифузії пропонується не враховувати дифузійний потік речовин. Показано, що такі умови можна використовувати для водотоків реальних річкових систем, в яких конвективний потік речовин уздовж водотоків значно перевищує дифузійний потік.

4. Розроблено та описано відповідний алгоритм розрахунку одновимірного неусталеного поля концентрації речовин у рукавах дельти Дунаю. Показано, що цей алгоритм є значно більш простим, чим відомий алгоритм [3] розв'язання нестационарної задачі переносу речовин уздовж водотоків річкової системи.

Література

1. Вікіпедія: uk.wikipedia.org/wiki/Дельта_Дунаю#Водні_об'єкти.
2. Кресін В. С., Остроумов С. М. // Прогнозування якості води річкових систем з урахуванням точкових та дифузних джерел і стоків води // Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки: Зб. наук. пр. / УкрНДІЕП. Харків, 2008. С. 63 - 81.
3. Еременко Е. В., Остроумов С. М., Тертичный О. Л. Моделирование формирования качества воды при безнапорном течении в разветвленных системах каналов и труб. // Проблеми охорони навколишнього природного середовища та техногенної безпеки: Зб. наук. пр. / УкрНДІЕП. Х., 2001. С. 95 – 108.
4. Атавин А. А. Расчет неустановившегося течения воды в разветвленных системах русел или каналов. // Математические вопросы механики: Зб. наук. пр. / Новосибирск, 1975, вып. XXII, С. 25 – 38.
5. Гидрология дельты Дуная. Под ред. В. Н. Михайлова. М.: ГЕОС, 2004. 449 с.
6. Інструкція про порядок розробки та затвердження гранично допустимих скидів (ГДС) речовин у водні об'єкти із зворотними водами. Затв. наказом Міністерства охорони навколишнього природного середовища та ядерної безпеки України від 15.12.1994 р. № 116.
7. Тихонов Н. А., Самарский А. А. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1972, 736 с.

Referenses

1. Vikipediya: uk.wikipedia.org/wiki/Del'ta_Dunayu#Vodni_obyekty.
2. Kresin V. S., Ostroumov S. M. // *Prohnozuvannya yakosti vody richkovykh system z urakhuvannyam tochkovykh ta dyfuznykh dzherel i stokiv vody // Problemy okhorony navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha ta ekolohichnoyi bezpeky: Zb. nauk. pr. / UkrNDIEP. Kharkiv, 2008. S. 63 - 81.*
3. Yeremenko Ye. V., Ostroumov S. M., Tertichnyy O. L. *Modelirovaniye formirovaniya kachestva vody pri beznapornom techenii v razvetvlennykh sistemakh kanalov i trub. // Problemi okhoroni navkolishn'ogo prirodnogo seredovishcha ta tekhnogennof' bezpeki: Zb. nauk. pr. / UkrNDIEP. KH., 2001. C. 95 – 108.*
4. Atavin A. A. *Raschet neustanovivshegosya techeniya vody v razvetvlennykh sistemakh rusel ili kanalov. // Matematicheskiye voprosy mekhaniki: Zb. nauk. pr. / Novosibirsk, 1975, vyp. XXII, S. 25 – 38.*
5. *Gidrologiya del'ty Dunaya. Pod red. V. N. Mikhaylova. M.: GEOS, 2004. 449 s.*
6. *Instruktsiya pro poryadok rozrobky ta zatverdzhennya hranychno dopustymykh skydiv (HDS) rechovyn u vodni ob'yekty iz zvorotnymy vodamy. Zatv. nakazom Ministerstva okhorony navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha ta yadernoyi bezpeky Ukrayiny vid 15.12.1994 r. № 116.*
7. Tikhonov N. A., Samarskiy A. A. *Uravneniya matematicheskoy fiziki. M.: Nauka, 1972, 736 s.*

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Остроумов Сергій Михайлович – кандидат фізико-математичних наук, провідний науковий співробітник. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УКРНДІЕП, м. Харків; тел.: 050-577-09-36

Остроумов Сергей Михайлович – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник. Научно-исследовательское учреждение «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем», УКРНИИЭП., г. Харьков; тел.:050-577-09-36

Ostroumov Serhiy Mykhailovych – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Leading Researcher. Ukrainian Research Institute of Environmental Problems, USRIEP. Kharkiv; tel.:050-577-09-36

**О. М. СОБОЛЬ, Ю. В. ЗАХАРЧЕНКО, В. В. ТЮТЮНИК, В. Д. КАЛУГІН,
В. А. КВАСОВ**

МОДЕЛЬ ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГУ РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ ЕКОСИСТЕМИ ЗА ДОПОМОГОЮ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

З метою підвищення ефективності функціонування Єдиної державної системи цивільного захисту України щодо взаємодії її функціональних та територіальних підсистем в питаннях захисту населення, територій, навколишнього природного середовища та майна від надзвичайних ситуацій (НС) шляхом запобігання таким ситуаціям, ліквідації їх наслідків і надання допомоги постраждалим у мирний час та в особливий період, в роботі наведено результати розвитку науково-технічних основ реалізації системи оперативного моніторингу за змінами меж зони забруднення екосистеми, рівня небезпеки в зоні та прогнозування виникнення нових небезпек. В результаті, на основі аналізу ефективності функціонування стаціонарних постів моніторингу радіоактивного забруднення навколо об'єктів ядерної енергетики, сформована модель оперативного моніторингу рівня забруднення екосистеми за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА).

Ключові слова: рівень забруднення екосистеми, моніторинг зони забруднення екосистеми, модель оперативного моніторингу, безпілотний літальний апарат.

С целью повышения эффективности функционирования Единой государственной системы гражданской защиты Украины касательно взаимодействия ее функциональных и территориальных подсистем в вопросах защиты населения, территории, природной окружающей среды и имущества от чрезвычайных ситуаций путем предотвращения таких ситуаций, ликвидации их последствий и оказания помощи пострадавшим в мирное время и в особый период, в работе приведены результаты развития научно-технических основ реализации системы оперативного мониторинга за изменением границ зоны загрязнения экосистемы, уровня опасности в зоне и прогнозирование возникновения новых опасностей. В результате, на основе анализа эффективности функционирования стационарных постов мониторинга

радиоактивного загрязнения вокруг объектов ядерной энергетики, сформирована модель оперативного мониторинга уровня загрязнения экосистемы с помощью беспилотных летательных аппаратов.

Ключевые слова: уровень загрязнения экосистемы, мониторинг зоны загрязнения экосистемы, модель оперативного мониторинга, беспилотный летательный аппарат

In order to increase the efficiency of the functioning of the Unified State Civil Protection System of Ukraine regarding the interaction of its functional and territorial subsystems in matters of protecting the population, territory, natural environment and property from emergencies by preventing such situations, eliminating their consequences and providing assistance to victims in peacetime and in a special period, the work presents the results of the development of the scientific and technical foundations for the implementation of a system of operational monitoring of changes in the boundaries of the ecosystem pollution zone, the level of danger in the zone and forecasting the emergence of new hazards. As a result, based on the analysis of the effectiveness of the functioning of stationary monitoring stations for radioactive contamination around nuclear power facilities, a model for operational monitoring of the level of ecosystem pollution using unmanned aerial vehicles was formed.

Key words: ecosystem pollution level, monitoring of the ecosystem pollution zone, operational monitoring model, unmanned aerial vehicle

1. Постановка проблеми.

Широкий спектр проблем [1–3], що виникають в сучасних умовах існування, розвитку та взаємодії природного, техногенного та соціального середовища при розв'язанні питань по забезпеченню умов життєдіяльності в Україні відповідному рівню безпеки, вказує на необхідність розробки ефективних заходів моніторингу, попередження та ліквідації небезпек різної природи [4–13].

Актуальним напрямком підвищення ефективності функціонування Єдиної державної системи цивільного захисту України (ЄДСЦЗ) є забезпечення стану стабільного функціонування природно-техногенно-соціальної системи України в умовах територіально-часового розподілу потенційно небезпечних об'єктів (ПНО) та об'єктів підвищеної небезпеки (ОПН), а також в умовах прояву екологічної нестабільності.

Одним із ключових засобів забезпечення безпеки функціонування ПНО та ОПН є врахування досвіду експлуатації, що включає в себе проведення обліку та аналізу порушень у роботі ПНО та ОПН, впровадження коригувальних заходів для усунення виявлених причин і запобігання повторення порушень, а також проведення оперативного моніторингу рівня забруднення екосистеми прилеглих до ПНО та ОПН зон.

Слід відзначити, що при виникненні аварії на ПНО та ОПН необхідно здійснити оперативну побудову поля забруднення екосистеми із заданою точністю, що забезпечить:

- прийняття обґрунтованих управлінських рішень стосовно необхідної кількості сил та засобів для ліквідації наслідків аварії;

- здійснення заходів евакуації населення із зони забруднення з урахуванням визначення шляхів евакуації з мінімальною їх довжиною в зоні забруднення.

Для досягнення необхідної точності під час побудови поля забруднення екосистеми необхідно застосовувати регулярну сітку з відомими значеннями рівня забруднення у вузлах, що дозволить використати відомі методи інтерполяції. Разом з тим, у зоні навколо ПНО та ОПН можуть функціонувати стаціонарні пости моніторингу, які мають нерегулярне розміщення, що унеможливує забезпечення необхідної точності при побудові поля забруднення.

Таким чином, актуальною науково-прикладною проблемою є розробка моделей та методів проведення оперативного моніторингу рівня забруднення екосистеми внаслідок аварії на ПНО та ОПН. Одним із шляхів вирішення даної проблеми є застосування БПЛА для здійснення оперативної побудови поля забруднення із заданою точністю.

2. Аналіз останніх досліджень та публікацій.

У рамках проведеного, з глибиною пошуку до десяти років, аналізу винахідницько-дослідницької літератури [14–17], відомі технічні рішення визначення границь зон небезпек, які для розташування засобів контролю факторів небезпеки використовують космічні засоби встановлення місцезнаходження та розділяються за використанням повітряних і наземних рухомих платформ.

При використанні повітряних рухомих платформ відомі корисні моделі: БПЛА малого розміру для моніторингу територій пожеж, терористичних актів і техногенних катастроф, а також – літака для повітряного моніторингу стану довкілля [14].

БПЛА малого розміру для моніторингу територій пожеж, терористичних актів і техногенних катастроф, обладнаний засобами моніторингу, які включають навігаційне обладнання, радіопеленгатор, тепlopеленгатор і телекамеру, сполучені через бортовий комп'ютер з приймально-передавальною антеною GPS, «ГЛОНАС» або стільникового зв'язку для передачі результатів моніторингу на центральний пункт управління літальним апаратом.

Літак для повітряного моніторингу стану довкілля обладнаний, по меншій мірі, одним засобом для моніторингу довкілля, який встановлено під крилом літака.

Недоліками використання повітряних рухомих засобів моніторингу зони екологічного забруднення у рамках відомих технічних реалізацій, проаналізованих у роботі [14], є те, що під час виникнення масштабної небезпеки для охоплення необхідного обсягу точок вимірювання потребується використання декількох (в залежності від розмірів зони) літаків з організацією окремих каналів управління їх польотом і каналів передачі телеметричної інформації від засобів моніторингу. При реалізації режиму безперервного отримання у реальному масштабі часу інформації про стан зони враження цей спосіб моніторингу потребує збільшення у два-три рази кількості літаків і засобів контролю, якими вони обладнані, їх обслуговування, обладнання паливом і проведення ремонтних робіт. Крім того, виникає утруднення при управлінні БПЛА при їх знаходженні у зонах поганої видимості (які виникають під впливом дій небезпечних факторів), у нічний час, у разі погіршення погодних умов, а також при необхідності проведення контролю небезпечних факторів біля поверхні Землі.

