

**Міністерство освіти і науки України
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу**

**ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА
ТА ЗБАЛАНСОВАНЕ
РЕСУРСКОРИСТУВАННЯ**

Науково-технічний журнал

№ 1 (23)

**Івано-Франківськ
2021**

Науково-технічний журнал
Засновник: Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу (ІФНТУНГ)
Заснований у 2010 році, виходить 2 рази на рік

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР – д-р техн. наук **О. М. Мандрик** (ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ).
ВІДПОВІДАЛЬНИЙ СЕКРЕТАР – д-р техн. наук **Л. М. Архипова** (ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ).

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

д-р техн. наук **Я. О. Адаменко** (ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ);
д-р геол.-мінерал. наук **О. М. Адаменко** (ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ);
д-р техн. наук **В. В. Вамболь** (Національний університет цивільного захисту України, м. Харків);
д-р техн. наук **Г. В. Кошлак** (ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ);
д-р техн. наук **І. М. Петрушка** (Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів);
д-р техн. наук **Л. Я. Побережний** (ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ);
д-р техн. наук **М. С. Полутренко** (ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ);
д-р техн. наук **Я. М. Семчук** (ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ);
д-р техн. наук **Л. Є. Шкіца** (ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ);
д-р філ. **Алаа Ель Дін Махмуд** (Центр енергетики та хімії навколишнього середовища, Університет Фрідріха-Шиллера, м. Єна, Німеччина; Олександрійський університет, факультет науки, м. Олександрія, Єгипет);
д-р наук **Мірела Ана Коман** (Технічний університет Клуж-Напока, м. Бая-Маре, Румунія);
д-р наук **Даріуш Чишевський** (Краківська гірничо-металургійна академія, м. Краків, Польща);
д-р наук **Єва Кмієцик** (Краківська гірничо-металургійна академія, м. Краків, Польща);
д-р наук **Мохаммад Нафес** (Університет Пешавара, м. Пешавар, Пакистан);
д-р філ. **Предраг (Міодраг) Живкович** (Університет Ніш, м. Ніш, Сербія);
д-р філ. **Елена Попович-Чоржевич** (Белградський університет, м. Белград, Сербія);
д-р філ. **Аль-Халиди Хадіджа Абис Хмуд** (Університет Аль-Кадісія, м. Аль-Діванія, Ірак).

Свідоцтво про державну реєстрацію у Міністерстві юстиції України КВ № 24321-14161ПР від 02 грудня 2019 р.

Наукове фахове видання України категорії "Б" в галузі технічних наук, що відповідає таким пунктам Переліку наукових спеціальностей:

101 – Екологія;

183 – Технології захисту навколишнього середовища,

(наказ Міністерства освіти і науки України від 28.12.2019 р. №1643)

Адреса редакції: кафедра екології ІФНТУНГ, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019

Телефон: (0342) 721203; сайт журналу: <http://ebzr.nung.edu.ua/index.php/ebzr>.

Журнал включено до міжнародних науково метричних баз: EBSCO, ERIH PLUS, Scientific Indexing Services, Root Indexing, InfoBase Index

Тексти статей наведені в авторській редакції. Автори несуть повну відповідальність за зміст публікації, вибір, точність наведення та інтерпретацію фактів, цифр, цитат, власних імен та інших відомостей. Передрук статей тільки з дозволу редакції. Точка зору редколегії не завжди збігається з позицією авторів.

Е 45 Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування : науково-техн. журнал / Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу (ІФНТУНГ). Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2021. № 1 (23). 136 с.

**Ministry of Education and Science of Ukraine
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas**

ECOLOGICAL SAFETY AND BALANCED USE OF RESOURCES

Scholarly Journal

Issue 1 (23)

**Ivano-Frankivsk
2021**

Scientific and technical journal
Founder: Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (IFNTUOG)
The journal was founded in 2010 and is issued twice a year

EDITOR-IN-CHIEF – Dr. Sc. (Tech.) **O. Mandryk** (IFNTUOG, Ivano-Frankivsk).
ASSISTANT EDITOR – Dr. Sc. (Tech.) **L. Arkhypova** (IFNTUOG, Ivano-Frankivsk).

EDITORIAL BOARD:

Dr. Sc. (Tech.) **Ya. Adamenko** (IFNTUOG, Ivano-Frankivsk);
Dr. Sc. (Geol.& Mineral.) **O. Adamenko** (IFNTUOG, Ivano-Frankivsk);
Dr. Sc. (Tech.) **V. Vambol** (National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv);
Dr. Sc. (Tech.) **H. Koshlak** (IFNTUOG, Ivano-Frankivsk);
Dr. Sc. (Tech.) **I. Petrushka** (Lviv Polytechnic National University, Lviv);
Dr. Sc. (Tech.) **L. Poberezhnyi** (IFNTUOG, Ivano-Frankivsk);
Dr. Sc. (Tech.) **M. Polutrenko** (IFNTUOG, Ivano-Frankivsk);
Dr. Sc. (Tech.) **Ya. Semchuk** (IFNTUOG, Ivano-Frankivsk);
Dr. Sc. (Tech.) **L. Shkitsa** (IFNTUOG, Ivano-Frankivsk);
PhD **Alaa El Din Mahmoud** (Center for Energy and Environmental Chemistry, Friedrich-Schiller University, Jena, Germany; Alexandria University, Alexandria, Egypt);
Dr. Sc. **Mirela Ana Coman** (North University Centre of Baia Mare – Technical University of Cluj-Napoca, Baia Mare, Romania);
Dr. Sc. **Dariusz Ciczewski** (AGH University of Science and Technology, Krakow, Poland);
Dr. Sc. **Ewa Kmiecik** (AGH University of Science and Technology, Krakow, Poland);
Dr. Sc. **Mohammad Nafees** (University of Peshavar, Peshavar, Pakistan);
PhD **Predrag (Miodrag) Zivkovic** (University of Nis, Nis, Serbia);
PhD **Jelena Popovic-Gjordjevic** (University of Belgrade, Belgrade, Serbia);
PhD **Khadeeja Anees Hmood Al-Khalidy** (University of AL-Qadisiyah, Al-Diwaniyah, Iraq).

The Certificate of State Registration in the Ministry of Justice of Ukraine KV No.24321-14161PR of December 02, 2019.

Ukraine scientific professional journal of category "B" in the field of technical sciences, which corresponds to the following specialties:

101 – Ecology;

183 – Environmental technologies,

(Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine dated December 28, 2019 No. 164)

Editorial office address: the Department of Ecology of IFNTUOG, 15 Karpatska str., Ivano-Frankivsk, 76019.

Phone: +380342721203; website of the journal: <http://ebzr.nung.edu.ua/index.php/ebzr>.

The journal has been included in international scientific metric databases: EBSCO, ERIH PLUS, Scientific Indexing Services, Root Indexing, InfoBase Index

The authors are fully responsible for the content of the publication, choice and accuracy of the provided and interpreted facts, figures, quotations, proper names and other data. The articles can be reprinted only with permission of the editorial board. The point of view of the editorial board does not always coincide with authors' positions.

E 45 Ecological safety and balanced use of resources : scientific and technical journal / Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (IFNTUOG). Ivano-Frankivsk : IFNTUOG, 2021. Issue 1 (23). 136 p.

ЗМІСТ

РЕГІОНАЛЬНІ ТА ГЛОБАЛЬНІ ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ	7
<i>О. М. Адаменко</i> Про можливість прогнозування катастрофічних паводків.....	7
<i>Г. В. Кошлак, А. М. Павленко</i> Перспективи енергетичного використання біомаси в Україні	22
ЕКОЛОГІЯ ТА ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	33
<i>Д. В. Кухтар, Т. Б. Качала</i> Оцінка рівня озеленення урбоecosистеми міста та розроблення заходів щодо його оптимізації на прикладі м. Івано-Франківська	33
<i>Н. М. Москальчук</i> Дослідження впливу довкілля на здоров'я людей Івано-Франківської області	46
ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ, ПРОГНОЗУВАННЯ ТА ОЦІНКА СТАНУ ДОВКІЛЛЯ.....	54
<i>І. Я. Климчук</i> Ефективність еколого-кліматичного та інших моделювань шляхом розподільних обчислень	54
<i>В. Г. Сінченко</i> Деякі методичні аспекти бета-спектрометричного методу контролю за радіаційною безпекою продукції аграрного сектору та рибного промислу.....	60
ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ	73
<i>І. Ю. Аблеєва, Л. Д. Пляцук, І. О. Трунова, О. М. Яхненко, І. О. Бережна</i> Вплив біостимуляторів на мікробіологічний стан нафтозабруднених ґрунтів.....	73
<i>Т. Б. Качала, С. В. Качала, Я. О. Адаменко, Х. Б. Караванович</i> Застосування відходів очисних споруд для покращення рекультивациі бурових амбарів	84
<i>Г. В. Кошлак, А. М. Павленко</i> Перспективи використання золи ТЕС для виготовлення будівельних матеріалів	92
<i>Л. Ю. Главацька</i> Аналіз системи поводження з відходами електричного та електронного обладнання в Україні	102
<i>М. М. Орфанова, Т. М. Яцишин, Т. А. Бондарчук</i> Аналіз напрямків утилізації гумових відходів.....	109
<i>В. М. Чупа, О. М. Карнаш, А. В. Яворський, П. М. Райтер</i> Огляд сучасного стану сталих технологій для енергетичної утилізації твердих побутових відходів.....	115
ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ТУРИСТИЧНО-РЕКРЕАЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ.....	124
<i>Я. С. Коробейнікова</i> Екологічна безпека територій туристичних дестинацій: визначення, механізми та проблеми забезпечення	124
ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ.....	135

CONTENTS

REGIONAL AND GLOBAL ENVIRONMENTAL PROBLEMS	7
<i>O. Adamenko</i> About the Possibility of Forecasting Disaster Floods	7
<i>G. Koshlak, A. Pavlenko</i> Prospects of Energy Use of Biomass in Ukraine	22
ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION	33
<i>D. Kukhtar, T. Kachala</i> Assessment of the Level of Greening of the Urban Ecosystem of the City and Development of Measures for its Optimization on the Example of Ivano-Frankivska	33
<i>N. Moskalchuk</i> Research of the Environmental Impact on Human Health of Ivano-Frankivsk Region	46
ECOLOGICAL MONITORING, FORECASTING AND ASSESSMENT OF THE ENVIRONMENT STATE	54
<i>I. Klymchuk</i> Efficiency of Ecological-Climate and Other Models by Distributing Calculations.....	54
<i>V. Sinchenko</i> Some Methodological Aspects of Beta-Spectrometric Method of Control Over Radiation Safety of Production of Agricultural Sector and Fish Products	60
ENVIRONMENTAL PROTECTION TECHNOLOGIES	73
<i>I. Ablieieva, L. Plyatsuk, I. Trunova, O. Yakhnenko, I. Berezhna</i> Influence of Biostimulants on the Microbiological State of Oil-Contaminated Soils	73
<i>T. Kachala, S. Kachala, Ya. Adamenko, K. Karavanovych</i> Application of Waste of Treatment Facilities to Improve Drilling Barrier Reclamation	84
<i>G. Koshlak, A. Pavlenko</i> Prospects for the Use of Ash from TPPs for the Manufacture of Building Materials.....	92
<i>L. Hlavatska</i> Analysing System of the Waste Electrical and Electronic Equipment Management in Ukraine	102
<i>M. Orfanova, T. Yatsyshyn, T. Bondarchuk</i> Analysis of Rubber Waste Disposal Directions.....	109
<i>V. Chupa, O. Karpash, A. Yavorsky, P. Reiter</i> Overview of the Current State of Sustainable Technologies for Energy Utilization of Solid Waste	115
ENVIRONMENTAL ISSUES OF TOURISM AND RECREATION	124
<i>Ya. Korobeinykova</i> Environmentals of Territories of Tourism Destinations: Definitions, Mechanisms, and Problems.....	124
INFORMATION ABOUT AUTHORS.....	135