При використанні наземних рухомих платформ відомі: спосіб визначення меж зон НС [15] і спосіб оперативного визначення епіцентрів, зміни меж зон НС і одержання оперативної інформації щодо прогнозування виникнення нових ризиків [16].

Спосіб визначення меж зон НС [15] застосовує наземні рухомі засоби та геостаціонарні супутники. Точки вимірювання встановлюються за допомогою наземних рухомих і геостаціонарних супутників, точки вимірювання переміщуються за допомогою наземних рухомих засобів.

Спосіб оперативного визначення епіцентрів, зміни меж зон НС та одержання оперативної інформації щодо прогнозування виникнення нових ризиків [16] реалізований за рахунок застосування наземних рухомих пристроїв з контрольованими вимірювальними засобами та засобами електрозв'язку, а також за рахунок

застосування диспетчерського пункту та супутникових засобів з засобами електрозв'язку та електронно-обчислювальними засобами. Визначають зони НС та зміну факторів небезпеки за допомогою наземних рухомих пристроїв з контрольно-вимірювальними засобами, які надають інформацію про наслідки НС до диспетчерських пунктів за допомогою засобів електрозв'язку через супутники.

Недоліками використання наземних рухомих засобів моніторингу зони екологічного забруднення у рамках відомих підходів [15, 16] є те, що під час моніторингу неможливо охопити вимірюванням потрібний обсяг точок вимірювання у зоні небезпеки, оскільки не всі точки є доступними для вимірювання. Крім того, реалізація цих підходів не забезпечує оперативного одержання потрібних обсягу та точності інформації.

Найбільш близьким технічним рішенням до проблеми розробки науково-технічних основ системи моніторингу на локальній території, динаміки зміни меж зон екологічного забруднення, рівня небезпеки в зоні та прогнозування виникнення нових небезпек є спосіб оперативного визначення ризиків НС [17]. Цей спосіб передбачає за допомогою наземних рухомих засобів з контрольно-вимірювальними пристроями визначати зони НС та зміну факторів небезпеки. Роль наземних рухомих засобів можуть виконувати транспортні засоби, а також окремі (піші) патрульні. Для надання інформації до диспетчерських пунктів напряду та через супутникові засоби про наслідки НС застосовують засоби електрозв'язку. Для аналізу динаміки подій, що виникатимуть у процесі тривання НС, та підвищення оперативності збору інформації, повітряні рухомі засоби обладнують контрольно-вимірювальними й електронно-обчислювальними засобами з електронно-картографічними програмами, засобами радіонавігації й електрозв'язку.

Недоліками описаного вище способу оперативного визначення ризиків НС [17] є те, що можливості реалізації режиму безперервного у реальному масштабі часу оперативного одержання потрібного обсягу інформації про епіцентри та зміни меж зон небезпек обмежені можливостями використання (патрулювання) особового складу підрозділів. Крім того, термін моніторингу обмежується терміном знаходження літака у повітрі або літаків, коли ситуація потребує використання декількох літаків, які обладнані ідентичними контрольно-вимірювальними й електронно-обчислювальними засобами з електронно-картографічними програмами, засобами радіонавігації й електрозв'язку.

Крім того, в роботі [18] наведено спосіб реконструкції поля радіоактивного забруднення внаслідок аварії на атомних електростанціях (АЕС) по даним від стаціонарних постів моніторингу. Тобто була запропонована регулярна сіткова модель для інтерполяції і прогнозування поля за даними нерегулярного просторового моніторингу, що призводило до збільшення похибки побудови зазначеного поля. Питанням реконструкції полів радіоактивного забруднення територій після ядерних вибухів присвячена робота [19].

В роботі [20] підкреслено актуальність використання БПЛА для проведення радіаційного моніторингу. Концепцію проектування системи після аварійного моніторингу АЕС з використанням БПЛА наведено в роботі [21]. Можливості та результати експерименту по застосуванню безпілотних авіаційних комплексів для моніторингу навколишнього середовища АЕС представлені в роботі [22, 23].

Результати проведеного аналізу останніх досліджень та публікацій дозволили сформулювати загальну мету дослідження – розвиток науково-технічних основ реалізації підсистеми оперативного моніторингу за зміною меж зони забруднення екосистеми, рівня небезпеки в зоні та прогнозування виникнення нових небезпек, як складової ЄДСЦЗ.

3. Постановка завдання та його вирішення.

Метою цієї роботи є формулювання моделі оперативного моніторингу рівня забруднення екосистеми шляхом об'єданого застосування БПЛА та стаціонарних наземних постів моніторингу навколо ПНО та ОПН.

В рамках поставленої мети запропоновано вирішити наступні задачі:

1. Розглянути особливості функціонування системи оперативного моніторингу рівня забруднення екосистеми безпілотними літальними апаратами.

2. Сформулювати модель об'єданого застосування стаціонарних постів моніторингу та безпілотних літальних апаратів для оперативного моніторингу рівня забруднення екосистеми.

Мета роботи досягається тим, що безперервний та тривалий у реальному масштабі часу оперативний моніторинг за зоною забруднення екосистеми здійснюється за рахунок: а) сумісного об'єднання у систему моніторингу БПЛА та стаціонарних наземних постів моніторингу; б) оперативної доставки у зону забруднення екосистеми БПЛА; в) здійснення за допомогою БПЛА безперервного та тривалого у реальному масштабі часу моніторингу за зоною забруднення

екосистеми; г) отримання й обробки інформації від стаціонарних наземних постів моніторингу та БПЛА диспетчерським пунктом, який розташовано на наземній рухомій платформі (штабний автомобіль, пожежно-рятувальний автомобіль, автомобіль патрульної поліції, автомобіль радіаційної, хімічної та біологічної розвідки, бронетранспортер, машина військової розвідки, тягач тощо) [14, 24–26].

Розроблену нами функціональну схему цієї системи оперативного моніторингу за зміною меж зони забруднення екосистеми, рівнем небезпеки в ній та прогнозування виникнення нових ризиків представлено на рис. 1. Вона включає класичну підсистему моніторингу, ситуаційний центр та підсистему виконання рішення [12].

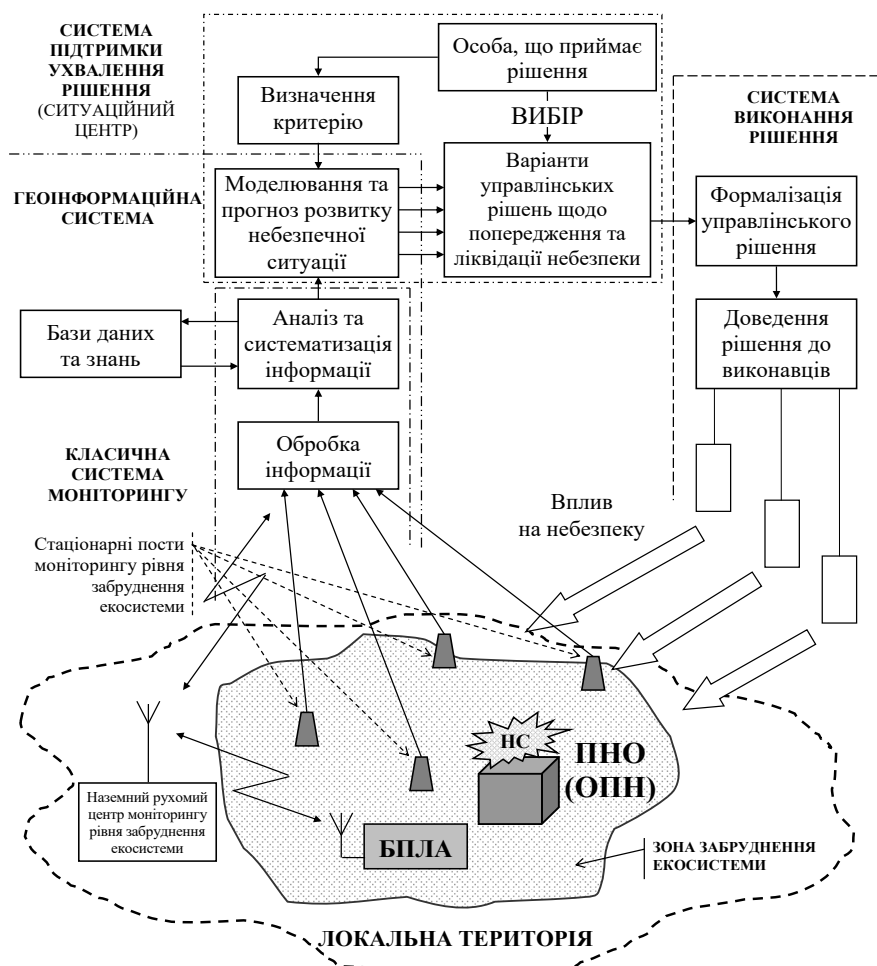


Рисунок 1 – Комплексна функціональна схема системи оперативного моніторингу рівня забруднення екосистеми БПЛА, внаслідок аварій на ПНО та ОПН

Наземний рухомий центр моніторингу рівня забруднення екосистеми, схему якого представлено на рис. 2, включає: комп'ютеризовану аналітичну систему прогнозу границь зони забруднення, рівня небезпеки в ній та можливості виникнення нових НС; контрольно-вимірювальний блок; блок метеорологічного контролю; блок встановлення місця знаходження наземного рухомого центру моніторингу (GPS-навігації); блок керування рухом БПЛА; блок отримання, аналізу та систематизації інформації від БПЛА; блок збереження інформації; блок старту БПЛА; блок радіозв'язку; антену.

Функціонування розробленої авторами підсистеми (яку представлено на рис. 1) оперативного моніторингу рівня забруднення екосистеми, внаслідок аварій на ПНО та ОПН, повинно здійснюватись у складі функціонуючої в Україні чотирьохрівневої ЄДСЦЗ та в межах класичного контуру управління, який забезпечує: 1) збір, обробку та аналіз інформації; 2) моделювання розвитку обстановки на об'єкті управління та розвитку НС на території міста, регіону, держави; 3) розробку та ухвалення управлінських рішень щодо попередження та ліквідації НС, а також мінімізації їх наслідків; 4) виконання рішень щодо попередження та ліквідації НС, а також мінімізації їх наслідків.



Рисунок 2 – Функціональна схема наземного рухомого центру моніторингу рівня забруднення екосистеми

У розробленій підсистемі отримання інформації о рівні забруднення здійснюється шляхом використання стаціонарних постів моніторингу та БПЛА.

Отримана стаціонарними постами моніторингу первинна інформація про рівень небезпеки для екосистеми на локальній території по кабелях передається до пристроїв другого рівня.

Первинна інформація, що отримана за допомогою БПЛА, спочатку транслюється по радіоканалу до наземного рухомого центру моніторингу рівня забруднення екосистеми, де відбувається первинний аналіз та систематизація цієї інформації. Від наземного рухомого центру моніторингу рівня забруднення екосистеми інформація по радіоканалу транслюється також до пристроїв другого рівня.