РЕГІОНАЛЬНІ ТА ГЛОБАЛЬНІ ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ

УДК 551.7+477.86

DOI: 10.31471/2415-3184-2021-1(23)-7-21

*О. М. Адаменко**Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу,**Центр прогнозування та попередження
техногенно-гідроекологічної небезпеки Прикарпаття*

ПРО МОЖЛИВІСТЬ ПРОГНОЗУВАННЯ КАТАСТРОФІЧНИХ ПАВОДКІВ

01.01.2021 р. наказом ректора у складі ІФНТУНГ був створений окремий структурний підрозділ – Центр прогнозування та попередження техногенно-гідроекологічної небезпеки Прикарпаття. За останні роки у Карпатському регіоні та на Поділлі відбулось два катастрофічних паводки: один 23-28 липня 2008 р., а другий 20-24 червня 2020 р. Обидва нанесли величезні збитки довкіллю та населенню, про що багато повідомлялось у засобах масової інформації. Щоби бути готовим до стихійних лих, необхідно навчитися їх прогнозувати, тобто знати, на якій території вони проявляються, яка буде висота підйому води і коли це станеться. Із цієї триади перші дві складові вже навчилися передбачати, а ось третю поки що ні. У статті розглянута можливість часовою прогнозу, який підтвердився під час паводку 20-24 червня 2020 р. О. М. Адаменко і Д. О. Зорін побудували графіки глобальних кліматичних змін за період історії Землі від її народження 4,567 млрд р. тому до сучасності. Виявилось що теплі і холодні періоди чергувались періодично, починаючи від Галактичного року (225-250 млн р.), яких було 19, і до сучасних 11 літніх циклів Сонячної активності. Усього виявлено 13 порядків циклів, які у вигляді синусоїди інтерферують, обумовлюючи періодичність геологічних подій. На циклічність 1 порядку – галактичні роки – накладаються геотектонічні епохи 2 порядку (50-70 млн р.) – це карельська, байкальська, каледонська, герцинська, тихоокеанська та альпійська тектоно-магматичні епохи, які поділяються на підепохи 3 (30-40 млн р.) і 4 (10-15 млн р.) порядків. Наступні цикли – 5 (3-5 млн р.), 6 (150-140 тис. р.) та 7 (10-20 тис. р.) пов'язані з великим кайнозойським похолоданням, що завершилось четвертинним зледенінням. 8 (1-4 тис. р.) і 9 (500-600 р.) цикли відображають зміни потеплінь і похолодань у кварталі. А далі аналіз подій реконструйовано на основі археологічних та літописних даних: з початку нашої ери і до XII ст. продовжувалось потепління IX циклу – малий кліматичний оптимум та малий льодовиковий період (XIII-XVII ст.). З XIX ст. почалось сучасне потепління з чіткими 33 річними коливаннями X циклу. З 1881 р. з'явилися інструментальні спостереження на метеостанціях та гідропостах. Виявились XI (20-15-11 років), XII (5-6 р.) та XIII (3-4 р.) цикли. На тлі 33 річних коливань глобального клімату проявились 11 річні цикли та катастрофічні паводки 1911, 1927, 1941, 1955, 1969, 1980, 1988, 2002, 2008, і на решті спрогнозований О. М. Адаменком та Д. О. Зоріним катастрофічний паводок 2020 р. Отже є можливість навчитися передбачати і час прояву наступного катастрофічного паводку.

Ключові слова: паводки, повені, річкова долина, цикли, періоди, полігон.

Постановка проблеми у загальному вигляді та зв'язок з важливими науковими і практичними завданнями. Багато століть населення та довкілля Карпатського регіону та Поділля страждають від катастрофічних паводків. Тільки передостаннє водопілля 23-28 липня 2008 р. затопило долину Дністра, Прута та їх допливів на висоту до 10 м, охопивши 70% території Івано-Франківської, Львівської Чернівецької, Закарпатської, Тернопільської та Вінницької областей. За даними Держкомводгоспу України [1], лише у Івано-Франківській області постраждало 417 населених пунктів, 24905 житлових будинків, 20600га сільськогосподарських угідь, було розмито 602,6 км берегів, зруйновано 25,445 км берегоукріплень, 10,645 км захисних дамб, пошкоджено і затоплено 664,9 км автомобільних доріг, зруйновано 347 мостів, 24 водозабори, загинуло 19 осіб, із них 5 дітей. Нанесено збитків більше 4,2 млрд грн. [2].

Катастрофічний паводок 2020 р. відбувався у кілька етапів на різних територіях. Спочатку 20-24 червня затопило Івано-Франківську, Львівську і Тернопільську області. Пізніше, 29 червня – 3 липня, паводок повторився у Львівській області і «пішов» на Волинь. 4-5 липня – знову деякі регіони Івано-Франківщини і Тернопільщини, а 7-9 липня – Волинь, Вінниччина та Одещина. За даними газети «Галичина» від 2 липня, № 23(5532), було підтоплено більше 230 населених пунктів. Тільки на Івано-Франківщині зруйновано 22015 осель, пошкоджено 12,4 км берегоукріплень, зруйновано 360,3 км автомобільних доріг, більше 100 мостів, загинуло 5 осіб. На подолання наслідків стихії необхідно тільки на перші заходи більше 3 млрд грн.

Отже, актуальність проблеми прогнозування паводків не викликає сумнівів і вимагає відповідальних наукових методів їх передбачення. Тому в ІФНТУНГ з 01.01.2021 р. почав діяти окремий структурний підрозділ – Центр прогнозування та попередження техногенно-гідроecологічних небезпек Прикарпаття.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами кафедри екології ІФНТУНГ, що виконувались як держбюджетні науково-дослідні роботи індивідуального плану викладачів. Це – «Розроблення моделей збалансованого ресурсокористування та екологічної безпеки геосистем у регіоні Українських Карпат» (2011-2012 рр.) (№ держреєстрації 0111U001360), а також проект Івано-Франківської обласної ради за кошти Кабінету Міністрів України «Створення Дністровського інженерно-екологічного полігону для розробки протипаводкових заходів та підвищення екологічної безпеки території Івано-Франківської області».

Метою статті є показати можливість прогнозування виникнення, розвитку та подолання наслідків катастрофічних паводків.

Для досягнення мети необхідно було виконати **наступні завдання**:

– провести картографування четвертинних відкладів, геоморфологічних рівнів і ландшафтної структури та побудувати прогнозну карту затоплення територій при підйомі води на 1, 3, 5 і 10-12 м;

– проаналізувати гідрологічні спостереження з 1881 року для установлення максимальної висоти підйому води;

– виконати періодизацію геологічної історії від утворення Землі 4,567 млрд років тому до сучасності, співставити археологічні та історико-літописні дані для виділення епох коливання глобального клімату та установлення певної повторюваності подій, що дасть можливість передбачити роки майбутніх паводків.

Теоретичні та практичні завдання вирішувались **методами** системного аналізу з використанням ГІС, ІТ, ДЗЗ технологій, теорії ймовірностей, атомно-адсорбційного, рентгенофлюоресцентного, хроматографічного, електрохімічного та інших методів у Науково-навчальній лабораторії фізико-хімічних досліджень ІФНТУНГ [13].

Із історії питання. Із літописних та літературних джерел [2, 11] відомо, що катастрофічні паводки фіксуються у Київській Русі з 791 року, на Дністрі з 950 р., Тисі – з 1491 р., Пруту – з 1780 р. Інструментальні спостереження на метеостанціях і гідропостах виконуються з 1881 р.

У Карпатському та Подільському регіонах фіксуються як регіональні так і локальні повені та паводки. За даними Г. І. Швеця, М. І. Кирилюка та ін. [3-6, 12, 14], у ХХ ст. катастрофічні паводки проходили у теплу пору року на північно-східному макросхилі Карпат у 1911, 1927, 1941, 1955, 1969, 1980, 1998, 2002, 2008 і 2020 роках, а у Закарпатті у холодну пору року у 1926, 1947, 1957, 1970, 1998, 2002, 2008, 2020 роках. Отже є можливість прослідкувати прояв цих стихійних явищ за багато століть і років, щоб виявити закономірності їх виникнення. Важливо також мати інформацію про вплив лісового покриву на захист від паводків [8-10, 13].

Після паводку 2008 р. Був створений Дністровський науково-навчально-виробничий інженерно-екологічний протипаводковий полігон у Галицькому районі [1].

Виклад основного матеріалу. Прогноз будь-якого природного явища, в тому числі і катастрофічних паводків, вимагає відповіді, як мінімум, на три питання (тріада прогнозу): 1) масштаб прояву, тобто, яка територія буде затоплена; 2) інтенсивність процесу або на яку максимальну висоту підніметься вода і 3) коли це станеться. На першу і другу частини тріади ми вже навчилися давати відповідь з ймовірністю прогнозу 75-90%, а ось на вирішення третьої поки що тільки починаємо рухатись і маємо позитивний прогноз паводка 2020 року з ймовірністю 30% [1]. Розглянемо усе за порядком.

Для вирішення першої задачі прогнозу тріади, завдяки активній позиції ректорату центр превентивної ІФНТУНГ, зокрема Є. І. Крижанівського та тодішнього декана інженерно-

екологічного факультету (нині-першого проректора) О. М. Мандрика, а також за сприяння обласної ради, обласної державної адміністрації та відповідних служб Галицького району було створено Дністровський протипаводковий полігон (ДПП) та отримано у 2011 р. грант Кабінету Міністрів України в 1 млн грн за авторством О. М. Адаменка і О. М. Мандрика [1, 2, 13]. З 2012 р. дослідження на полігоні розпочались, результати їх публікувались. Вони є основним змістом даної статті.

Перша частина тріади – територіальний прогноз. ДПП має площу 1460 км² (рис. 1), яка поділена на 72 квадрати площею 20 км² масштабу 1:10 000. До вивчення було залучено 52 студентів-майбутніх магістрів, які на кожному квадраті оцінювали екологічну ситуацію, відбирали проби ґрунтів та ін. Таким чином, було проведено картографування полігону у масштабі 1:10000 та складені карти четвертинних відкладів, геоморфологічна та ландшафтна (рис. 2). Сумісний їх аналіз дозволив виділити гіпсометричні рівні низької (+ 1м над урізом води у Дністрі та його допливах), середньої (+ 3 м), високої (+5 м) заплавної та I надзаплавної (+ 10-12 м) терас [7,10]. На такій основі побудована Карта екологічного ризику затоплення територій катастрофічними паводками (рис. 3). Це дозволяє не тільки виконати просторове прогнозування, тобто які території будуть покриті водою, а й визначити для кожного населеного пункту спостереження, які будуть затоплені, а які залишаться «сухими», звідки не потрібно буде евакуювати населення.