Пристрої другого рівня призначені виконувати обробку отриманої інформації та представляти її у вигляді, необхідному для третього рівня. При цьому, обробка отриманої інформації може виконуватися як в одному місці, так і на декількох, залежно від конкретної системи моніторингу та розмірів контрольованої нею на локальній території зони екологічного забруднення. Оброблена інформація у відповідному вигляді надходить на третій рівень, де виконується її аналіз та систематизація даних, на основі чого робиться висновок про стан небезпеки зони екологічного забруднення. Особливо важливо, для забезпечення швидкодії системи, використання автоматизованих засобів обробки інформації, яке значно прискорить процеси на другому та третьому рівнях системи моніторингу, дозволить створити електронні, доступні в реальному масштабі часу, бази даних та знань. Використання відповідних математичних методів дозволить на основі отриманої інформації у відносно нетривалі терміни часу виконати моделювання небезпечної ситуації, прогнозування її розвитку та рівня екологічного забруднення, відображати прогнозовану динаміку катастрофічних подій графічно (у тому числі з використанням електронних мап).

Друга інформаційна підсистема є системою підтримки ухвалення рішення. Особа, що приймає рішення (ОПР), визначає один або декілька критеріїв, відповідно до яких здійснюється прогностичне моделювання розвитку екологічної небезпеки та виробляються варіанти управлінських рішень, які обґрунтовані відповідними розрахунками. З набору варіантів управлінських рішень ОПР обирає один, або задає ще додаткові критерії, відповідно до яких виконується моделювання та розробка

управлінських рішень, направлених на недопущення розвитку небезпеки до рівня катастрофи. Якщо ж катастрофи вже не уникнути, то розробка управлінських рішень направлена на мінімізацію наслідків від неї. Затверджене ОПР рішення надходить до третьої підсистеми – підсистеми виконання рішення, де виконується його формалізація та доведення до виконавців – функціонуючої в Україні ЄДСЦЗ. Зміни стану на локальній території зони екологічного забруднення та зміни стану небезпеки в зоні екологічного забруднення викликатимуть зміни у величинах вимірюваних параметрів, що фіксуються пристроями контролю. Подальше моделювання покаже ефективність виконання управлінського рішення – контур управління замкнеться.

Формулювання моделі об'єданого застосування стаціонарних постів моніторингу рівня забруднення екосистеми (у режимі повсякденного функціонування ПНО та ОПН) та БПЛА (у режимах аварійної та надзвичайної ситуацій на ПНО та ОПН) здійснено на основі аналізу ефективності функціонування стаціонарних постів моніторингу радіоактивного забруднення навколо об'єктів ядерної енергетики (ОЯЕ) та на основі уявлень, які розкрито на рис. 3.

Нехай задано об'єкт ядерної енергетики – Рівненська АЕС, що представлена на рис. 4 у вигляді точки $A(0,0)$. Стаціонарні пости радіаційного моніторингу, які розташовано у тридцяти кілометровій зоні навколо ОЯЕ, та проводять оцінку радіаційної небезпеки для екосистеми у режимі повсякденного функціонування ОЯЕ, мають вигляд множини точок $P_m(x_m, y_m)$, $m = 1, \dots, N_S$, де N_S – кількість стаціонарних постів радіаційного моніторингу.

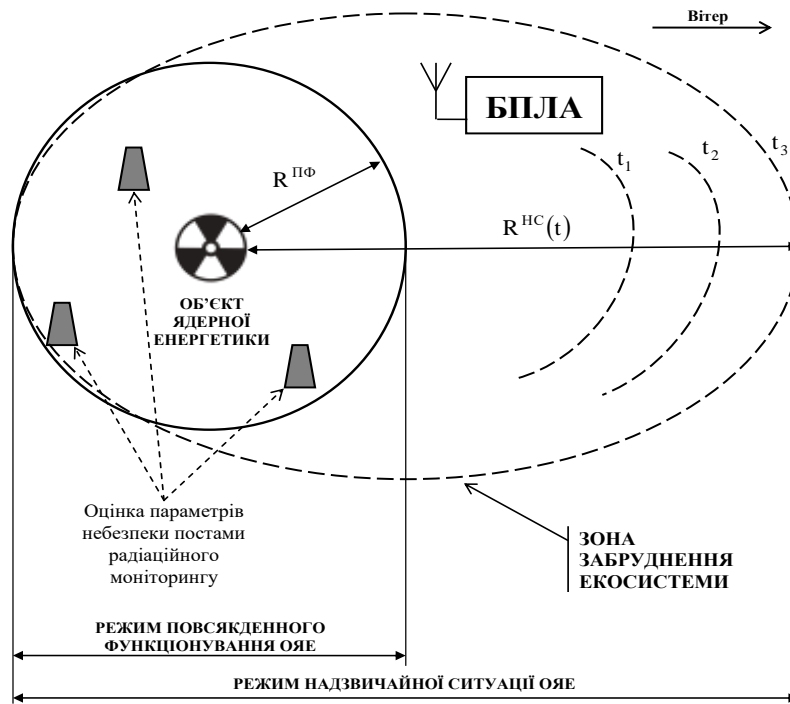


Рисунок 3 – Схема об'єднаного застосування стаціонарних постів радіаційного моніторингу та БПЛА у різних режимах функціонування ОЯЕ

Необхідно визначити мінімальну кількість N БПЛА, яка застосовується для проведення аварійного моніторингу радіоактивного забруднення екосистеми внаслідок аварії на АЕС, при цьому мають виконуватися наступні обмеження:

– побудова поля радіоактивного забруднення екосистеми має здійснюватися із заданою точністю ε ;

– час на побудову поля забруднення з урахуванням розгортання систем БПЛА має не перевищувати гранично припустимого T^* ;

– регулярна сітка $S(2R, s_{x'}, s_{y'}, w_x, w_y)$ має будуватися з урахуванням вектору напрямку вітру $\vec{w} = (w_x, w_y)$, причому основою сітки є квадрат (рис. 5), в який вписане коло радіусу R (як правило $R = 30$ км) із центром у точці $A(0,0)$. Радіус кола визначається за допомогою наступної умови: сітці мають належати стаціонарні наземні пости радіаційного моніторингу $P_m(x_m, y_m)$, $m = 1, \dots, N_M$;

– БПЛА F_{ij} , $i = 1, \dots, N_F$ (N_F – кількість видів БПЛА), $j = 1, \dots, N_i$ (N_i – кількість БПЛА i -го виду), $N = \sum_{i=1}^{N_F} N_i$, мають розміщуватися на визначених місцях $V_k(x_k, y_k)$,

$k = 1, \dots, N_k$, та в процесі польоту фіксують дозу гамма-випромінювання у вузлах сітки.

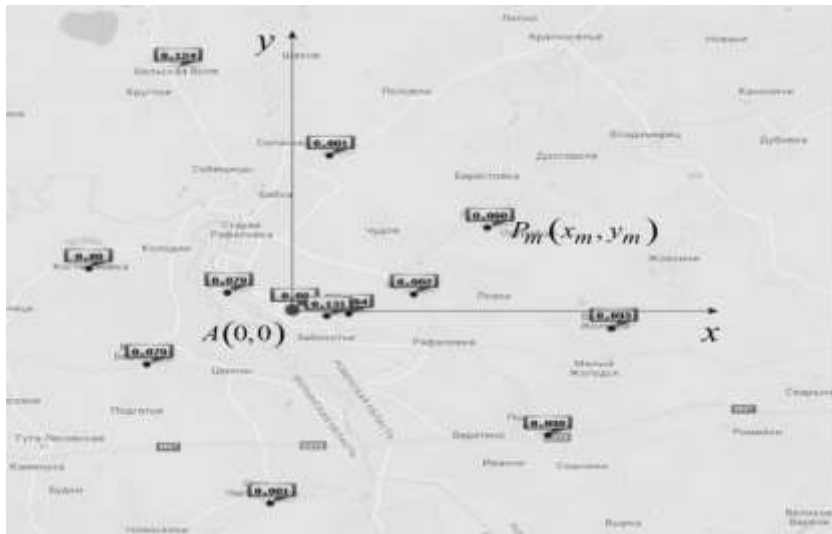


Рисунок 4 – Схема розташування Рівненської АЕС та стаціонарних постів радіаційного моніторингу у тридцяти кілометровій зоні навколо станції

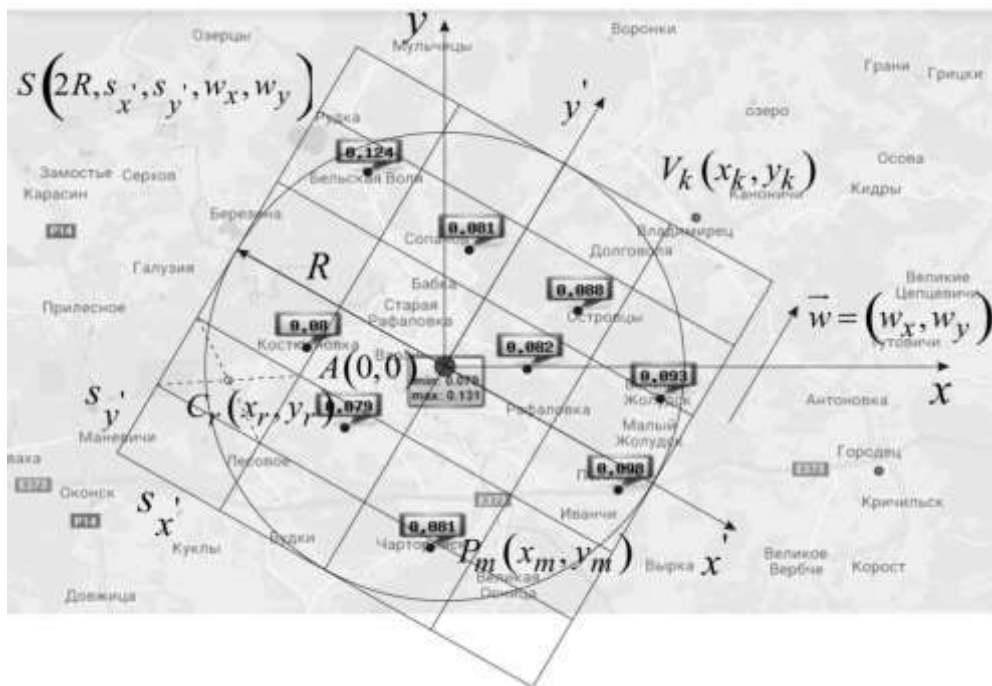


Рисунок 5 – Побудова регулярної сітки для реконструкції поля радіоактивного забруднення

Мають також враховуватися технічні характеристики кожного виду БПЛА, а саме, швидкість, час польоту, максимальна дальність польоту, час розгортання тощо.

Таким чином, модель аварійного моніторингу радіоактивного забруднення внаслідок аварії на АЕС за допомогою безпілотних літальних апаратів має наступний вид:

$$\min_W N(L), \quad (1)$$

де W :

$$\frac{|\Phi_{q+1}(C_r) - \Phi_q(C_r)|}{\Phi_q(C_r)} \leq \varepsilon; \quad r = 1, \dots, N_C; \quad (2)$$

$$\frac{|\Phi_{q+1}(P_m) - \Phi(P_m)|}{\Phi(P_m)} \leq \varepsilon; \quad m = 1, \dots, N_M; \quad (3)$$

$$\max T(l_{ij}) \leq T^*; \quad i = 1, \dots, N_F; \quad j = 1, \dots, N_i; \quad L = \sum_{i=1}^{N_F} \sum_{j=1}^{N_i} l_{ij}; \quad (4)$$

$$P_m(x_m, y_m) \in S(2R, s_{x'}, s_{y'}, w_x, w_y); \quad m = 1, \dots, N_M; \quad (5)$$

$$F_{ij} \in V_k(x_k, y_k); \quad i = 1, \dots, N_F; \quad j = 1, \dots, N_i; \quad N = \sum_{i=1}^{N_F} N_i; \quad k = 1, \dots, N_k. \quad (6)$$

Вираз (1) являє собою цільову функцію, причому L – сумарна довжина польоту БПЛА. Обмеження (2) та (3) являють собою умову побудови поля забруднення із заданою точністю ε . Тут $C_r(x_r, y_r)$ – точки, що знаходяться на перетину діагоналей кожної комірки сітки, причому кількість комірок дорівнює N_C ; $\Phi_q(C_r)$ та $\Phi_{q+1}(C_r)$ – значення поля забруднення у відповідних точках на q та $q + 1$ ітераціях; $P_m(x_m, y_m)$ – стаціонарні пости радіаційного моніторингу, кількість яких дорівнює N_M ; $\Phi(P_m)$ – рівень гамма-випромінювання, зафіксований

стаціонарними постами радіаційного моніторингу. Обмеження (4) являє собою умову побудови поля забруднення протягом часу T , який залежить від маршрутів I_{ij} БПЛА F_{ij} і не перевищує заданого T^* . Обмеження (5) являє собою умову належності постів радіаційного моніторингу регулярній сітці $S(2R, s_{x'}, s_{y'}, w_x, w_y)$. Обмеження (6) описує належність БПЛА F_{ij} фіксованим місцям їх розміщення $V_k(x_k, y_k)$, $k = 1, \dots, N_k$.

Таким чином, задача, яка описується сумою положень (1)÷(6), є комбінованою, тобто відноситься як до класу задач комбінаторної оптимізації, так і до класу задач трасування.

Особливості моделі аварійного моніторингу радіоактивного забруднення за допомогою БПЛА внаслідок аварії на АЕС:

- цільова функція визначається в процесі розв'язання задачі;
- обмеження (2)÷(4) є нелінійними, а (5) та (6) – дискретними;
- загальна кількість обмежень дорівнює $N_c + 2N_M + 2N_F N_i$.

Слід відзначити, що для визначення початкових розмірів комірки регулярної сітки $s_{x'}$ та $s_{y'}$ можна скористатися, наприклад, дослідженням поля радіоактивного забруднення внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС. Далі, в процесі розв'язання задачі, розміри комірки коригуються відповідно до обмежень (2) та (3).

Запропонована у самому загальному вигляді динамічна модель оперативного моніторингу рівня забруднення екосистеми внаслідок аварій на об'єктах ядерної енергетики потребує подальшого ретельного дослідження та можливого спрощення по складовим її обмеженням.

Висновки

1. Розроблені науково-технічні основи створення комплексної функціональної схеми системи оперативного моніторингу рівня забруднення екосистеми внаслідок аварій на потенційно небезпечних об'єктах та об'єктах підвищеної небезпеки. Схема характеризується тим, що для підвищення оперативності моніторингу сумісно застосовуються стаціонарні пости моніторингу та БПЛА. Запропонована система моніторингу включає класичну підсистему моніторингу, ситуаційний центр та підсистему виконання рішення. Вона передбачає розташування диспетчерського пункту отримання й обробки інформації та обладнання для старту БПЛА на наземній

рухомій платформі (штабний автомобіль; пожежно-рятувальний автомобіль; автомобіль патрульної поліції; автомобіль радіаційної, хімічної та біологічної розвідки; бронетранспортер; машина військової розвідки; тягач тощо).

2. Здійснено побудову моделі об'єднаного застосування стаціонарних постів моніторингу та БПЛА для оперативного моніторингу рівня забруднення екосистеми. Формулювання моделі здійснено на основі аналізу ефективності функціонування стаціонарних постів моніторингу радіоактивного забруднення навколо об'єктів ядерної енергетики. Зроблено висновок, що задача (1)-(6) є комбінованою, тобто відноситься як до класу задач комбінаторної оптимізації, так і до класу задач трасування. З урахуванням сказаного потребує розробки комплексне рішення поставленої задачі, оскільки подальше дослідження особливостей розробленої моделі дозволить оптимізувати час та траєкторію руху БПЛА в зоні забруднення екосистеми та підвищити достовірність отримання результатів моніторингу рівня екологічної небезпеки. В результаті успішного розв'язання задачі (1)-(6) подальші дослідження будуть направлені на розробку методу моніторингу рівня забруднення екосистеми внаслідок аварії на потенційно небезпечних об'єктах та об'єктах підвищеної небезпеки за допомогою сумісного застосування стаціонарних постів моніторингу та БПЛА.

Література

1. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.dsns.gov.ua/>
2. Черногор Л. Ф. Физика и экология катастроф. Харьков: Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, 2012. 556 с.
3. Азімов О. Т. Коротинський П. А., Колесніченко Ю. Ю. Огляд поточного стану природно-техногенної безпеки в Україні та перспективи розвитку аналітичної інтерактивної системи моніторингу надзвичайних ситуацій засобами дистанційних, телематичних та ГІС-технологій // ГЕОІНФОРМАТИКА. 2006. № 4. С. 52–66.
4. Кодекс цивільного захисту України від 2 жовтня 2012 року № 5403-VI // Голос України 2012. листопад (№ 220 (5470)). С. 4–20.
5. Постанова Кабінету Міністрів України від 9 січня 2014 року № 11 «Про затвердження Положення про Єдину державну систему цивільного захисту» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/11-2014-%D0%BF>

6. Розпорядження КМУ від 25 січня 2017р.№61 р. «Про схвалення Стратегії реформування системи Державної служби України з надзвичайних ситуацій» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/61-2017-%D1%80>.
7. Романченко І. С. Сбітнєв А. І., Бутенко С. Г. Екологічна безпека: екологічний стан та методи його моніторингу. Київ, 2006. 560 с.
8. Сліпченко В. Г. Брикун Є. В., Дергачова В. В. Еколого-економічні збитки: кількісна оцінка. Київ: ІВЦ «Видавництво Політехніка», 2001. 216 с.
9. Вишняков Я. Д., Кирсанов К. А., Васин С. Г., Буковская Ю. А. Прогнозирование чрезвычайных ситуаций и антикризисное управление // Проблемы безопасности при ЧС. 2004. № 2. С. 38–47.
10. Михалевська Т. В., Ісаєнко В. М., Криворотько В. М., Гроза В. А. Моделювання і прогнозування стану довкілля. Київ: НАУ, 2006. 212 с.
11. Ісаєнко В. М. Лисиченко Г. В., Дудар Т. В., Франчук Г. М., Варламов Є.М. Моніторинг і методи вимірювання параметрів навколишнього середовища. Київ: НАУ, 2009. 312 с.
12. Андронов В. А., Дівізінюк М. М., Калугін В. Д., Тютюник В. В. Науково-конструкторські основи створення комплексної системи моніторингу надзвичайних ситуацій в Україні. Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2016. 319 с.
13. Ільїнський О. В., Лобойченко В. М., Квасов В. А., Варламов Є. М., Захарченко Ю. В. Щодо особливостей державного інформаційного обміну під час виникнення надзвичайних екологічних ситуацій // Комунальне господарство міст. – Харків: Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова. 2020. Т.3. Вип. 156. С. 170–179.
14. Тютюник В. В., Калугін В. Д., Черногор Л. Ф., Шевченко Р. І. Розробка науково-технічних основ системи моніторингу зони надзвичайної ситуації, яка включає доставку автоматизованих пристроїв контролю повітряними безпілотними засобами // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. Харків: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. 2014. №3(16). С. 41–44.
15. Бабушкин Ю. Н. Применение спутниковой навигации при действиях в экстремальных условиях // Информост. 2001. № 3. С. 74–85.

16. Пат. 49115 Україна, МПК(2009) G08C19/00, G08B19/00, G08B21/00. Система раннього виявлення надзвичайних ситуацій / Йора А.П., Сидоров С.М. – № u201002449; заявл. 04.03.2010; опубл. 12.04.2010, бюл. № 7.
17. Пат. 60922 Україна, МПК(2011.01) G01V3/00. Спосіб оперативного визначення ризиків надзвичайних ситуацій / Якорнов Є. А., Ліпчевська І. Л., Лисенко О. І., Романченко І. С., Андрієвська О. А., Чумаченко С. М., Туровець Ю. С., Крюченко Н. О.; Власники патенту: Якорнов Є. А., Ліпчевська І. Л., Лисенко О. І., Романченко І. С., Андрієвська О. А. – № u201101676; заявл. 14.02.2011; опубл. 25.06.2011, бюл. № 12.
18. Коба К. М. Моделі і методи розв'язання задач маршрутизації при ліквідації наслідків техногенних аварій: автореф. дис. ... к.т.н.: спец. 01.05.02 "Математичне моделювання та обчислювальні методи". Харків, 2005. 21 с.
19. Рапута В. Ф. Модели реконструкции полей радиоактивного загрязнения территорий после ядерных взрывов // Ползуновский вестник. 2011. № 4-2. С. 133–137.
20. В МАГАТЭ презентovali беспилотники для радиационного мониторинга [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.atomic-energy.ru/news/2013/05/29/41898>.
21. Саченко А. А., Кочан В. В., Харченко В. С., Ястребенецкий М. А., Фесенко Г. В., Яновский М. Э. Система послеаварийного мониторинга АЭС с использованием беспилотных летательных аппаратов: концепция, принципы построения // Ядерна та радіаційна безпека. 2017. №1(73). С. 24–29.
22. Бабак С. В. Мониторинг окружающей среды АЭС с использованием систем видеонаблюдения и измерения мощности экспозиционной дозы на базе беспилотного авиационного комплекса // Системи обробки інформації. 2015. Вип. 7(132). С. 190–194.
23. Канченко В. Я., Карнаушенко Р. В., Ключников О. О., Мариношенко О. П., Чепур М. Л. Безпілотні літальні апарати радіаційної розвідки і сільськогосподарського призначення. Чорнобиль (Київ. обл.): Інститут проблем безпеки АЕС, 2015. 180 с.
24. Тютюник В. В. Калугін В. Д., Іванець Г. В., Іванець М. Г., Захарченко Ю. В. Оцінка ефективності покриття території надзвичайної ситуації за допомогою автоматизованих пристроїв контролю небезпечних факторів при їх розкиданні із зависаючого над точкою скидання безпілотного літального апарату // Техногенно-

екологічна безпека та цивільний захист. Київ: Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України. 2016. Вип. 10. С. 34–43.

25. Іванець Г. В., Тютюник В. В., Калугін В. Д., Поспелов Б. Б., Захарченко Ю. В. Алгоритм оцінки ефективності покриття території надзвичайної ситуації автоматизованими пристроями контролю небезпечних факторів при їх розкиданні з безпілотного літального апарату в умовах нестабільностей повітряного середовища // Проблеми надзвичайних ситуацій. Харків: Національний університет цивільного захисту України. 2017. Вип. 25. С. 45–56.