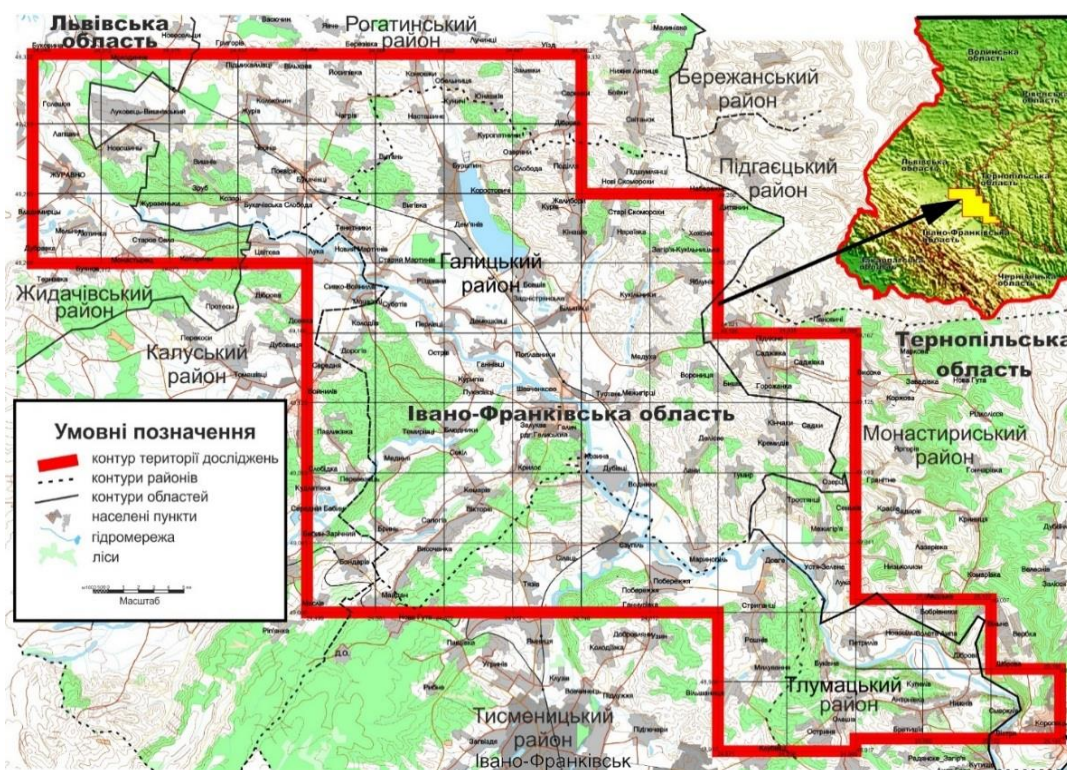


Рис. 1. Оглядова фізико-географічна карта

Цікаво, що еколого-техногеохімічні карти токсичних елементів Cd, Cu, Pb, Ni, Zn та ін. до і після затоплення виявились різними. Після затоплення забруднення зменшилось, ніби то було «змите» паводковими водами.

Паводок 2008 р. розвивався класичним способом: надмірні опади випадали в верхів'ях річок Бистриць Надвірнянської і Солотвинської, Лукви, Лімниці, Свічі, Гнилої Липи, Горожанки та ін. Дошові води збиралися у циркоподібних верхів'ях річок, а потім швидко скочувались вниз, у долину Дністра, де і відбувалися підйоми води з поступовим затопленням рівнів +1, +3, +5 та +10-12 м.

А ось паводок 2020 року розвивався спочатку за класичним способом затоплюючи долини рік, але потім почалася міграція зливових хмар на більш широку територію. Дощами були накриті не тільки долини, а й вододільні простори у Тернопільській, Волинській, Вінницькій і навіть у Одеській областях. У такому випадку територіальний прогноз (перша частина тріади) виконується за даними космічних знімків дистанційного зондування Землі (ДЗЗ).

Друга частина тріади-прогнозування інтенсивності прояву паводків виявляється при співставленні паводків за інструментальний період спостережень, тобто з 1881 р., коли коливання

інтенсивності повеней та паводків гармонійно співпадало зі глобальними змінами температури. Аналіз висоти підйому води на гідропостах у містах Галичі, Коломиї, Стрию, Долині та ін. показав, що його максимум досягав 10-12 м.

Щоби контролювати процеси першої і другої тріади ми разом з Д. О. Зориним [1, 2, 6] розробили ідею АВІПС. Дністер – автоматизовану інформаційно – вимірювальну протипаводкову систему. Пропонуємо у верхів'ях кожного допливу Дністра розмістити автоматизовані метеорологічні станції (АМС), а у гирлах доплив-автоматизовані гідрологічні пости (АГП) (рис. 4), які б вимірювали кількість опадів у верхів'ях кожної долини і відповідний підйом води у гирлах доплив Дністра. Таким чином, можна було б забезпечити збалансоване управління паводками [1, 2].

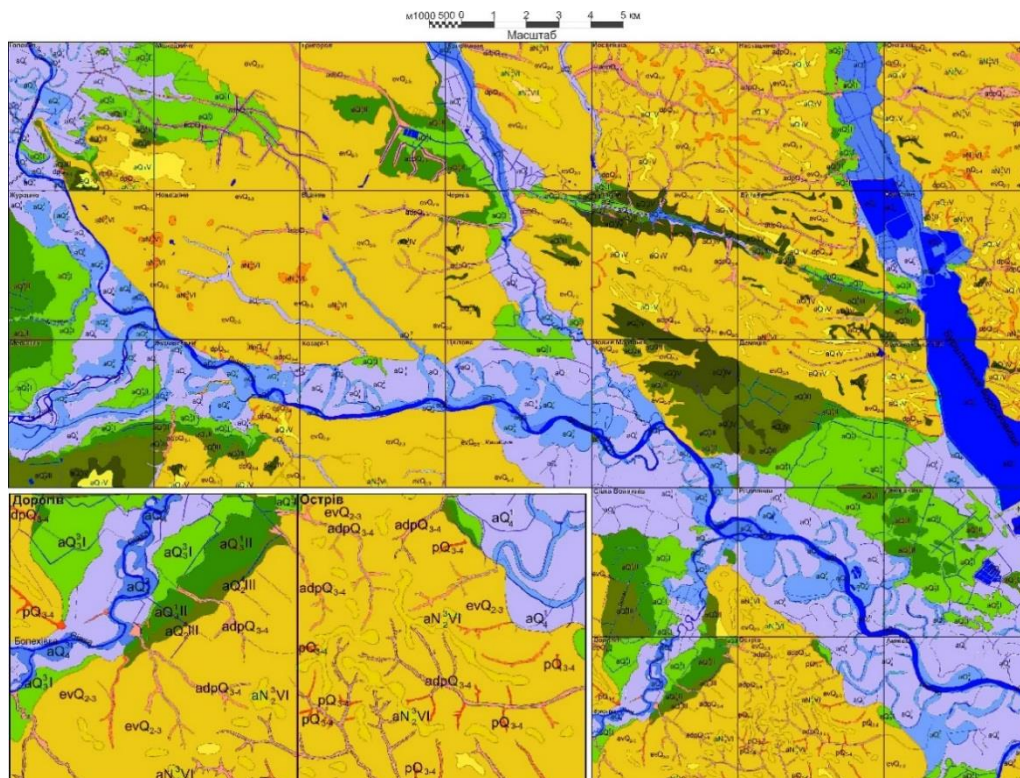


Рис. 2. Карта четвертинних відкладів Галицького Придністров'я

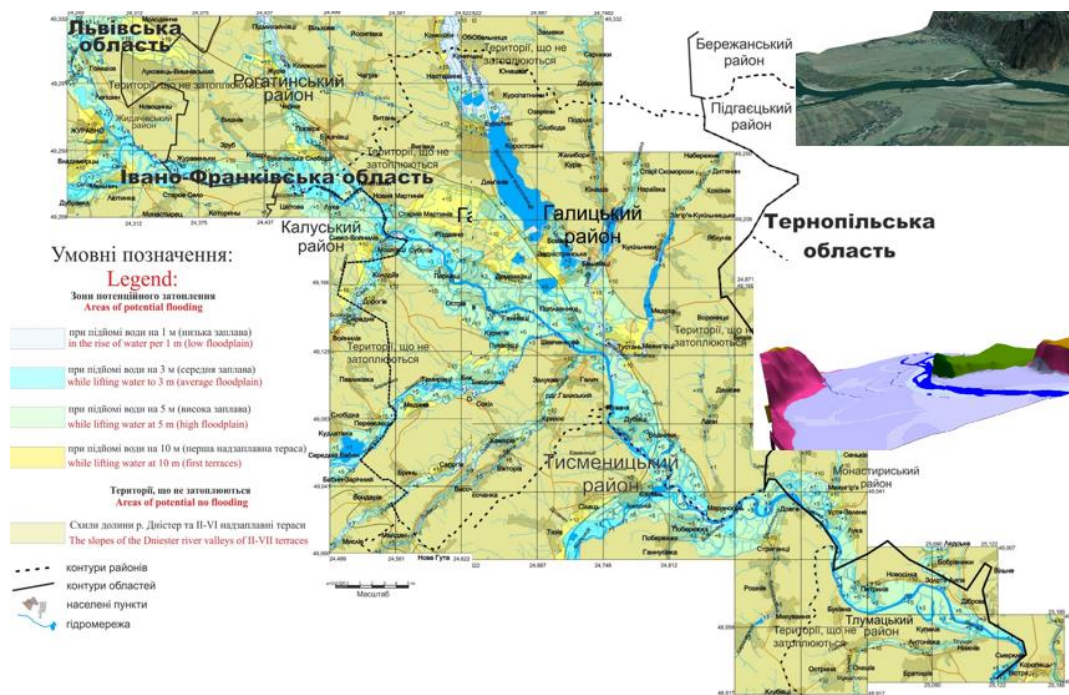


Рис. 3. Карти екологічного ризику затоплення територій катастрофічними паводками

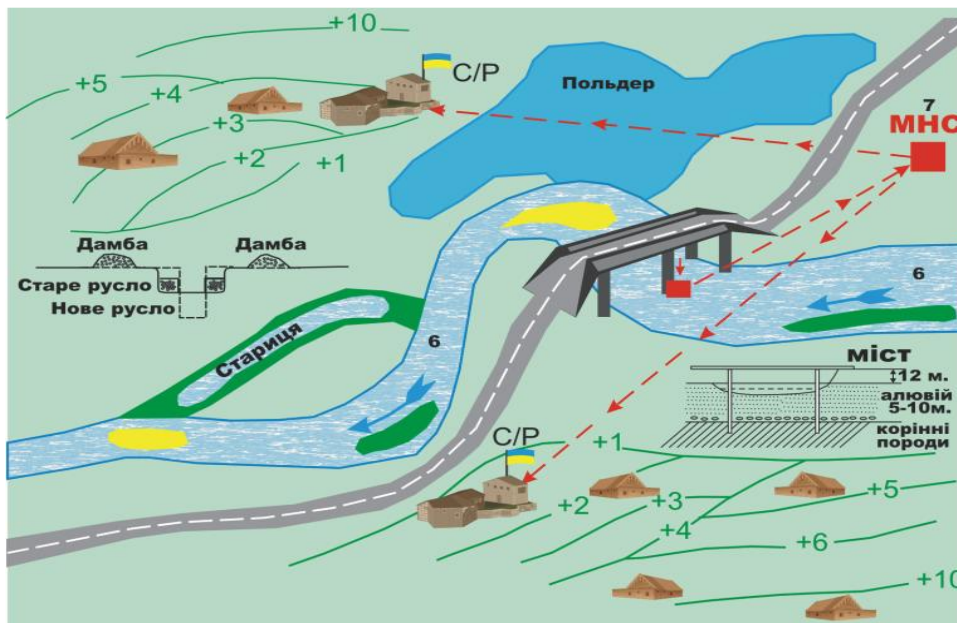


Рис. 4. Руслові процеси та автоматизована інформаційно-вимірвальна протипаводкова система Дністер

І нарешті, третя частина тріади, коли наступить черговий паводок, хоча і малоймовірний, але все ж можливий прогноз, як і було нами доказано у випадку паводку 2020 року. Для його прогнозу необхідно виконати періодизацію геологічних подій за всю історію Землі, використати археологічну та історико-літописну інформацію про екстремальні ситуації за період від початку нашої ери і до інструментальних спостережень останніх днів.

За даними геологічних (стратиграфічних, палеонтологічних, літологічних, тектонічних, радіоізотопних, та інших досліджень Джеймса Лера, Дугласа Палмера, Клара Петерсона, Чарльза Валькотта та Луїса Альвареса, розробок Смітсонівського інституту у Вашингтоні, Музею історії природи у Нью-Йорку, Британського музею у Лондоні, інституту палеонтології людини у Парижі [1], у геологічній історії Землі виділяється кілька різнопорядкових елементів (епох, періодів, циклів) розвитку [15-19]. Найдревніший цикл 1-це Галактичний рік (250-225 млн років) – період обертання галактики Чумацький шлях разом з Сонячною системою і Землею навколо її (галактики) центру. Таких обертів від народження Землі (4,567 млрд р. тому) відбулось 19 (табл. 1, рис. 5).



Рис. 5. Циклічність змін клімату Землі. Архей-пізній плейстоцен (4560 млн р. – 14 тис. р.)

II цикл – це чергування тектоно-магматичних етапів протяжністю в 50-70 млн р., коли геосинклінальні прогини перетворювались у гірсько-складчасті системи, «спаяні» магматичними тілами. Таких поки що не установлених циклів було по кілька у гадейському, архейському, протерезойському еонах, – карельському, балтійському, каледонському, герцинському, тихоокеанському та альпійському. Фанерозойські тектоно-магматичні етапи поділяються на III (30-40 млн р.) і IV (10-15 млн р.) порядки – підетапи.

III і IV цикли ускладнюються екологічними катастрофами – зіткненнями Землі з іншими космічними тілами (Верффордський метеорит у протерозої, Чиксулубський астероїд в кінці тихоокеанського тектоно-магматичного етапу – 65 млн р., що спричинив загибель динозаврів, спалах наднових зірок (ордовицьке вимирання біоти), гігантський кратер діаметром 300 км біля Антарктики й пермського вимирання біоти) та ін.

Чим ближче до сьогодення, тим детальніше виділяються періодичні цикли історико-геологічних подій. Так, наприклад, за даними археологічних та палеонтологічних досліджень М. Ф. Веклича із київського Інституту географії НАНУ, за період від появи нашого предка *Homo habilis* 2,3 млн р. тому і до Київської Русі відбулось 16 палеокліматичних змін (V – 3-1 млн р., VI – 130-140 тис. р., VII – 10-20 тис. р.). В кінці кожного відбувались екстремальні ситуації зі змінами клімату [5, 12] від теплих і вологих умов до сухих, холодних і навіть зледенінь (табл. 2). Це – айдарський, крижанівський, березанський, приазовський, мартаноський, сульський, лубенський, тілігульський, завадівський, дніпровський, кайдацький, тьяминський, прилуцький, удайський, бузький, та причорноморський етапи (рис. 6). Вони супроводжувались екстремальними явищами – катастрофічними теплими зимами, посухами і т. д. [1, 11, 12].

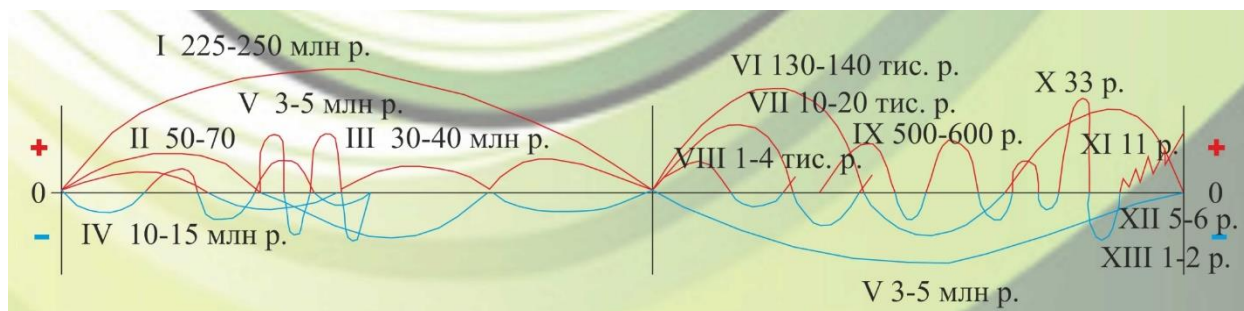


Рис. 6. Підсумкова циклічність – накладання синусоїдів 13-ти порядків

Наступні цикли від Київської Русі (VIII ст.) і до початку інструментальних спостережень з 1881 р. реконструйовані за літописами та історичними даними (таблиця 2). VIII цикл – це малий кліматичний оптимум з початку нової ери і до XII століття, коли на зміну прийшов малий льодовиковий період (IX цикл) (XIII – XVIII століття), а за ним – потепління XIX-початок XX століть (X цикл). Цікавим є графік кліматичних змін за останнє тисячоліття (рис. 6), коли на тлі глобальних кліматичних коливань проявлялись 33 літні цикли 1911, 1921, 1941, 1955, 1969, 1980, 1998, 2002, 2008 і 2020 років. Це – XI порядок циклів з періодичністю 19-15-11 років, який поділяється на XII (5-6 років) і XIII (3-4 роки) цикли.

Результуючою кривою кліматичних коливань за всю історію Землі є накладання синусоїд 13ти порядків (див. рис. 6), які дають змогу порівняти частоту повторюваності катастрофічних паводків через певну кількість років (табл. 3, 4, рис. 7, 8). Таким чином ми отримали дату паводка 2020 року через 12 років від попереднього паводка 2008 р. з ймовірністю у 30% (рис. 9). Це означає, що ми на вірному шляху у прогнозах, коли це відбудеться, але це не є головним. Не має значення, коли це відбудеться, через 4, 8, 12 чи 1 років, головне те, що воно відбудеться і до чергового треба бути готовим.

Які ж причини катастрофічних паводків? Їх кілька (рис. 10):

- надмірна кількість опадів, обумовлена швидкою перебудовою кліматичного режиму у Карпатах. Відбувається зміщення на 200-300 км широтних кліматичних зон на північ – від помірного континентального до середземноморського. Необхідно перебудувувати стратегію ведення сільського, лісового, водного господарств, у нових кліматичних умовах;

- несанкціонована вирубка лісів, які затримували від 10 до 30% опадів [8-10, 13] на їх шляху від вододілів до головної долини. Дійшло до того, що «лисина» у Карпатських лісах стали водонакопичувачами, від яких струмки риють собі шляхи стоку у головну долину. Необхідно провести інвентаризацію усіх «лисинах» за даними космічних знімків і зобов'язати відповідні лігоспи, об'єднані територіальні громади і райони заліснити те, що було вирубаного;

Таблиця 1

Основні геологічні події в історії Землі, що привели до формування її біосфери

Геологічний вік					Історія Землі і біосфери				
Абсолютний, млн. р. тому	Відносний - стратиграфічна шкала				Клімат	Життя	Геологічні події		
	Еон	Ера	Період	Епоха					
4560	ЕОН ГЛИБОКИЙ АРХЕЙ (4560-3800)	ЕРА ГЛИБОКИЙ АРХЕЙ (4560-3800)	Період	Епоха похолодання	Земля охолоджується, утворюються первісні океани	Перші органічні молекули	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Утворення Землі ◆ Планетезимальне бомбардування, розділення шарів Землі, утворення Місяця (найдавніша місячна порода – 4450 млн. р.), найдавніші мінерали (циркон) ◆ Найдавніша гірська порода (Канада) Важке метеоритне бомбардування (у 150 разів більше, ніж нинішнє) 		
4300					Внаслідок метеоритного бомбардування первісні океани випаровуються			Метеоритне бомбардування знищує усе пове життя	
4100					Епоха потепління	Високі температури поступово знижуються		Перші хімічні скам'янілості: вугілля з морських бактерій	Подушкові лави свідчать про появу води
3900								Епоха слабке похолодання	Температура швидко знижується до рівня в середньому нижчого від нинішнього
3700	Епоха слабке похолодання	Температура швидко знижується до рівня в середньому нижчого від нинішнього	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Перші прокаріоти та еукаріоти (хімічні скам'янілості) 						
3500					ЕОН ДОКЕМБРІЙ (4560-543 МЛН.РОКІВ ТОМУ)	ЕРА АРХЕЙ (3800-2500 МЛН.РОКІВ ТОМУ)	Період		
3300									
3100									
2900									
2700									
2500									

Продовження табл. 1

Геологічний вік					Історія Землі і біосфери		
Абсолютний, млн. р. тому	Відносний - стратиграфічна шкала				Клімат	Життя	Геологічні події
	Епох	Ера	Період	Епоха			
3							◆ Вулканічні виверження Камчатки, Алеут, Закарпаття
2,5					◆ Утворення Арктичної льодовикової шапки	◆ Перші викопні Homo habilis	◆ Перші леси Китаю
2					Колівання температура близьких до сучасних	◆ Перші австралонітски Homo erectus, поширення їх з Африки в Європу і Азію	◆ Виверження в Йеллоустоні Копанський алювій
1,8							
1,5					Посилення зледеніння у Європі, Азії та Північній-Америці	◆ H. erectus у Китаї	Вулканічні виверження у різних країнах світу. Рифтогенез в океанах і на суходолі
1					Міжльодовиків'я		
0,8					Зледеніння	◆ Найдавніші останки лодипи в Європі H. erectus	◆ Австралійські та азіатські тектити і метеоритні удари
0,7					Міжльодовиків'я		◆ Останні виверження у Закарпатті
0,6					Зледеніння		
0,5					Міжльодовиків'я		◆ Виверження у Саянах, Байкальській рифтовій зоні, на Кавказі, в Єллоустоні
0,4					Зледеніння		
0,3					Міжльодовиків'я	◆ Перші Homo neanderthalensis-H. heidelbergensis	
0,2					Зледеніння		
0,1					Міжльодовиків'я	◆ Перші H. sapiens у Європі і Африці	
0,01					Остання зледеніння		
0					Колівання температура близько до сучасної Сучасне зледеніння	Африканські корні сучасних євразіатів. Останні неандертальці. Прихід сучасних людей у Європу	◆ Виверження Сантоміра

1-..... потепління ————— слабе похолодання ————— похолодання ————— зледеніння

Екстремальні природні явища, за даними літописів

Роки	Території	Природні явища	Джерело
1	2	3	4
791	Київська Русь	Сильні морози. «Великий мраз, егда померезе сей море»	Полное собрание русских летописей (ПСРЛ), т.22, ч.1, с. 388
860	Чорноморське узбережжя	«Въста була зелна, и лодия безбожные Руси к берегу приверже, и вси избиени быша. Паде же не в кое время и пепел с небесе, подобен крови и намение обретеху на путех и в винограде червлено яко проб»	ПСРЛ, т.1, с. 9; т.2, ч.1, с. 348
907	Чорне море	Олег прийшов на 2000 короблях до Цареграду и «повелел...своим воинам сделать колеса и поставит на них корабли. И с попутным ветром подняли они паруса и пошли со стороны поля к городу»	Радзивилловская летопись, л.15; Повесть временных лет (ПВЛ)
911	Русь	Землетрясение: «паде града некая часть, и много полат разсыпался»	ПВЛ, с. 222
919	Русь	Полярне сяйво	Бучинський, с. 60
979	Руська земля	Влітку спостерігались «великие страшные» грози и сильні вітри з «вихрем»	ПСРЛ, т.9, с. 39
981	Руська земля	Засуха. Літо спекотне і сухе	Швец, с. 19
991	Руська земля	«Наводнение многое и много зла сотвори»	ПСРЛ, т.9, с.162
994	Руська земля	Засуха: «Сухмень велика и знойно добре». «Жары вельми тяжкие». Загинули посіви («жити») в багатьох місцях	ПСРЛ, т.9, с. 65
1000	Вся земна куля	29 березня сильний землетрус. У Кракові зруйновано багато будівель Сильна повінь: «Бысть поводь велик». Суворозима. Холоди продовжувались незвичайно довго	Орлов, Мушкетов, с. 116 ПСРЛ, т.9, с. 111
1002-1003	Київська Русь	Дощове літо: «Дожди мнози». «Умножение плодов всяческих», що свідчить про дуже сприятливі кліматичні умови цього літа	ПСРЛ, т.9, с. 68
1008	Київська Русь	Засуха. Нашестя сарани: «...быша пружи мнози». Голодний рік	ПСРЛ, т.9, с. 69
1011	Київська Русь	Жорстока зима. Замерз Босфор. Крига на Нілі	Землеведение, 1908, кн.2, с. 41
1016	Київська Русь	Висока вода осінню на Дніпрі. Полярні сяйва	ПВЛ, с.296, УЛС, с. 38
1017	Київ	Літо було сухим. Були пожежі. «И погореша церкви числом 700»	ПВЛ, с.296; ПСРЛ, т.1, с. 62
1050-1060	Руська земля	Численні посухи, нашестя сарани, повернення холодів	НПЛ, с. 186-188
1060	Київська Русь	Холодне посушливе літо. «Стужа предельная»	ПВЛ, с. 309; Татищев, т. 2, с. 82
1065	Київська земля	«На Западе явилась звезда великая, с лучами как бы кровавыми, с вечера выходившая на небо после захода Солнца, и так продолжалось 7 дней»	ПВЛ, с. 310-311; НПЛ, с. 184-185
1091	Київська земля	«Умножение плодов всяческих». В.Н. Татищев относит «великое плодородие к 1090г. Комета «...спаде превеликий змей от небес». «Круг на небеси явился велик». Землетрясение: «Стонала земля, все слышала». Епідемія: «Морязвою». Епізоотія і гибель коней	ПСРЛ, т.1, с. 214; ПВЛ, с. 342
1092	Київська земля	Сильна посуха: «...ведро бяше яко изгораше земля». Неврожай. Голодний рік	ПВЛ, с. 142, 342