26. Тютюник В. В., Соболев О. М., Калугін В. Д., Захарченко Ю. В. Формування динамічної моделі оперативного моніторингу рівня забруднення екосистеми внаслідок аварій на об'єктах ядерної енергетики // Екологічна безпека та природокористування. Київ: Київський національний університет будівництва і архітектури, Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України. 2020. № 1(33). С. 95–114.

References

1. *Natsionalna dopovid pro stan tekhnohennoyi ta pryrodnoyi bezpeky v Ukrayini [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: <https://www.dsns.gov.ua/>*
2. Chernohor L. F. *Fyzyka y ékolohyya katastrof. Kharkov: Kharkovskyy natsyonalnyy unyversytet ymeny V.N. Karazyna, 2012. 556 s.*
3. Azimov O. T. Korotynskyy P. A., Kolyesnichenko YU. YU. *Ohlyad potochnoho stanu pryrodno-tekhnohennoyi bezpeky v Ukrayini ta perspektyvy rozvytku analitychnoyi interaktyvnoyi systemy monitorynhu nadzvychaynykh sytuatsiy zasobamy dystantsiynykh, telematychnykh ta HIS-tekhnolohiy // HEOINFORMATYKA. 2006. № 4. S. 52–66.*
4. *Kodeks tsyvilnoho zakhystu Ukrayiny vid 2 zhovtnya 2012 roku № 5403-VI // Holos Ukrayiny 2012. lystopad (№ 220 (5470)). S. 4–20.*
5. *Postanova Kabinetu Ministriv Ukrayiny vid 9 sichnya 2014 roku № 11 «Pro zatverdzhennya Polozhennya pro Yedynu derzhavnu systemu tsyvil'noho zakhystu» [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/11-2014-%D0%BF>*
6. *Rozporyadzhennya KМУ vid 25 sichnya 2017r.No61 r. «Pro skhvalennya Stratehiyi reformuvannya systemy Derzhavnoyi sluzhby Ukrayiny z nadzvychaynykh sytuatsiy» [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/61-2017-%D1%80>.*
7. Romanchenko I. S. Sbitnyev A. I., Butenko S. H. *Ekolohichna bezpeka: ekolohichnyy stan ta metody yoho monitorynhu. Kyyiv, 2006. 560 s.*

8. Slipchenko V. H., Brykun YE. V., Derhachova V. V. *Ekoloho-ekonomichni zbytky: kilkiska otsinka*. Kyiv: IVTS «Vydavnytstvo Politekhnik», 2001. 216 s.
9. Vishnyakov YA. D., Kirsanov K. A., Vasin S. G., Bukovskaya YU. A. *Prognozirovaniye chrezvychnykh situatsiy i antikrizisnoye upravleniye // Problemy bezopasnosti pri CHS*. 2004. № 2. S. 38–47.
10. Mykhalevska T. V., Isayenko V. M., Kryvorotko V. M., Hroza V. A. *Modelyuvannya i prohnozuvannya stanu dovkillya*. Kyiv: NAU, 2006. 212 s.
11. Isayenko V. M., Lysychenko H. V., Dudar T. V., Franchuk H. M., Varlamov YE.M. *Monitorynh i metody vymiryuvannya parametriv navkolyshnoho seredovyscha*. Kyiv: NAU, 2009. 312 s.
12. Andronov V. A., Divizinyuk M. M., Kaluhin V. D., Tyutyunyk V. V. *Naukovo-konstruktorski osnovy stvorenniya kompleksnoyi systemy monitorynhu nadzvychnykh sytuatsiy v Ukraini*. Kharkiv: Natsionalnyy universytet tsyvilnoho zakhystu Ukrainy, 2016. 319 s.
13. Ilyinskyy O. V., Loboychenko V. M., Kvasov V. A., Varlamov YE. M., Zakharchenko YU. V. *Shchodo osoblyvostey derzhavnogo informatsiynoho obminu pid chas vynyknennya nadzvychnykh ekolohichnykh sytuatsiy // Komunalne hospodarstvo mist. – Kharkiv: Kharkivskyy natsionalnyy universytet miskoho hospodarstva imeni O. M. Beketova*. 2020. T.3. Vyp. 156. S. 170–179.
14. Tyutyunyk V. V., Kaluhin V. D., Chornohor L. F., Shevchenko R. I. *Rozrobka naukovo-tekhnichnykh osnov systemy monitorynhu zony nadzvychnoyi sytuatsiyi, yaka vklyuchaye dostavku avtomatyzovanykh prystroyiv kontrolyu povitryanykh bezpilotnykh zasobamy // Nauka i tekhnika Povitryanykh Syl Zbroynykh Syl Ukrainy*. Kharkiv: Kharkivskyy universytet Povitryanykh Syl imeni Ivana Kozheduba. 2014. №3(16). S. 41–44.
15. Babushkin YU. N. *Primeneniye sputnikovoy navigatsii pri deystviyakh v ekstremal'nykh usloviyakh // Informost*. 2001. № 3. S. 74–85.
16. Pat. 49115 *Ukrayina*, MPK (2009) G08C19/00, G08B19/00, G08B21/00. *Systema rannoho vyyavlennya nadzvychnykh sytuatsiy / Yora A.P., Sydorov S.M.* – № u201002449; zayavl. 04.03.2010; opubl. 12.04.2010, byul. № 7.
17. Pat. 60922 *Ukrayina*, MPK (2011.01) G01V3/00. *Sposib operatyvnoho vyznachennya ryzykiv nadzvychnykh sytuatsiy / Yakornov YE. A., Lipchevska I. L., Lysenko O. I., Romanchenko I. S., Andriyevska O. A., Chumachenko S. M., Turovets YU. S., Kryuchenko N. O.; Vlasnyky patentu: Yakornov YE. A., Lipchevska I. L., Lysenko O. I., Romanchenko I. S., Andriyevska O. A.* – № u201101676; zayavl. 14.02.2011; opubl. 25.06.2011, byul. № 12.
18. Koba K. M. *Modeli i metody rozvyazannya zadach marshrutyzatsiyi pry likvidatsiyi naslidkiv tekhnohennykh avariy: avtoref. dys. ... k.t.n.: spets. 01.05.02 "Matematychno modelyuvannya ta obchyslyvalni metody"*. Kharkiv, 2005. 21 s.

19. Raputa V. F. *Modeli rekonstruktsii poley radioaktivnogo zagryazneniya territoriy posle yadernykh vzryvov* // *Polzunovskiy vestnik*. 2011. № 4-2. S. 133–137.
20. V MAGATE prezentovali bespilotniki dlya radiatsionnogo monitoringa [Yelektronniy resurs]. – Rezhim dostupu: <http://www.atomic-energy.ru/news/2013/05/29/41898>.
21. Sachenko A. A., Kochan V. V., Kharchenko V. S., Yastrebenetskiy M. A., Fesenko G. V., Yanovskiy M. E. *Sistema posleavariynogo monitoringa AES s ispol'zovaniyem bespilotnykh letatel'nykh apparatov: kontseptsiya, printsipy postroyeniya* // *Yaderna ta radiatsiyna bezpeka*. 2017. №1(73). S. 24–29.
22. Babak S. V. *Monitoring okruzhayushchey sredy AES s ispol'zovaniyem sistem videonablyudeniya i izmereniya moshchnosti ekspozitsionnoy dozy na baze bespilotnogo aviatsionnogo kompleksa* // *Sistemi obrobki informatsii*. 2015. Vip. 7(132). S. 190–194.
23. Kanchenko V. YA., Karanushenko R. V., Klyuchnykov O. O., Marynoshenko O. P., Chepur M. L. *Bezpilotni litalni aparaty radiatsiynoyi rozvidky i silskohospodarskoho pryznachennya. Chornobyl (Kyyiv. obl.): Instytut problem bezpeky AES, 2015. 180 s.*
24. Tyutyunyk V. V., Kaluhin V. D., Ivanets H. V., Ivanets M. H., Zakharchenko YU. V. *Otsinka efektyvnosti pokryttya terytoriyi nadzvychaynoyi sytuatsiyi za dopomohoyu avtomatyzovanykh prystroyiv kontrolyu nebezpechnykh faktoriv pry yikh rozkydanni iz zavysayuchoho nad tochkoyu skydannya bespilotnoho litalnoho aparatu* // *Tekhnohenko-ekolohichna bezpeka ta tsyvilnyy zakhyst*. Kyyiv: Instytut heokhimiyi navkolyshnoho seredovyshcha NAN Ukrayiny. 2016. Vyp. 10. S. 34–43.
25. Ivanets H. V., Tyutyunyk V. V., Kaluhin V. D., Pospyelov B. B., Zakharchenko YU. V. *Alhorytm otsinky efektyvnosti pokryttya terytoriyi nadzvychaynoyi sytuatsiyi avtomatyzovanyymi prystroyamy kontrolyu nebezpechnykh faktoriv pry yikh rozkydanni z bespilotnoho litalnoho aparatu v umovakh nestabilnostey povitryanoho seredovyshcha* // *Problemy nadzvychaynykh sytuatsiy*. Kharkiv: Natsionalnyy universytet tsyvilnoho zakhystu Ukrayiny. 2017. Vyp. 25. S. 45–56.
26. Tyutyunyk V. V., Sobol O. M., Kaluhin V. D., Zakharchenko YU. V. *Formuvannya dynamichnoyi modeli operatyvnogo monitorynhu rivnya zabrudnennya ekosystemy vnaslidok avariiv na obyektakh yadernoyi enerhetyky* // *Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannya*. Kyyiv: Kyyivskyy natsionalnyy universytet budivnytstva i arkhitektury, Instytut telekomunikatsiy i hlobalnoho informatsiynoho prostoru NAN Ukrayiny. 2020. № 1(33). S. 95–114.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Соболь Олександр Миколайович – професор кафедри управління та організації діяльності у сфері цивільного захисту, доктор технічних наук, старший науковий

співробітник. Національний університет цивільного захисту України, м. Харків, тел.: (093)295-09-54, e-mail: alexander_sobol@i.ua, Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-7133-6519>

Соболь Александр Николаевич – профессор кафедры управления и организации деятельности в сфере гражданской защиты, доктор технических наук, старший научный сотрудник. Национальный университет гражданской защиты Украины, г. Харьков, тел.: (093)295-09-54, e-mail: alexander_sobol@i.ua, Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-7133-6519>

Sobol` Oleksandr Mykolayovych - Professor of the Department of Management and Organization of Civil Defence, Doctor of Technical Sciences, Senior Research Fellow. National University of Civil Defense of Ukraine, Kharkiv, phone: (093)295-09-54, e-mail: alexander_sobol@i.ua, Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-7133-6519>

Захарченко Юлія Вадимівна – аспірантка. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УКРНДІЕП, м. Харків; тел.: (096)635-47-87, e-mail: tutunik_j@ukr.net, Orcid: 0000-0003-1978-2818

Захарченко Юлия Вадимовна – аспирант. Научно-исследовательское учреждение «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем», УКРНИИЭП., г. Харьков; тел.: (096)635-47-87, e-mail: tutunik_j@ukr.net, Orcid: <http://orcid.org/0000-0003-1978-2818>