Продовження табл. 2

1	2	3	4
1093	Київська земля	Високе водопілля: «Стуже была тогда переполнена водой». Неврожай. Голодний рік	ПВЛ, с. 345
1095	Київська земля	Посуха. Нашестя сарани. Голодний рік	ПСРЛ, т. 2, с. 220
1096	Дніпро	Вірогідно літо було маловодним, тому що війська Святослава і Володимира у середині червня так «тихо переплавились через Дніпро, що половці не відали про те»	Татищев, т. 2, с. 105

Таблиця 3

Повторюваність катастрофічних паводків за останнє тисячоліття, за літописними та історичними даними

Рік прояву попереднього паводку	Рік прояву наступного паводку	Інтервал у роках між паводками	Рік прояву попереднього паводку	Рік прояву наступного паводку	Інтервал у роках між паводками	Рік прояву попереднього паводку	Рік прояву наступного паводку	Інтервал у роках між паводками
1	2	3	1	2	3	1	2	3
987	989	2	1681	1686	5	1814	1815	1
989	991	2	1686	1688	2	1815	1820	5
991	1012	21	1688	1689	1	1820	1822	2
1012	1148	36	1689	1700	11	1822	1832	10
1148	1161	13	1700	1702	2	1832	1834	2
1161	1162	1	1702	1703	1	1834	1835	1
1162	1173	11	1703	1705	2	1835	1836	1
1173	1221	48	1705	1706	1	1836	1837	1
1221	1230	9	1706	1707	1	1837	1838	1
1230	1236	6	1707	1708	1	1838	1839	1
1236	1251	15	1708	1709	1	1839	1840	1
1251	1269	18	1709	1716	7	1840	1841	1
1269	1285	16	1716	1717	1	1841	1842	1
1285	1290	5	1717	1718	1	1842	1843	1
1290	1291	1	1718	1719	1	1843	1844	1
1291	1314	23	1719	1721	2	1844	1845	1
1314	1322	8	1721	1723	2	1845	1846	1

Таблиця 4

Відхилення від кліматичної норми температури повітря (середнє по Україні за даними метеостанції Луганськ, Київ, Чернівці, Миколаїв, Кіровоград) з 1881 до 2007 рр.

Кліматичні етапи						
Літній період			Зимовий період			11-літній фільтр (середнє по Україні)
початок і кінець етапів	потепління (+), похолодання (-)	кількість років	початок і кінець етапів	потепління (+), похолодання (-)	кількість років	початок і кінець етапів
1	2	3	4	5	6	7
1881-1910	+	29	19	-	1881-1900	1881-1910 потепління
1910-1935	-	25	29	+	1900-1929	1910-1935 похолодання

Продовження табл. 4

1	2	3	4	5	6	7
1935-1971	+	36	34	-	1929-1955	1935-1971 потепління*
1971-1995	-	24	25	+	1955-1970	1971-1995 похолодання
			3	-	1970-1973	
			11	+	1973-1984	
5	-	1984-1989				
1995- дотепер	+			+	1989- дотепер	1995- дотепер *короткочасне похолодання у 1950-1952 рр.

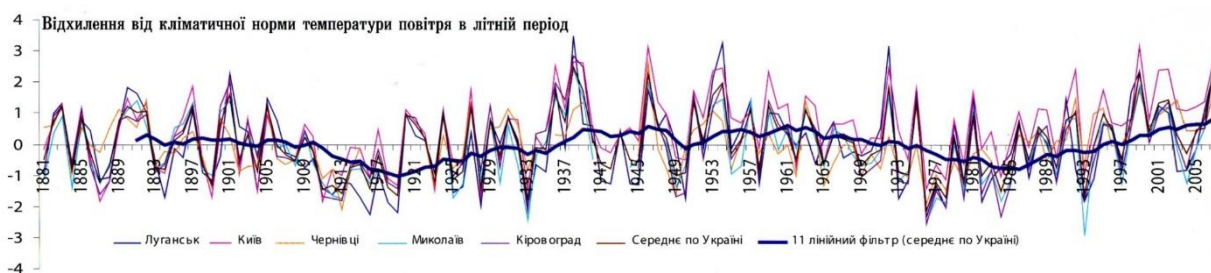


Рис. 7. Зміни клімату України за період інструментальних спостережень (1881-дотепер)

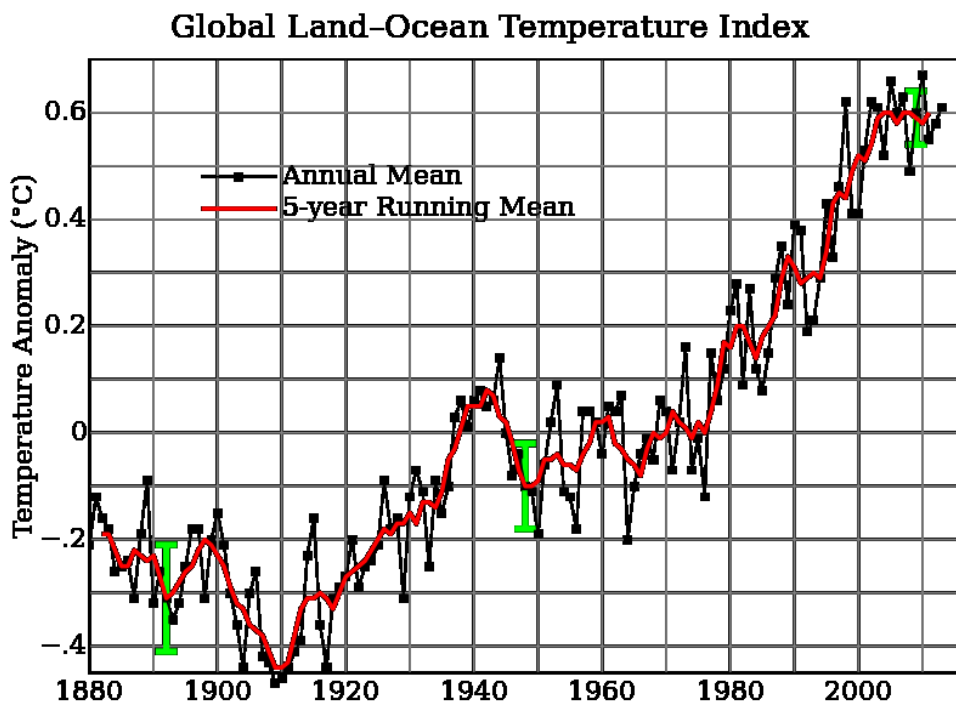


Рис. 8. Динаміка глобального потепління з 1880 до 2013 р.

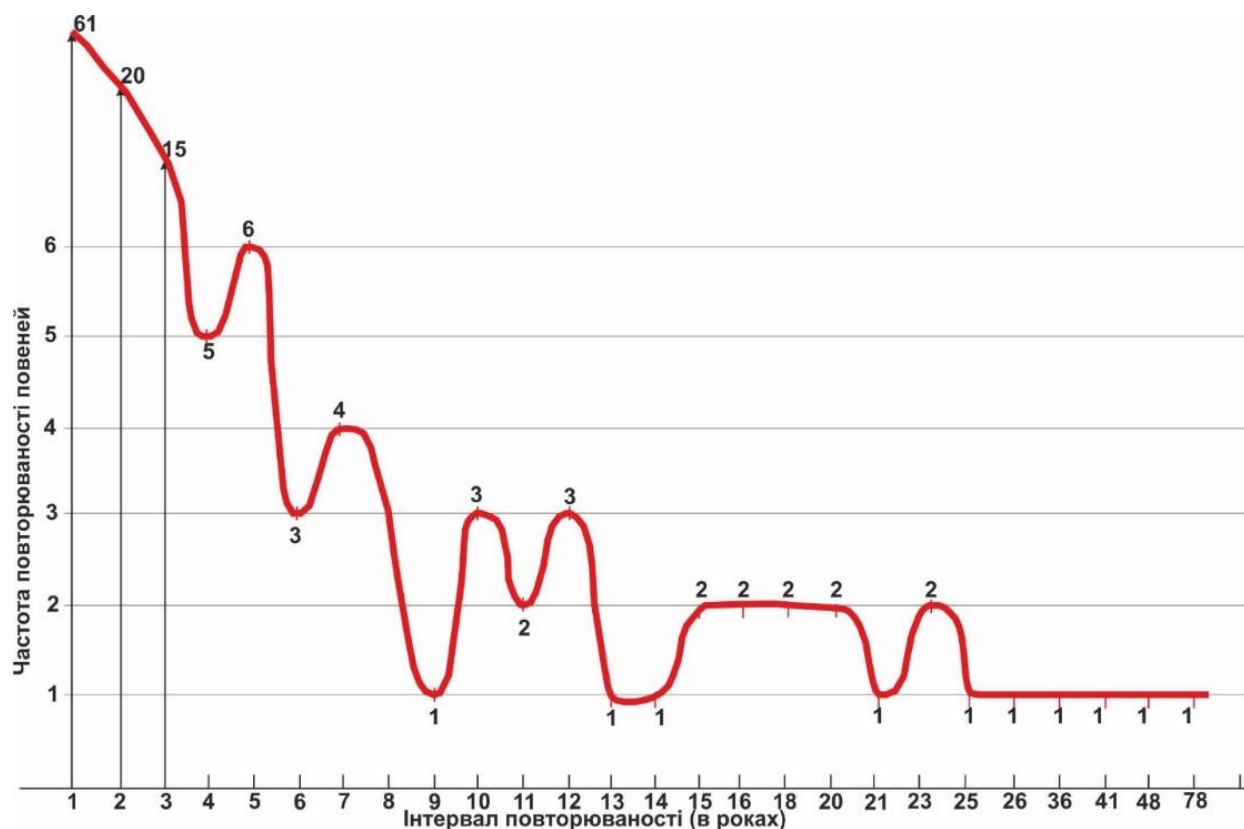


Рис. 9. Частота повторюваності катастрофічних повеней через інтервали в 1, 2, 3,...16, 18, 21, 23, 25, 26, 36, 41, 48, 78 років

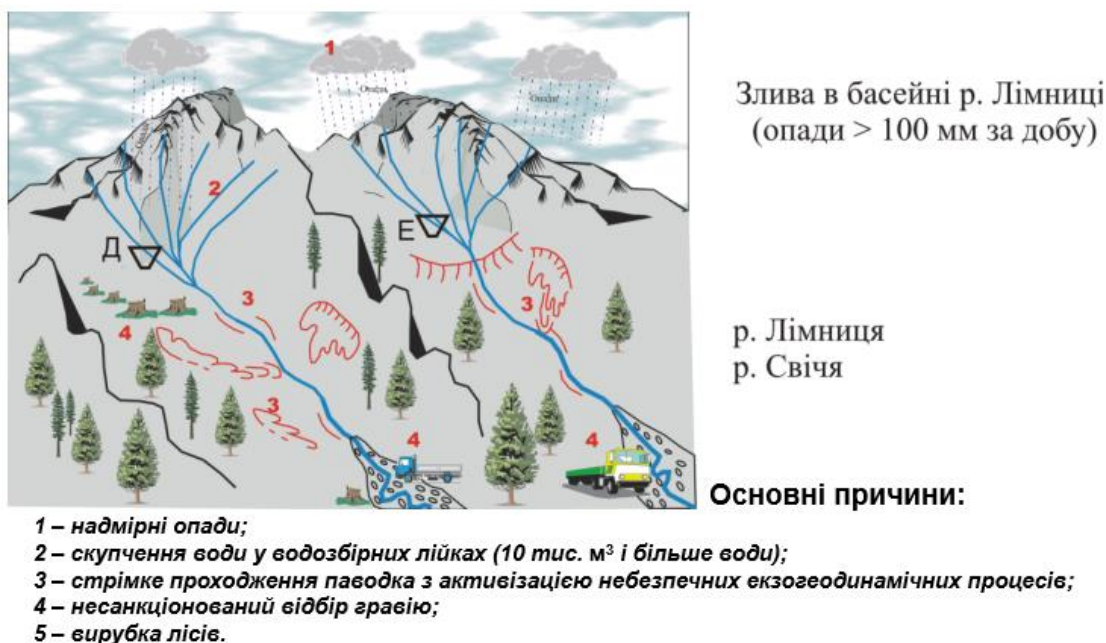


Рис. 10. Модель формування паводків на північно-східному макросхилі Карпат

- безгосподарний відбір піщано-гравійних сумішей із русел рік – заборонити (рис. 10);
- автомобільні дороги будувати не поруч з ріками, а винести їх із зони впливу можливих катастрофічних поводків на підвищені рівні II та більш високих надзаплавних терас або схилів межириччя;
- при будівництві мостів опори (палі) описувати до корінних порід, щоби вони не «висіли» у алювії, як це можна спостерігати зараз (див. рис. 4).

Висновки. Отже викладені вище матеріали дозволяють впевнено (на 75-90%) прогнозувати дві частини тріади – масштаби майбутнього прояву паводків, тобто їх просторове поширення та інтенсивність прояву, або висоту підйому води. Третя складова – коли це відбудеться, поки що прогнозується з малою імовірністю (до 30%).

Повторюваність повеней кожного року – це звичайне явище, коли тане сніг. Через 3-4 роки відбуваються літні паводки, іноді катастрофічного характеру. Через 5-6 років вони можуть повторюватись, але максимальної інтенсивності досягають через 11-15-19 років

Література

- 1 Адаменко О. М. Стан довкілля у річкових долинах з катастрофічними паводками. Перший етап екологічних досліджень на Дністровському протипаводковому полігоні (2012-2018 рр.): монографія / О. М. Адаменко, Д. О. Зорін. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2018. – 240 с.
- 2 Адаменко О. М. Еколого-економічні наслідки катастрофічних паводків та їх подолання на Дністровському інженерно-екологічному полігоні (О. М. Адаменко, Д. О. Зорін, М. І. Мосюк, К. О. Радловська // Екологічний форум, 2020, №1 – С. 54-64.
- 3 Державна геологічна карта України Масштаб 1 : 200 000. Аркуш М-34-XXIV (Дрогобич). [Л. С. Герасімов, І. В. Макарова, С. В. Чалий та ін.] – Київ: УкрДНГРІ, 2005. – 132 с.
- 4 Державна геологічна карта України. Масштаб 1 : 200 000. Аркуш М-35-XXV (Івано-Франківськ). [О. В. Ващенко, С. М. Турчинов, Г. Г. Поліха]. – Київ : УкрДГРІ, 2007. -128 с.
- 5 Екологічна енциклопедія в 3-х томах. – Київ: Центр екологічної освіти та інформації, 2007. – Т. 1 – 432 с., 2008 – Т. 2 – 416 с., 2008 – Т. 3 – 472 с.
- 6 Зорін Д. О. Географічні інформаційні системи екологічної безпеки: навчальний посібник / Д. О. Зорін. – Івано-Франківськ: Супрун В.П., 2016. – 180 с.
- 7 Кравчук Я. С. Геоморфологія Передкарпаття / Я. С. Кравчук – Львів: Меркатор, 1999. – 188 с.
- 8 Любінська Л. Г. Національний природний парк «Подільські Товтри / Л. Г. Любінська // Заповідники і національні природні парки України. – Київ, 2001. – 172 с.
- 9 Мовчан Я. І. Екологічна мережа України. Обґрунтування її структури та необхідності створення / Я. І. Мовчан. – Збірник. Концепція про біотичне різноманіття. Громадська обізнаність та участь. – Київ, 1997.
- 10 Палиєнко В. П. О типах голоценового алювія долини Днестра / В. П. Палиєнко // Мат-лы по четвертичному периоду Украины. – Киев: Наукова думка, 1974. – С. 247-250
- 11 Пасецкий В. М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы / В. М. Пасецкий, Е. П. Борисенков. – Москва: Мысль, 1988. – 524 с.
- 12 Природно-заповідний фонд України: території та об'єкти загальнодержавного значення. – Київ : Центр екологічної освіти та інформації, 2009. – 332 с.
- 13 Трофимчук О. М. Геоінформаційні технології захисту довкілля природно-заповідного фонду / О. М. Трофимчук, О. М. Адаменко, В. М. Триснюк. – Івано-Франківськ: Супрун В. П., 2020. – 340 с.
- 14 Четвертичная палеогеография экосистемы Нижнего и Среднего Днестра [О. М. Адаменко, А. В. Гольберт, В. А. Оснюк, Ж. М. Матвишина, В. Е. Моток, Н. А. Сиренко и др.] – Киев: Феникс, 1996. – 200 с.
- 15 Boguckuj, A., Lancot T. M., Raciacowski, R., 2000. Condition and course of the Middle and Upper Pleistocene loesses in the Halic profile (NW Ukraine) // Studia Quartenaria – Warszawa, vol. 17: 3-17
- 16 Lomanicki A., 1905. Atlas Geologicny Galicyi, Krakow: 332
- 17 Madeyska, T. (ed.), 2002. Lessy I paleolit Naddnisterza halickiego (Ukraina) // Studia Geologica Polonica, vol. 119, Krakow: 5-391
- 18 Romer, E., 1906. Epocha lodowa na Swidowell // Kosmos, t. XXXI : 363-386
- 19 Teisseyre, H., 1933. Spaczenie teras wschonio-polskiego Podkarpacia w stosunku do kuminacyj fliszu obwodowego // Geologia i Statystyka Naftowa; 8 : 80-81

*O. Adamenko**Ivano-Frankivsk National Technical
University of Oil and Gas,
Center of forecasting and prevention of technogenic
and hydroecological danger of Prykarpattia***POSSIBILITY OF FORECASTING DISASTER FLOODS**

On January 1, 2021, the Rector by his order created a separate structural unit within IFNTUOG – Center of forecasting and prevention of technogenic and hydroecological danger in Prykarpattia. In recent years, two catastrophic floods occurred in the Carpathian region and in Podillia: one – on July 23-28, 2008, and the other one – on June 20-24, 2020. Both caused enormous damage to the environment and the population, as it was widely reported in the media. To be prepared for natural disasters, it is necessary to learn how to predict them, i.e. know the territory in which they appear, water rise height and when it may happen. From this triad, the first two components can already be predicted, but the third one cannot be predicted yet. The article deals with the possibility of temporal prediction that was confirmed during the flood on June 20-24, 2020. O. M. Adamenko and D. O. Zorin developed the graphs of global climate change over the period of the Earth's history from its birth 4.567 billion years ago to the present. It turned out that the warm and cold periods alternated periodically, starting from the Galactic Year (225-250 million years), of which there were 19, to the current 11 summer cycles of Solar activity. A total of 13 orders of cycles were identified, which interfere in the form of sinusoids, determining the periodicity of geological events. Geotectonic epochs of the 2nd order (50-70 million years) overlap with the cyclicity of the 1st order – galactic years – these are Karelian, Baikal, Caledonian, Hercynian, Pacific and Alpine tectonic-magmatic epochs, which are divided into subepochs of the 3rd (30-40 million years) and 4th (10-15 million) orders. The following cycles – 5 (3-5 million years), 6 (150-140 thousand years) and 7 (10-20 thousand years) are associated with a large Cenozoic cooling, which ended with the Quaternary glaciation. Cycles 8 (1-4 thousand years) and 9 (500-600 years) reflect changes in warming and cooling in the quarter. And then the analysis of events was reconstructed on the basis of archaeological and chronicle data: from the beginning of our era to the twelfth century the warming of the ninth cycle continued – a small climatic optimum and a small ice age (13th–17th centuries). Modern warming began in the 19th century with clear 33-year fluctuations of the 10th cycle. Beginning in 1881, instrumental observations appeared at meteorological stations and hydro posts. Cycles 11 (20-15-11 years), 12 (5-6 years) and 13 (3-4 years) appeared. Against the background of 33 annual fluctuations in the global climate, 11 annual cycles and catastrophic floods of 1911, 1927, 1941, 1955, 1969, 1980, 1988, 2002, 2008 appeared, and the catastrophic flood of 2020 was predicted by O. M. Adamenko and D.O. Zorin. Thus, it is possible to learn to predict the time of the next catastrophic flood.

Key words: floods, river valley, cycles, periods, landfill

References

- 1 Adamenko O. M. Stan dovkillia u richkovykh dolynakh z katastrofichnymy pavodkamy. Pershyi etap ekolohichnykh doslidzhen na Dnistrovskomu protypavodkovomu polihoni (2012-2018 rr.): monohrafiia / O. M. Adamenko, D. O. Zorin. – Ivano-Frankivsk: IFNTUNH, 2018. – 240 s.
- 2 Adamenko O. M. Ekoloho-ekonomichni naslidky katastrofichnykh pavodkiv ta yikh podolannia na Dnistrovskomu inzhenerno-ekolohichnomu polihoni. O. M. Adamenko, D. O. Zorin, M. I. Mosyuk, K. O. Radlovska // Ekolohichnyi forum, 2020, №1 – S. 54-64.
- 3 Derzhavna heolohichna karta Ukrainy Masshtab 1 : 200 000. Arkush M-34-KHKHIV (Drohobych). [L. S. Herasimov, I. V. Makarova, S. V. Chalyi ta in.] – Kyiv: UkrDNHRI, 2005. – 132 s.
- 4 Derzhavna heolohichna karta Ukrainy. Masshtab 1 : 200 000. Arkush M-35-XXV (Ivano-Frankivsk). [O. V. Vashchenko, S. M. Turchynov, H. H. Polikha]. – Kyiv : UkrDNHRI, 2007. -128 s.
- 5 Ekolohichna entsyklopediia v 3-kh tomakh. – Kyiv: Tsentr ekolohichnoi osvity ta informatsii, 2007. – T. 1 – 432 s., 2008 – T. 2 – 416 s., 2008 – T. 3 – 472 s.
- 6 Zorin D. O. Heohrafichni informatsiini systemy ekolohichnoi bezpeky: navchalnyi posynyk / D. O. Zorin. – Ivano-Frankivsk: Suprun V.P., 2016. – 180 s.
- 7 Kravchuk Ya. S. Heomorfolohiia Peredkarpattia / Ya. S. Kravchuk – Lviv: Merkator, 1999. – 188 s.
- 8 Liubinska L. H. Natsionalnyi pryrodnyi park «Podilski Tovtry / L. H. Liubinska // Zapovidnyky i natsionalni pryrodni parky Ukrainy. – Kyiv, 2001. – 172 s.