Zakharchenko Yuliya Vadymivna – Research Institution. Scientific Ukrainian Research Institute of Environmental Problems, USRIEP. Kharkiv; phone: (096)635-47-87, e-mail: tutunik_j@ukr.net, Orcid: <http://orcid.org/0000-0003-1978-2818>

Тютюник Вадим Володимирович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, академік Академії наук прикладної радіоелектроніки. Національний університет цивільного захисту України, м. Харків, тел.: (067)727-04-05, e-mail: tutunik_v@ukr.net; tutunik.vadim.72@gmail.com. Scopus Author ID: 57201250812 Orcid: <http://orcid.org/0000-0001-5394-6367>

Тютюник Вадим Владимирович – доктор технических наук, старший научный сотрудник, академик Академии наук прикладной радиоэлектроники. Национальный университет гражданской защиты Украины, г. Харьков, тел.: (067)727-04-05, e-mail: tutunik_v@ukr.net; tutunik.vadim.72@gmail.com. Scopus Author ID: 57201250812 Orcid: <http://orcid.org/0000-0001-5394-6367>

Tyutyunyk Vadym Volodymyrovych – Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Academician of the Academy of Applied Radio Electronics. National University of Civil Defense of Ukraine, Kharkiv, phone: (067) 727-04-05, e-mail: tutunik_v@ukr.net; tutunik.vadim.72@gmail.com. Scopus Author ID: 57201250812

Orcid: <http://orcid.org/0000-0001-5394-6367>

Калугін Володимир Дмитрович – професор кафедри спеціальної хімії і хімічної технології, доктор хімічних наук. Національний університет цивільного захисту України, м. Харків, тел.: (095)917-12-07, e-mail: tutunik_v@ukr.net,

Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-6899-1010>

Калугин Владимир Дмитриевич – профессор кафедры специальной химии и химической технологии, доктор химических наук. Национальный университет гражданской защиты Украины, г. Харьков, тел.: (095)917-12-07, e-mail: tutunik_v@ukr.net, Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-6899-1010>

Kaluhin Volodymyr Dmytrovych – Professor of the Department of Special chemistry and chemical technology, Doctor of Chemical Sciences. National University of Civil Defense of Ukraine, Kharkiv, phone: (095)917-12-07, e-mail: tutunik_v@ukr.net,

Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-6899-1010>

Квасов Володимир Андрійович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник. Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», УКРНДІЕП, м. Харків; тел.: (066)308-28-03, e-mail: kvasovva34@gmail.com,

Orcid: <http://orcid.org/0000-0003-2331-1082>

Квасов Владимир Андреевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник. Научно-исследовательское учреждение «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем», УКРНИИЭП., г. Харьков; тел: (066)308-28-03, e-mail: kvasovva34@gmail.com,

Orcid: <http://orcid.org/0000-0003-2331-1082>

Kvasov Volodymyr Andriyovych – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Leading Researcher. Research Institution. Ukrainian Research Institute of Environmental Problems, USRIEP. Kharkiv; phone: (066)308-28-03, e-mail: kvasovva34@gmail.com, Orcid: <http://orcid.org/0000-0003-2331-1082>

Т. Л. ЦАРЕГРАДСЬКА, І. В. ПЛЮЩАЙ, О. О. КАЛЕНИК

ШЛЯХИ ОПТИМІЗАЦІЇ ФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АМОРФНИХ СПЛАВІВ ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ ЇХ В ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

Запропоновано методику підвищення термічної стабільності аморфних сплавів, яка розширює можливості застосування аморфних металевих сплавів в сучасних екологічно безпечних технологіях. Практично реалізовано процес очищення аморфної матриці від вмерожених центрів кристалізації шляхом ізотермічного відпалу аморфного сплаву (в експериментально визначеному температурному інтервалі) за рахунок зсуву міжфазної термодинамічної рівноваги в системі аморфна матриця – вмерожені центри кристалізації. Показано, що термічна обробка при визначених режимах дозволяє розширити інтервали термічної стабільності багатоконпонентних аморфних сплавів на основі заліза та нікеля на $(20-40)^{\circ}\text{C}$ за рахунок очищення аморфної матриці від вмерожених центрів кристалізації. Показано, що в аморфних сплавах спостерігається термопластичний ефект – значення мікротвердості знижується після проведеної термообробки на $(15-21)\%$, що свідчить про зменшення частки кристалічної фази в зразках.

Ключові слова: аморфний сплав, вмерожені центри кристалізації, термічна стабільність, мікротвердість, екологічно безпечні технології

Предложена методика увеличения термической стабильности аморфных сплавов, которая расширяет возможности применения аморфных металлических сплавов в современных экологически безопасных технологиях. Практически реализовано процесс очистки аморфной матрицы от вмерожённых центров кристаллизации путем изотермического отжига аморфного сплава (в экспериментально определенном температурном интервале) за счет сдвига межфазного термодинамического равновесия в системе аморфная матрица - вмерожённые центры кристаллизации. Показано, что термическая обработка при определенных режимах позволяет расширить интервалы термической стабильности многокомпонентных аморфных сплавов на основе железа и никеля на $(20-40)^{\circ}\text{C}$ за счет очистки аморфной матрицы от вмерожённых центров кристаллизации.

Показано, что в аморфных сплавах наблюдается термопластичный эффект – значение микротвердости снижается после проведенной термообработки на (15-21)%, что свидетельствует об уменьшении доли кристаллической фазы в образцах.

Ключевые слова: аморфный сплав, замороженные центры кристаллизации, термическая стабильность, микротвердость, экологически безопасные технологии

A technique is proposed to increase the thermal stability of amorphous alloys, which expands the possibilities of using amorphous metal alloys in modern environmentally friendly technologies. The process of purification of the amorphous matrix from frozen-in crystallization centers by means of isothermal annealing of the amorphous alloy (in the experimentally determined temperature range) due to a shift in interphase thermodynamic equilibrium in the amorphous matrix - frozen crystallization centers system has been practically implemented. It is shown that heat treatment under certain conditions allows extending the thermal stability intervals of multicomponent amorphous alloys based on iron and nickel by (20-40)^oC due to the purification of the amorphous matrix from frozen-in crystallization centers. It has been shown that a thermoplastic effect is observed in amorphous alloys - the microhardness decreases after heat treatment by (15-21)%, which indicates a decrease in the fraction of the crystalline phase in the samples.

Key words: amorphous alloy, frozen-in crystallization centers, thermal stability, microhardness environmentally friendly technologies

Актуальність роботи. Перспективним напрямком розвитку екологічно безпечних технологій є використання аморфних металевих сплавів. Завдяки особливій структурі ці матеріали набувають комплексу унікальних структурно-чутливих властивостей, що дає змогу на їх основі створювати принципово нові прецизійні вироби, перш за все такі, для яких визначними робочими параметрами є точність, швидкодія, стабільність, надійність, чутливість, захищеність від зовнішніх факторів. Розглянемо перспективні галузі застосування аморфних металевих сплавів в екологічно безпечних технологіях.

Аморфний стан забезпечує набагато більшу ізотропію властивостей в порівнянні зі звичайними сплавами, в тому числі набагато меншу магнітну анізотропію. Ця особливість забезпечує істотне зниження втрат електроенергії на перемагнічування (сердечники в трансформаторах), петля гістерезису характеризується набагато меншою коерцитивною силою. Завдяки цьому при

використанні для виготовлення магнітопроводу аморфних сплавів вдається значно підвищити ККД трансформаторів. Аморфні сплави мають меншу магнітну проникність, тому втрати на вихрові струми в магнітопроводу набагато менше і, як наслідок, зменшується нагрівання сердечника. Оскільки величина втрат в електромережах на 20-30% припадає на трансформатори, навіть невелике збільшення ККД забезпечує велику економію енергії. Хоча аморфні сплави і дорогі у виробництві, як показує зарубіжний досвід, більш висока вартість трансформаторів з сердечниками з аморфних сплавів окупується за 3-5 років експлуатації останніх.

Останніми роками все більшої популярності набувають екологічні транспортні засоби, які використовують електропривід, при цьому широке поширення електротранспорту стримується розвитком відповідної інфраструктури зарядних станцій. Для підвищення швидкодії і зменшення габаритних розмірів зарядних станцій ефективно використовувати високочастотні перетворюючі системи, основою яких є силові високочастотні трансформатори з сердечниками з аморфних сплавів [1,2].

Аморфні металеві сплави легко утворюють гідриди, здатні абсорбувати водень на 50% більше, ніж кристалічні сплави. Новим і перспективним напрямком є використання аморфних сплавів на основі тугоплавких металів в якості матеріалів для зберігання водню, а також в якості датчика вмісту водню. Аморфні металеві сплави можливо використовувати в якості каталізаторів органічного синтезу і матеріалів для паливних елементів. Аморфні металеві сплави є стійкими до радіаційних пошкоджень, оскільки мають невпорядковану атомну структуру і можуть використовуватися в областях, де певні характеристики, такі, наприклад, як провідність і механічні властивості, повинні залишатися незмінними під впливом опромінення [3-4].

Особливо важливою в плані екологічної безпеки є проблема корозії на небезпечних виробничих об'єктах, адже остання може спровокувати аварії та надзвичайні ситуації, які загрожують серйозними екологічними проблемами, а також нещасними випадками із заподіянням шкоди здоров'ю та життю людей. Дати оцінку екологічній шкоді, що завдається нашій планеті процесами корозії металевих конструкцій, виробів і обладнання досить важко насамперед через масштабність цієї проблеми.

Отже, одним з основних з точки зору практичних застосувань аморфних сплавів в промисловості є їх корозійні властивості. Аморфні металеві сплави стійкіші

в хімічно агресивних середовищах. Вони більш корозійно-стійкі, ніж полікристалічні метали [5]. Хімічні процеси особливо активно протікають на межі зерен і на поверхнях з підвищеною енергією, наприклад в місцях виходу дислокацій або інших дефектів. Оскільки в аморфних металевих сплавах відсутні межі зерен і дислокації, вони хімічно більш інертні. Дослідження корозійних властивостей аморфних металевих сплавів представляє великий інтерес, так як всюди, де експлуатуються дані матеріали, є речовини, які взаємодіють з їх поверхневими шарами і руйнують ці покриття [6]. Аморфні металеві сплави проявляють високу корозійну стійкість навіть в розчині сірчаної кислоти [7]. Покриття з аморфних сплавів, в силу своїх зносостійких і корозійних властивостей використовують в якості захисних покриттів металів.

Завдяки високій корозійній та радіаційній стійкості, аморфні металеві сплави застосовують в якості припоїв вузлів ядерних реакторів.

Таким чином, аморфні сплави мають великий потенціал практичного застосування, і їх використання може стати передумовою до створення нових екологічно безпечних технологій.

Відомо, що фізико-хімічні властивості аморфних сплавів залежать від умов їх отримання і подальшої обробки. Зовнішні дії, такі як термічна обробка, механічна, ультразвукова обробка, опромінення частинками різної природи, приводять до зміни механічних, магнітних властивостей, а також втрати корозійної стійкості. У зв'язку з цим є актуальними дослідження зміни властивостей аморфних сплавів під дією термічних, механічних та інших впливів.