- 9 Movchan Ya. I. Ekolohichna mrezhha Ukrainy. Obgruntuvannya yii struktury ta neobkhdnosti stvorennia / Ya. I. Movchan. – Zbirnyk. Kontseptsiiia pro biotychne riznomanittia. Hromadska obiznanist ta uchast. – Kyiv, 1997.
- 10 Paliienko V. P. O typakh holotsenovoho aliuviia dolyny Dnestra / V. P. Palyenko // Mat-ly po chetvertichnomu periodu Ukrainy. – Kiev: Naukova dumka, 1974. – S. 247-250.
- 11 Pasetskyi V. M. Tysiacheletniaia letois neobychainykh yavleniy prirody / V. M. Pasetskyi, E. P. Borysenkov. – Moskva: Mysl, 1988. – 524 s.
- 12 Pryrodno-zapovidnyi fond Ukrainy: teritorii ta obiekty zahalnodержavnoho znachennia. – Kyiv : Tsentr ekolohichnoi osvity ta informatsii, 2009. – 332 s.
- 13 Trofymchuk O. M. Heoinformatsiyni tekhnolohii zakhystu dovkillia pryrodno-zapovidnogo fondu / O. M. Trofymchuk, O. M. Adamenko, V. M. Trysniuk. – Ivano-Frankivsk: Suprun V. P., 2020. – 340 s.
- 14 Chetvertichnaia paleoheohrafiia ekosistemy Nyzhneho i Sredneho Dnestra [O. M. Adamenko, A. V. Holbert, V. A. Osnuuk, Zh. M. Matviishyna, V. E. Motok, N. A. Syrenko i dr.] – Kiev: Feniks, 1996. – 200 s.
- 15 Boguckyj, A., Lancont T. M., Raciacowski, R., 2000. Condition and course of the Middle and Upper Pleistocene loesses in the Halic profile (NW Ukraine) // *Studia Quaternaria* – Warszawa, vol. 17: 3-17.
- 16 Lomanicki A., 1905. Atlas Geologicny Galicyi, Krakow: 332.
- 17 Madeyska, T. (ed.), 2002. Lessy I paleolit Naddnisterza halickego (Ukraina) // *Studia Geologica Polonica*, vol. 119, Krakow: 5-391.
- 18 Romer, E., 1906. Epocha lodowa na Swidowell // *Kosmos*, t. XXXI : 363-386
- 19 Teisseyre, H., 1933. Spaczenie teras wschonio-polskiego Podkarpacia w stosunku do kuminacyj fliszu obwodowego // *Geologia i Statystyka Naftowa*; 8 : 80-81.

*Г. В. Кошлак, А. М. Павленко
Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу*

ПЕРСПЕКТИВИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ БІОМАСИ В УКРАЇНІ

В статті проаналізовано стан виробництва та використання енергоресурсів в світі, а також сучасні тренди та прогнози використання енергії з відновлюваних джерел у загальному кінцевому енергоспоживанні. Запропоновано визначення та класифікацію біоресурсів в залежності від їх походження та проаналізовано їх якісні характеристики. Проаналізовано законодавчі нормативи і документи, які стосуються розвитку галузей паливно-енергетичного комплексу та перспективи розвитку ВДЕ в Україні.

Визначено, що основними проблемами, які стоять на перешкоді розвитку біоенергетики є необхідність перетворення біомаси, складність та енергоємність технологій отримання біопалив, несформованість сировинної бази, непостійний склад сировини та відсутність гарантій щодо стабільних поставок сировини. На основі аналізу способів перетворення біомаси запропонована класифікація основних типів енергетичних процесів, які пов'язані з переробкою біомаси. Аналіз технологій перетворення біомаси дозволив зробити висновок, що на даному етапі активно розвиваються технології термохімічного перетворення прямого спалювання біомаси через простоту технології та низьку енерговитратність.

Аналіз динаміки зростання потужностей ВДЕ в Україні дозволив зробити висновок, що в Україні є всі передумови для інтенсивного розвитку, видобутку та використання нетрадиційних джерел енергії. Цьому сприяє перспективні біоресурси для технологій електро- та теплової генерації, обґрунтовано, що біоенергетика має перспективи стати одним із головних стратегічних ресурсів для підвищення енергетичної та екологічної безпеки країни.

Ключові слова: енергобаланс ВДЕ, скорочення викидів, біомаса, біопалива, способи перетворення біомаси, бар'єри розвитку біоенергетики, тепло- та електрогенерація, сталий розвиток

Постановка проблеми. Енергія – одна з найважливіших матеріальних потреб людського життя. Її виробництво, як і будь-яка діяльність людини, пов'язана з використанням навколишнього середовища, при чому побічним ефектом є викиди забруднюючих речовин, особливо при спалюванні традиційного викопного палива. Питання забруднення навколишнього середовища, раціонального використання природних ресурсів, пошук інноваційних рішень удосконалення існуючих систем виробництва, переробки та утилізації відходів виробництва є актуальними проблемами сучасного світу.

З кожним роком зростають потреби людства в енергії через низку факторів: приріст населення на планеті, світовий соціально-економічний розвиток, вичерпність традиційних викопних палив та нераціональне господарювання, зміни клімату. На сьогоднішній день традиційне викопне паливо не в змозі задовольняти зростаючих енергетичних потреб, а постійне збільшення обсягів споживання традиційних паливно-енергетичних ресурсів знаходиться на межі вичерпання. Традиційні підходи генерування енергії поступово стають економічно необґрунтованими, що в подальшому може привести до економічної кризи і пов'язаних з цим екологічних та соціальних наслідків. Ефектом таких змін в свідомості суспільства стала поява нових галузей знань, таких як, наприклад, екологічна економіка чи екологічний менеджмент. Також з'явилася нова термінологія, така як «сталий розвиток», синонімом якого є екорозвиток.

Екологічні наслідки екстенсивного розвитку паливно-енергетичних комплексів становлять велику загрозу для людства. Забруднення природного середовища стосується всіх трьох його складових: повітря, ґрунту і води. Основним джерелом викидів антропогенних забруднювачів є процес згоряння палива, особливо вугілля. Більше 75% викидів NO_x та SO₂, близько 70% викидів CO, понад 75% викидів пилу та понад 90% CO₂ відбувається при спалюванні традиційного палива. Основними забруднювачами повітря в Україні є підприємства гірничовидобувної, переробної, енергетичної та транспортної галузі (рис. 1) [1].

Вагомий внесок у забруднення довкілля вносить електроенергетика та виробництво. Як видно з рис. 1 у 2019 році в Україні найбільша частка викидів CO₂ припадала в результаті процесів електричної та теплогенерації при спалюванні твердого викопного палива, зокрема вугілля.

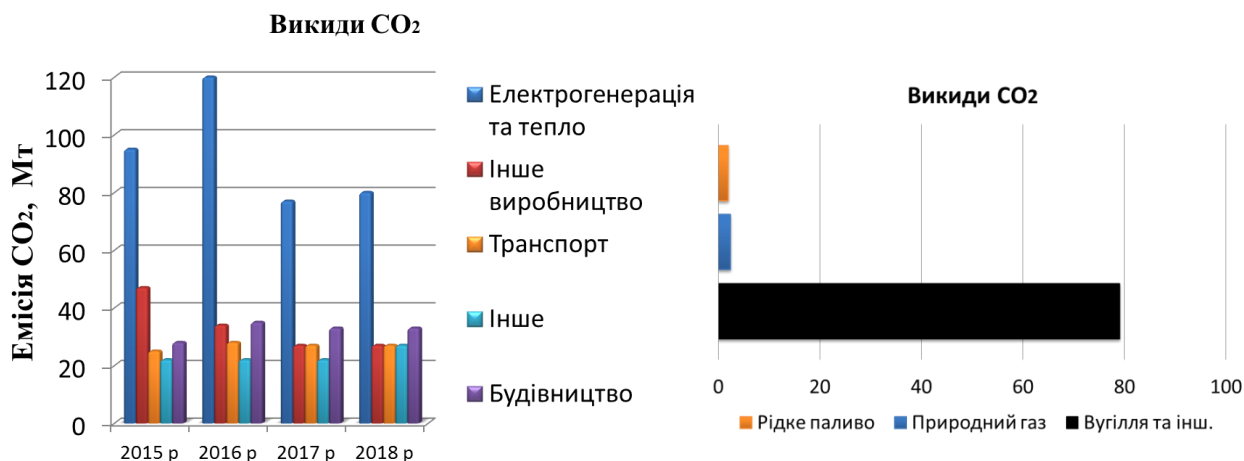


Рис. 1. Аналіз викидів CO₂ в Україні [1]

Забруднення довкілля відбувається не тільки через спалювання традиційного палива, а і при його видобутку. Наприклад, шахтарі, що працюють на вугільних шахтах, піддаються численним небезпекам, таким як ризик вибуху метану (виділяється в процесі видобутку) та вугільного пилу, пожеж, вибуху гірських порід гірські маси та ін.. При видобутку сирої нафти з дна океанів та її транспортуванні морем є небезпека її витоків у довкілля, а видобуток бурого вугілля відкритими методами завдає непоправної шкоди, знищуючи природні ландшафти на місці родовищ тощо. Використання в технологічних процесах спалювання традиційних енергоресурсів спричиняє щороку викиди близько 25 мільярдів тонн вуглекислого газу та поступове збільшення його концентрації в атмосфері.

Підвищення концентрації вуглекислого газу в атмосфері вважається основною причиною глобального потепління з усіма його негативними наслідками. Тому у сучасному світі спостерігається тенденція до зростання попиту на поновлювальні енергетичні ресурси. Однак не завжди є можливість скористатися з альтернативних джерел. Часто існують технічні чи економічні обмеження, а також ступінь їх використання залежить за розміром ресурсів та технологією обробки. Світові потужності та виробництва з джерел відновлювальної енергії представлено на рис. 2.

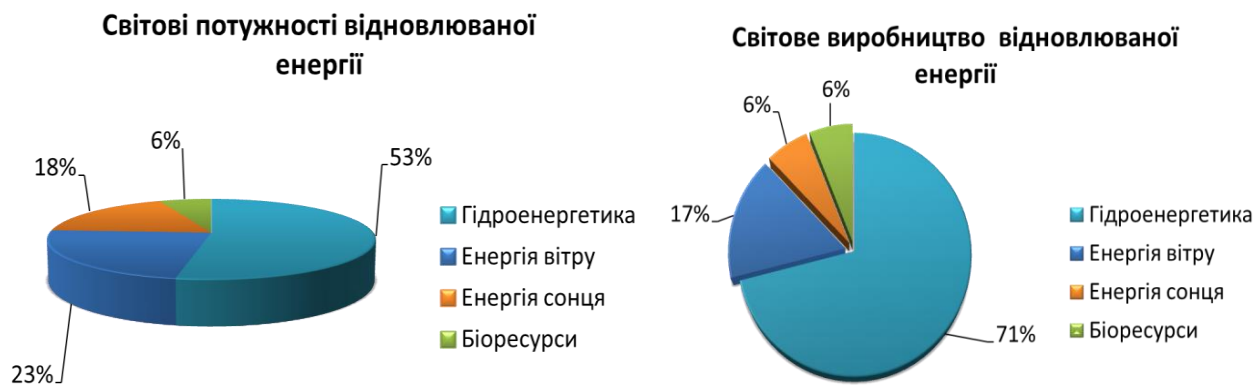


Рис. 2 Світові потужності та виробництво з джерел відновлювальної енергії [2]

Як видно з рис. 2, гідроенергетика є найбільшим джерелом поновлюваної електроенергії в світі. Світове виробництво енергії при використанні гідроресурсів сягає 71%. Зазначена галузь виробляє близько 16% електроенергії в світі з більш ніж 1200 ГВт встановленої потужності.

На сьогодні відбуваються зміни у формуванні енергетичної політики України в частині переходу до нової моделі функціонування енергетичного сектору, в якій, зокрема, мінімізується домінування одного з видів виробництва енергії, та віддається велика перевага використанню енергії з альтернативних джерел та підвищенню енергоефективності. За останні роки урядом України на законодавчому рівні розроблено та затверджено значну низку законодавчих нормативів і документів для наближення та гармонізації національного законодавства з базовою Директивою 2012/27/ЄС про енергетичну ефективність, Директивою 2010/30/ЄС щодо

енергетичного маркування енергоспоживчих товарів і Директивою 2010/31/ЄС щодо енергетичної ефективності будівель. У 2020 р. Міністерство енергетики спільно з Держенергоефективності та за активної участі Біоенергетичної асоціації України активізувало роботу над законодавством у біоенергетиці. Результатом такої співпраці було підготовка законопроектів щодо розвитку ринку твердих біопалив, звільнення біопалива від податку на CO₂, стимулювання вирощування енергетичних рослин [3].