Метою роботи є дослідження фізичних властивостей аморфних сплавів для застосування їх в екологічно безпечних технологіях

Матеріали і результати досліджень. Дослідження впливу зовнішньої обробки на термостабільність проводились на зразках багатокомпонентних аморфних сплавів на основі заліза та нікелю ($Fe_{40}Ni_{40}B_{20}$, $Ni_{78}B_{18}Si_4$, $Fe_{80}B_{14}Si_6$, $Fe_{76,2}Ni_{3,8}B_{14}Si_6$, $Fe_{78}Si_6B_{14}Mo_2$), отриманих методом спіннігування розплаву пр. швидкості гартування $10^6 K/c$ в Інституті металофізики імені Г.В. Курдюмова НАН України. Проведено два типи досліджень впливу термічної обробки на властивості аморфних сплавів: дослідження термічної стабільності та мікромеханічних властивостей, індикатором яких є мікротвердість.

Основною характеристикою термічної стабільності аморфних сплавів є температура початку інтенсивної кристалізації, яка визначалась за допомогою високочутливого дилатометричного методу, суть якого полягає в наступному [8].

Молярний об'єм більшості сплавів в аморфному та кристалічному станах відрізняється на (1-3) %. Процес кристалізації аморфного сплаву можна дослідити, фіксуючи зміну довжини зразка при нагріванні та перераховуючи її в об'ємні зміни. При нагріванні аморфного сплаву з постійною швидкістю його об'єм монотонно зростає, коли температура досягає певного значення (температури початку інтенсивної кристалізації) відбувається перехід аморфного сплаву в кристалічний стан. Цей процес супроводжується різким зменшенням об'єму. З температурної залежності відносної зміни об'єму при неперервному нагріванні аморфного сплаву визначалась температуру початку інтенсивної кристалізації. Швидкість нагрівання складала 10 К/хв, систематична відносна похибка не перевищувала 5 %.

За допомогою високочутливої дилатометричної методики було визначення температури початку інтенсивної кристалізації для вихідних (щойно отриманих аморфних сплавів). Температура подальшого термічного впливу визначалась емпіричним шляхом, базуючись на теоретичних положеннях термодинамічної теорії високотемпературної стабільності аморфних сплавів. Згідно цієї теорії існує інтервал температур, в якому різниця хімічних потенціалів між фазами: аморфна матриця – вморожені центри кристалізації ($\Delta\mu_i$) є від'ємною. При цьому виконується термодинамічна умова можливості розчинення вморожених центрів кристалізації [9]. З метою стабілізації отриманого стану застосовувалась кріообробка, яка полягала в різкому охолодженні зразків до температури рідкого азоту -196°C (77 K).

Наступним етапом досліджень було проведення термічної обробки (ізотермічний відпал протягом 1 години) багатокомпонентних аморфних сплавів основі заліза та нікелю при визначених температурах. Після цього визначалась температури початку інтенсивної кристалізації сплавів, що пройшли термообробку. Отримані з дилатометричних досліджень температури початку інтенсивної кристалізації сплавів, що пройшли термообробку представлено в таблиці 1.

З таблиці 1 видно, що запропонований режим термообробки дозволяє розширити інтервали термічної стабільності аморфних сплавів на основі нікелю та заліза на $(20-40)^{\circ}\text{C}$. Підвищення термічної стабільності досліджених аморфних сплавів після проведеної термообробки можна пояснити розчиненням існуючих в аморфній фазі вморожених центрів кристалізації. Мала товщина стрічки аморфних металевих сплавів, які отримані методом спіннігування розплаву, ускладнюють дослідження механічних властивостей традиційними методами. Отже, основним методом дослідження механічних властивостей аморфних сплавів є метод

вимірювання мікротвердості. Для низки аморфних сплавів було проведено вимірювання мікротвердості H за Віккерсом на приладу ПМТ-3 для порівняння властивостей аморфних сплавів у вихідному стані та після проведеної термообробки.

Таблиця 1 – Температури початку інтенсивної кристалізації T_k^0 для вихідних сплавів, температури проведеної попередньої термообробки T_k^a , температури початку інтенсивної кристалізації T_k після проведеної термообробки та інтервали збільшення температурно-часової стабільності аморфних сплавів ΔT

Склад аморфного сплаву	T_k^0 , °C ±5 °C вихідний	T_k^a , °C ±5 °C температура відпалу ($t = 1$ година)	T_k , °C ±5 °C після відпалу	ΔT , °C
Fe ₄₀ Ni ₄₀ B ₂₀	440	400	460	20
Ni ₇₈ B ₁₈ Si ₄	460	410	480	20
Fe ₈₀ B ₁₄ Si ₆	500	450	540	40
Fe _{76,2} Ni _{3,8} B ₁₄ Si ₆	500	450	540	40
Fe ₇₈ Si ₆ B ₁₄ Mo ₂	575	530	600	25

Метод вимірювання мікротвердості ґрунтується на вимірі лінійної величини діагоналі відбитка, що утворюється при втискуванні алмазної пірамідки в досліджуваний матеріал під певним навантаженням. В результаті вимірювань визначається довжина діагоналі отриманого відбитка за допомогою окуляр мікрометра. При вимірах мікротвердості враховувалась можливість розкиду значень мікротвердості внаслідок впливу сусідніх структурних складових з іншою мікротвердістю, виміри проводились 10 разів в однакових умовах, повторні виміри проводились в новому місті структурної складової, навантаження складало 30 г, тривалість витримки під навантаженням 10 с.

Результати проведених вимірювань мікротвердості, а також відносні зміни мікротвердості між вихідними сплавами та сплавами, що пройшли відповідну обробку наведено в таблиці 2

Таблиця 2 – Значення температур початку інтенсивної кристалізації та мікротвердості вихідних зразків та після проведеної термообробки

Склад аморфного сплаву	T_k^0 , °C ±5 °C °C вихідний	H , кгс/мм ²		$(H_a - H_0)/H_a$, %
		вихідний сплав	Після ізотермічного відпалу	
Fe ₄₀ Ni ₄₀ B ₂₀	440	526	415	-21,1
Ni ₇₈ B ₁₈ Si ₄	460	605	512	-15,3
Fe ₈₀ B ₁₄ Si ₆	500	747	654	-16,4
Fe _{76,2} Ni _{3,8} B ₁₄ Si ₆	500	758	662	-19,2
Fe ₇₈ Si ₆ B ₁₄ Mo ₂	575	801	723	-18,4

Між значеннями температури початку інтенсивної кристалізації та мікротвердості існує пропорційна залежність, ймовірно, ці параметри визначаються загальним чинником, наприклад, енергією міжатомної взаємодії компонентів сплаву. Значення мікротвердості знижується на (15,3-21,1)% після проведеної термообробки, що підтверджує факт зменшення частки кристалічної фази в зразках. Аморфні сплави є гетерогенними системами: аморфна матриця – вмерожені центри кристалізації, які знаходяться в метастабільному стані, тому їх властивості істотно залежать від впливу зовнішніх умов (температура, тиск, час ізотермічної витримки та ін.), особливо в області фазових переходів. В щойно отриманих аморфних зразках завжди присутні вмерожені центри кристалізації, при цьому об'ємна частка кристалічної фази в зразку не може перевищувати 10^{-6} (умова аморфності матеріалу). Вмерожені центри кристалізації мають різні розміри, як правило, їх радіус складає (20-100) нм. Після тривалої ізотермічної витримки та після термообробки їх розмір змінюється. Вмерожені центри кристалізації можуть збільшуватись з часом до розмірів (200-500) нм, що є проявом їх метастабільного стану; при цьому знижується їх температурно-часова стабільність, відбувається процес старіння аморфних сплавів. Такий процес є характерним для бінарних сплавів, багатоконпонентні сплави є значно стабільнішими. Під дією зовнішніх впливів розмір вмерожених центрів кристалізації може зменшуватись, а також відбуватися їх руйнування, розчинення в аморфній матриці; при цьому буде зростати інтервал термічної стабільності сплаву.

Умова термодинамічної рівноваги вмерожених центрів кристалізації – аморфна матриця за i -м компонентом описується рівністю $\Delta\mu_i = 0$ [8]. На процес зародження центрів кристалізації значно впливає різниця хімічних потенціалів $\Delta\mu_i$ між аморфною і кристалічною фазами, причому зменшення $\Delta\mu_i$ сприяє підвищенню термічної стабільності сплавів.

При певних значеннях температури ізотермічного відпалу (нижче за температуру кристалізації аморфного сплаву), а також при зміні зовнішнього тиску, є можливими умови при яких відбуватиметься процес переходу β -кристалічної фази в α -аморфну. При такому процесі при зменшенні долі кристалічної фази в аморфній матриці збільшуватиметься температурна стабільність аморфного сплаву.

Отже, збільшення інтервалу термічної стабільності можна пояснити тим, що проведена термообробка аморфних сплавів призводить до істотного зміщення

фазової рівноваги в гетерогенній системі: аморфна матриця – в заморожені центри кристалізації. При термообробці аморфних сплавів відбувається руйнування і дроблення заморожених центрів кристалізації, присутніх в початкових зразках. Таким чином, результати проведених експериментальних досліджень підтверджують висновки теорії термодинамічної стабільності аморфних сплавів [9], яка показує можливість зсуву фазової рівноваги в системі аморфна матриця – в заморожені центри кристалізації за рахунок спрямованої зміни зовнішніх впливів та визначає способи розширення температурного інтервалу існування аморфного стану сплавів.

Висновки

Експериментально досліджено вплив термічної обробки на термостабільність багатокомпонентних аморфних сплавів основі заліза та нікелю: $Fe_{40}Ni_{40}B_{20}$, $Ni_{78}B_{18}Si_4$, $Fe_{80}B_{14}Si_6$, $Fe_{76,2}Ni_{3,8}B_{14}Si_6$, $Fe_{78}Si_6B_{14}Mo_2$ та емпіричним шляхом визначені температури попередньої термічної обробки аморфних сплавів, при яких виконується термодинамічна умова можливості розчинення заморожених центрів кристалізації. Показано, що запропоновані режими термообробки дозволяють розширити інтервали термічної стабільності багатокомпонентних аморфних сплавів на основі нікелю та заліза на $(20-40)^\circ C$ за рахунок очищення аморфної матриці від заморожених центрів кристалізації.

З метою порівняння властивостей аморфних сплавів у вихідному стані та після термообробки проведено вимірювання мікротвердості та показано, що значення мікротвердості знижується після термообробки на $(15-21)\%$, що свідчить про зменшення частки кристалічної фази в зразках. Практично реалізовано процес очищення аморфної матриці від заморожених центрів кристалізації шляхом ізотермічного відпалу аморфного сплаву (в експериментально визначеному температурному інтервалі) за рахунок зсуву міжфазної термодинамічної рівноваги в системі аморфна матриця – в заморожені центри кристалізації. Запропонована методика підвищення інтервалу термічної стабільності аморфних сплавів розширює можливості застосування аморфних металевих сплавів в сучасних екологічно безпечних технологіях.

Література

1. Rusanov, B., Sidorov, V., Svec Sr., P., Svec, P., Janickovic, D., Moroz, A., Son, L., Ushakova, O. (2019), "Electric properties and crystallization behavior of Al-TM-REM amorphous alloys", *Journal of Alloys and Compounds*, no 787. pp.448-451.
2. Yao, A., Yang, H., Wang, J.-Q., Xu, W., Huo, J., Li, R.-W., Qiu, H., Chen, M. (2019) "Flexible supercapacitor electrodes fabricated by dealloying nanocrystallized Al-Ni-Co-Y-Cu metallic glasses", *Journal of Alloys and Compounds*, no 772. pp.164-172.
3. Канунникова, О. М., Гончаров, О. Ю., Ладьянов, В.И. (2015) "Оценка структурного состояния тонких поверхностных слоев аморфных сплавов", *Химическая физика и мезоскопия*, no 17(1). сс. 97–104.
4. Arutyunyan, N. A., Zaitsev, A. I., Dunaev, S. F., Kalmykov, K. B., Plokhikh, A. I., Fedotova, N. L. (2016) "Dependence of the mechanical characteristics of fast-quenched amorphous Zr–Cu–Al alloys on their composition", *Russian Journal of Physical Chemistry A.*, no 90(6), pp.1256–1260.
5. Li, C. L., Wang, P., Sun, S.Q., Voisey, K. T., McCartney, D.G. (2016) "Corrosion Behaviour of Al_{86.0}Co_{7.6}Ce_{6.4} Glass Forming Alloy With Different Microstructures", *Applied Surface Science*, vol.384. pp.116-124.
6. Tailleart, N. R., Huang, R., Aburada, T., Horton, D. J., Scully, J. R. (2012) "Effect of thermally induced relaxation on passivity and corrosion of an amorphous Al–Co–Ce alloy", *Corrosion Science*, no 59. pp.238–248.
7. Minghao, G., Weiyan, L., Baijun, Y., Suode, Z., Jianqiang, W. (2018) "High corrosion and wear resistance of Al-based amorphous metallic coating synthesized by HVOF spraying", *Journal of Alloys and Compounds*, no. 735. pp.1363-1373.
8. Лысов, В. И., Цареградская, Т. Л., Турков, О. В., Саенко, Г. В. (2014) "Особенности фазообразования и пути управляемого наноструктурирования в аморфном сплаве Fe₈₀B₂₀", *Журнал физической химии*, no. 12, сс. 1981-1986.
9. Lysov, V. I., Tsaregradskaya T. L., Turkov, O. V., Saenko, G. V. (2013) "The studies of processes stabilizing structure and properties of metallic glasses under external influences", *Journal of Physical Studies*, v.7, no. 2. pp 2701.1–2701.5.

References

1. Rusanov, B., Sidorov, V., Svec Sr., P., Svec, P., Janickovic, D., Moroz, A., Son, L., Ushakova, O. (2019), "Electric properties and crystallization behavior of Al-TM-REM amorphous alloys", *Journal of Alloys and Compounds*, no 787. pp.448-451.

2. Yao, A., Yang, H., Wang, J.-Q., Xu, W., Huo, J., Li, R.-W., Qiu, H., Chen, M. (2019) "Flexible supercapacitor electrodes fabricated by dealloying nanocrystallized Al-Ni-Co-Y-Cu metallic glasses", *Journal of Alloys and Compounds*, no 772. pp.164-172.
3. Kanunnikova, O.M., Goncharov, O.Yu., Ladyanov, V.I. (2015) "Otsenka strukturnogo sostoyaniya tonkih poverhnostnyih sloev amorfnyih splavov", *Himicheskaya fizika i mezoskapiya*, no 17(1). c. 97–104.
4. Arutyunyan, N.A., Zaitsev, A.I., Dunaev, S.F., Kalmykov, K.B., Plokhikh, A.I., Fedotova, N.L. (2016) "Dependence of the mechanical characteristics of fast-quenched amorphous Zr-Cu-Al alloys on their composition", *Russian Journal of Physical Chemistry A.*, no 90(6), pp.1256–1260.
5. Li, C.L., Wang, P., Sun, S.Q., Voisey, K.T., McCartney, D.G. (2016) "Corrosion Behaviour of Al86.0Co7.6Ce6.4 Glass Forming Alloy With Different Microstructures", *Applied Surface Science*, vol.384. pp.116-124.
6. Tailleart, N.R., Huang, R., Aburada, T., Horton, D.J., Scully, J.R. (2012) "Effect of thermally induced relaxation on passivity and corrosion of an amorphous Al-Co-Ce alloy", *Corrosion Science*, no 59. pp.238–248.
7. Minghao, G., Weiyang, L., Baijun, Y., Suode, Z., Jianqiang, W. (2018) "High corrosion and wear resistance of Al-based amorphous metallic coating synthesized by HVOF spraying", *Journal of Alloys and Compounds*, no. 735. pp.1363-1373.
8. Lysov, V.I., Tsaregradskaya, T.L., Turkov, O.V., Saenko, G.V. (2014) "Osobennosti fazobrazovaniya i puti upravlyaemogo nanostrukturirovaniya v amorfnom splave Fe₈₀B₂₀", *Zhurnal fizicheskoy himii*, no. 12, cs. 1981-1986.
9. Lysov, V.I., Tsaregradskaya T.L., Turkov, O.V., Saenko, G.V. (2013) "The studies of processes stabilizing structure and properties of metallic glasses under external influences", *Journal of Physical Studies*, v.7, no. 2. pp 2701.1–2701.5.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Цареградська Тетяна Леонідівна – доцент кафедри загальної фізики фізичного факультету, кандидат фізико-математичних наук. Київський національний університет ім.Тараса Шевченка. Київ, Україна. тел.: (063)203-02-47, e-mail: tsar_grd@ukr.net, Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5358-3428>

Цареградская Татьяна Леонидовна – доцент кафедры общей физики физического факультета, кандидат физико-математических наук. Киевский национальный

університет ім.Тараса Шевченка, Київ, Україна. тел.: (063)203-02-47, e-mail: tsar_grd@ukr.net, Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5358-3428>

Tsaregradska Tetiana Leonidivna – Associate Professor of Physics Department, PhD (Physical and Mathematical Sciences). Kiev Taras Shevchenko National University, Kyiv, Ukraine. tel.:(063)203-02-47, e-mail: tsar_grd@ukr.net., Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5358-3428>

Плющай Інна В'ячеславівна – доцент кафедри фізики металів фізичного факультету, кандидат фізико-математичних наук. Київський національний університет ім. Тараса Шевченка. Київ, Україна. тел.: (068)807-49-61, e-mail: inna.plyushchay@gmail.com., Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1242-1358>

Плющай Инна Вячеславовна – доцент кафедры физики металлов физического факультета, кандидат физико-математических наук. Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко. Киев, Украина. тел.: (068)807-49-61, e-mail: inna.plyushchay@gmail.com., Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1242-1358>

Plyushchay Inna Viacheslavivna – Associate Professor of Physics Department, PhD (Physical and Mathematical Sciences). Kiev Taras Shevchenko National University. Kyiv, Ukraine. tel.: (068)807-49-61, e-mail: inna.plyushchay@gmail.com., Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1242-1358>

Каленик Олександр Олександрович – старший викладач, кандидат фізико-математических наук. Київський національний університет ім. Тараса Шевченка. Київ, Україна. тел.: (097)423-45-09, e-mail: okalenyk@ukr.net., Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9552-5699>

Каленик Олександр Олександрович – старший преподаватель, кандидат физико-математических наук. Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко. Киев, Украина. тел.: (097)423-45-09, e-mail: okalenyk@ukr.net., Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9552-5699>

Kalenyk Olexandr Oleksandrovych – PhD (Physical and Mathematical Sciences), senior lecturer of the preparatory office. Kiev National Taras Shevchenko University. Kyiv, Ukraine. tel.: (097)423-45-09, e-mail: okalenyk@ukr.net., Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9552-5699>

ЗМІСТ

<i>Л. Я. Аніщенко, А. В. Гриценко, Б. С. Свердлов, Л. А. Пісня, О. В. Клімов, І. В. Барміна</i> Особливості стратегічної екологічної оцінки державної стратегії управління лісами України на підставі системного аналізу.....	3
<i>Г. В. Адамова, Л. А. Пісня</i> Визначення впливу транспортно-дорожнього комплексу на довкілля на прикладі ділянки автомобільної дороги М-29 Харків-Дніпро.....	26
<i>Т. В. Божко, М. В. Лисенко, О. В. Черба, О. С. Снітко</i> Сучасні підходи до вирішення проблеми раціонального використання природних ресурсів.....	37
<i>В. В. Брук, В. В. Заблоцька</i> Пропозиції щодо віднесення масиву поверхневих вод до одного з класів хімічного стану.....	48
<i>О. Г. Васенко, В. В. Брук, Ю. В. Свиридов</i> Геоінформаційна модель якості води в системі екологічного моніторингу дельти Дунаю.....	65
<i>О. Г. Васенко, О. Ю. Ієвлєва, Д. Ю. Верниченко-Цветков, Г. Ю. Міланіч, А. Ю. Мельніков</i> Результати комплексного екологічного моніторингу довкілля української частини дельти Дунаю у 2020 році.....	83
<i>Д. Ю. Верниченко-Цветков, Н. В. Старко, Г. В. Гутков, О. В. Козловська</i> Виявлення відновлення популяції пістії тілоризовидної (<i>Pistia Stratiotes</i>) в річках Сіверський Донець і Харків.....	100
<i>В. І. Вітько, В. В. Карташов, Г. В. Хабарова</i> Оцінка транскордонного впливу викидів радіонуклідів АЕС України при нормальних та аварійних умовах експлуатації.....	111
<i>Т. Ф. Жуковський, О. В. Ткачова, О. Л. Пшенічнова, І. В. Овчарова</i> Визначення складу звалищного газу залежно від температури та глибини залягання відходів на Роганському полігоні ТПВ (м. Харків).....	125
<i>І. В. Зінченко, Г. В. Таран, К. О. Цитлішвілі, О. В. Бабіч, О. Ю. Шостенко</i>	

Очищення стічних вод харчових виробництв за допомогою комбінування методів озонування і біосорбійного оброблення.....	135
<i>О. В. Клімов, Г. С. Надточій, О. В. Філатова, Д. О. Клімов, І. М. Гайдріх</i> Природні комплекси міста Харкова, які потребують особливої охорони.....	146
<i>С. М. Остроумов</i> Прогнозування аварійного забруднення дельти Дунаю.....	168
<i>О. М. Соболев, Ю. В. Захарченко, В. В. Тютюник, В. Д. Калугін, В. А. Квасов</i> Модель оперативного моніторингу рівня забруднення екосистеми за допомогою безпілотних літальних апаратів.....	180
<i>Т. Л. Цареградська, І. В. Плющай, О. О. Каленик</i> Шляхи оптимізації фізичних властивостей аморфних сплавів для застосування їх в екологічно безпечних технологіях.....	202

Наукове видання

**ПРОБЛЕМИ ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО ПРИРОДНОГО
СЕРЕДОВИЩА ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ**

*Збірник наукових праць
Випуск 42*

Українською, російською мовами

*Редактор: В. В. Гладкова
Комп'ютерне верстання:*

*В. В. Гладкова;
Н. С. Цапко*

НАУКОВО-ДОСЛІДНА УСТАНОВА
«УКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМ»
61166, Україна, м. Харків,
вул. Бакуліна, 6

Формат 60x84/8. Ум. друк. арк. 12,56. Тир. 100 прим. Зам. 755
Підписано до друку 18.12.20 р. Папір офсетний

Надруковано з макету замовника в ПП «Стиль-Іздат»
61022, м. Харків, вул. Трінклера, 2. Т. (057) 758-01-08, (066) 822-71-30
Свідоцтво про внесення суб'єкта до Державного реєстру
Виготовників видавничої продукції серія ХК 240 від 02.09.2009 р.