Для виведення енергетичного комплексу України на принципово новий, якісний рівень розвитку в Україні у 2018 р був прийнятий організаційно-розпорядчий документ розвитку галузей паливно-енергетичного комплексу Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». У перспективі (до 2025 року) Енергетична стратегія України прогнозує зростання частки відновлюваної енергетики до рівня 12% від загального первинного постачання електроенергії та не менше 25% – до 2035 року (включаючи всі гідроенергуючі потужності та термальну енергію). При цьому в кінцевому споживанні електроенергії частка відновлюваних джерел енергії (далі – ВДЕ) має складати 20% (38 тис. ГВт· год, з них 25 тис. ГВт· год, або 12% річного очікуваного річного електроспоживання мають виробляти сонячні, вітрові, біоенергетичні станції [4].

Не зважаючи на досить низькі поточні обсяги виробництва електроенергії з альтернативних джерел (близько 1,9% від загальної генерації в 2018 році), темпи приросту потужності об'єктами відновлювальної енергетики України є суттєвими – на 30% (290 МВт) за 2017 рік, на 66% (849 МВт) за 2018 рік, та на 77% за перше півріччя 2019 року (+1637 МВт). Загальний обсяг приєднаної до об'єднаної електроенергетичної системи України встановленої потужності об'єктів відновлювальної енергетики станом на II квартал 2019 року перевищує 3,7 ГВт, а обсяг виробництва електроенергії з альтернативних джерел за перше півріччя 2019 року склав 2,44 млрд кВтгод, що на 83% вище, ніж за аналогічний період минулого року. Через велику частку енергоємних секторів і ціну на енергоресурси Україна вкрай потребує оптимізації власного енергоспоживання. Через стійкий дефіцит енергоносіїв, тому економічно рентабельними стають певні види місцевого альтернативного палива і відходів [5].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Інтерес до нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії у всьому світі зумовлений двома негативними тенденціями розвитку традиційної енергетики: швидким виснаженням природних енергоресурсів і забрудненням навколишнього середовища. Щорічне подорожчання енергетичних ресурсів призводить до зростання частки використання поновлюваних джерел енергії в усьому світі. Вагомий внесок у розвиток вітчизняної біоенергетики та найбільш ефективних для біопалива культур зробили Гелетуха Г. Г., Железна Т. А., Баштовий А. І., Андрійчук В. Г., Бойко В. І., Гайдуцький П. І., Калетник Г. М., Ситник В. П. та інші. У 2019 році первинна енергія, вироблена в ЄС, надходила з різних джерел, найбільшу частку становили відновлювані джерела енергії – більше третини (34,2%) загального виробництва в ЄС (рис. 3) [1].

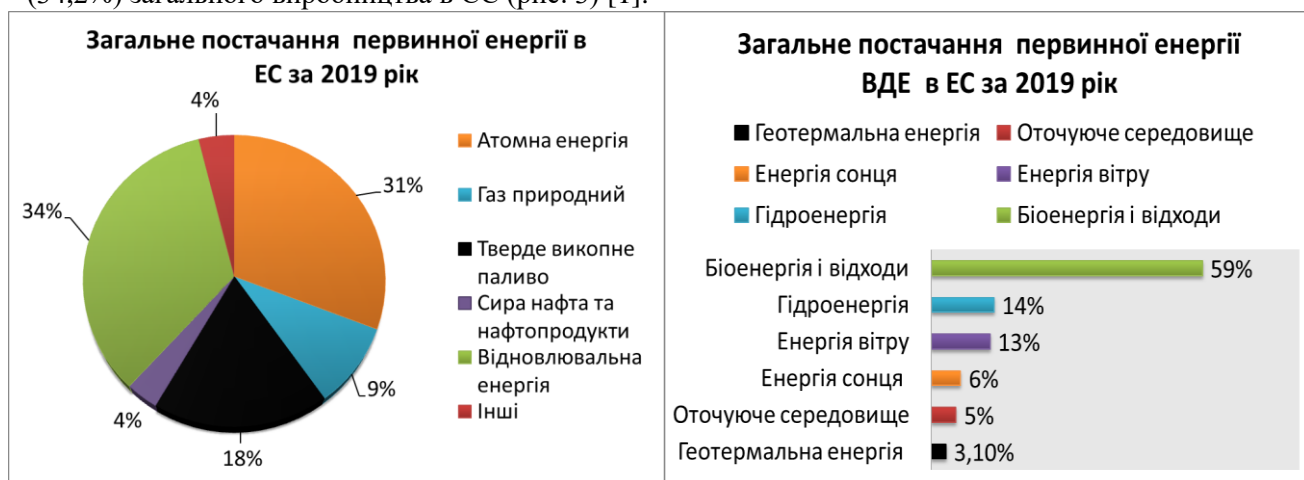


Рис. 3. Загальне постачання первинної енергії в ЄС

Атомна енергетика посіла друге місце з 31,0% від загального виробництва первинної енергії. Найбільшу частку первинної енергії від атомної галузі було вироблено у Франції, де майже 78,0% національної енергії походило з цього джерела, тоді як у Бельгії та Словаччині ця частка становила понад три п'ятих (відповідно 63,1% та 62,7%). Частка твердого викопного палива

(18,3%, переважно вугілля) була трохи нижче п'ятої, а частка природного газу складала близько однієї десятої (9,3%). Збільшення виробництва первинної енергії в ЄС із відновлюваних джерел було більшим, ніж для всіх інших енергоресурсів.

Сучасна енергетична криза, в якій опинилася Україна, потребує невідкладних заходів вирішення соціально-економічної проблеми енергетичної безпеки, що може бути вирішена тільки при умові раціонального використання всіх джерел енергії і пошуку альтернативних. Сучасний стан розподілу джерел енергії в загальному постачанні первинної енергії в Україні, залежно від джерела походження, представлено на рис. 4 [5].

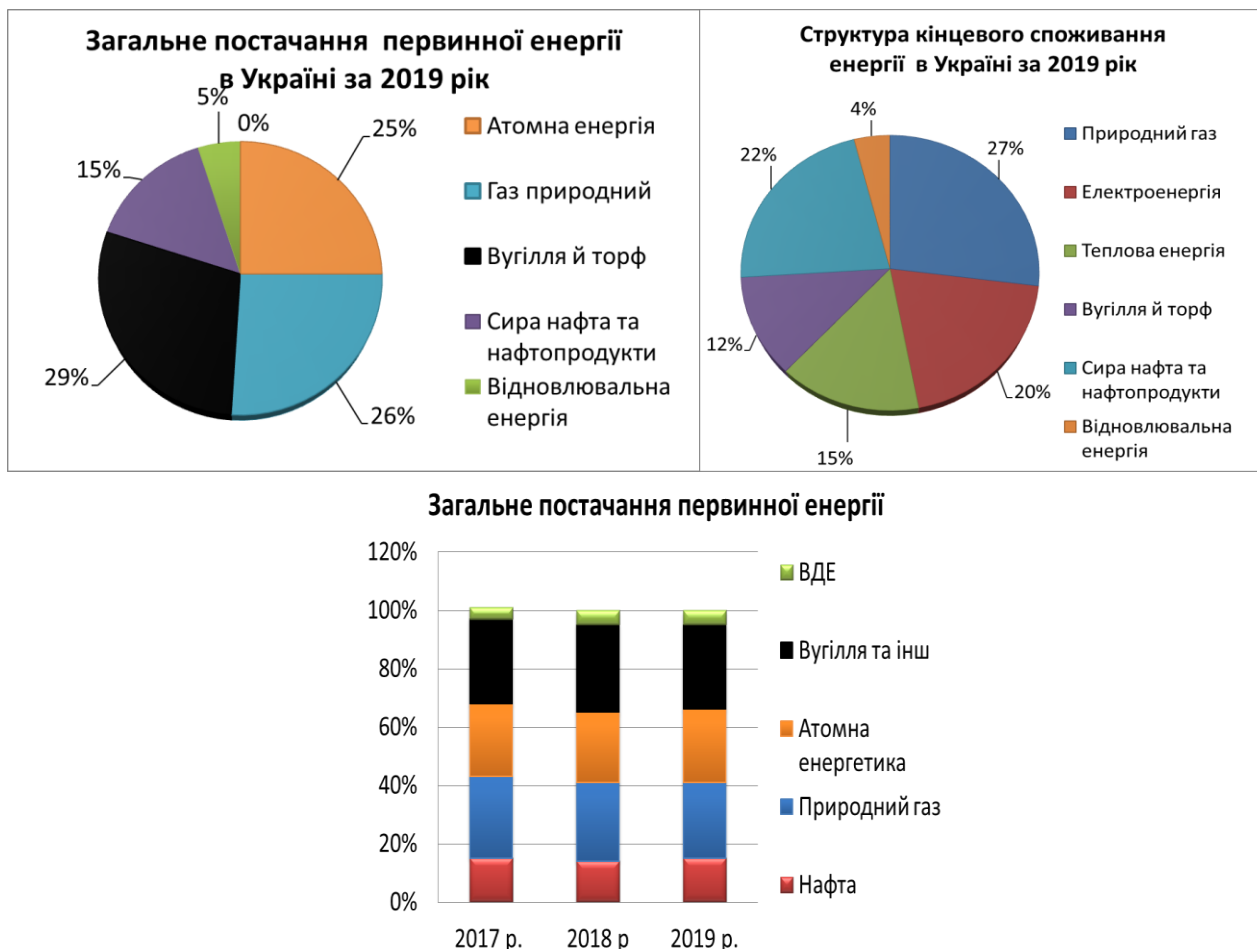


Рис. 4. Сучасний стан розподілу джерел енергії в загальному постачанні первинної енергії в Україні

Статистичні дані рис. 4 свідчать про те, що в Україні ще переважає використання викопного палива – 95%. В загальному постачанні первинної енергії перше місце займає вугілля і торф, які складають 29%. Показник постачання первинної енергії з ВДЕ залишається доволі низьким і складає 5% в порівнянні з ЄС – 34%.

В світі енерговитрати на ВДЕ стали швидко зменшуватися, невдовзі енергія з відновлюваних джерел енергії буде конкурентоспроможною у порівнянні з електричною, виробленою на звичайних електростанціях. Згідно статистичних даних Міжнародного агентства з відновлюваних джерел енергії (IRENA) у 2020 р через пандемію COVID-19, глобальний попит на енергію скоротився на 5%, викиди CO₂ від сектору енергетики скоротилися на 7%, а інвестиції в енергетику скоротилися на 18%. Скорочення попиту на окремі види палива складає: 8% – на нафту, 7% – на вугілля, 3% – на природний газ. В той же час, попит на електроенергію скоротився на символічні 2%, а відновлювані джерела енергії залишилися найстійкішими джерелами енергії до викликів пандемії COVID-19 [2].

Аналізуючи виробництво електричної енергії з ВДЕ за останні роки можна впевнено ствердити, що спостерігається активне нарощування потужностей і збільшення виробництва електроенергії з відновлюваних джерел. Особливо важливі зміни відбулися у 2020 р. Це вплинуло на структуру генерації в енергосистемі України. Так в 2020 році генерація на вітрових та сонячних

електростанціях (ВЕС та СЕС) збільшилася вдвічі – до 863 млн кВт•год в порівнянні з 2019 роком (рис. 5). В результаті обсяги виробництва ВЕС та СЕС склали більше 37% генерації на теплових електростанціях (ТЕС) і 11% на атомних (АЕС). Ця тенденція підсилюється зменшенням споживання, яке спричинене сезонним потеплінням та карантинном [5].

За підсумками 2020 року у порівнянні з 2019-м прогнозується збільшення генерації ВДЕ майже вдвічі – до 10,284 млрд кВт•год. Цей обсяг дорівнюватиме 12,8% генерації на АЕС та до 24,4% на ТЕС.

Зростання в Україні потужностей ВДЕ

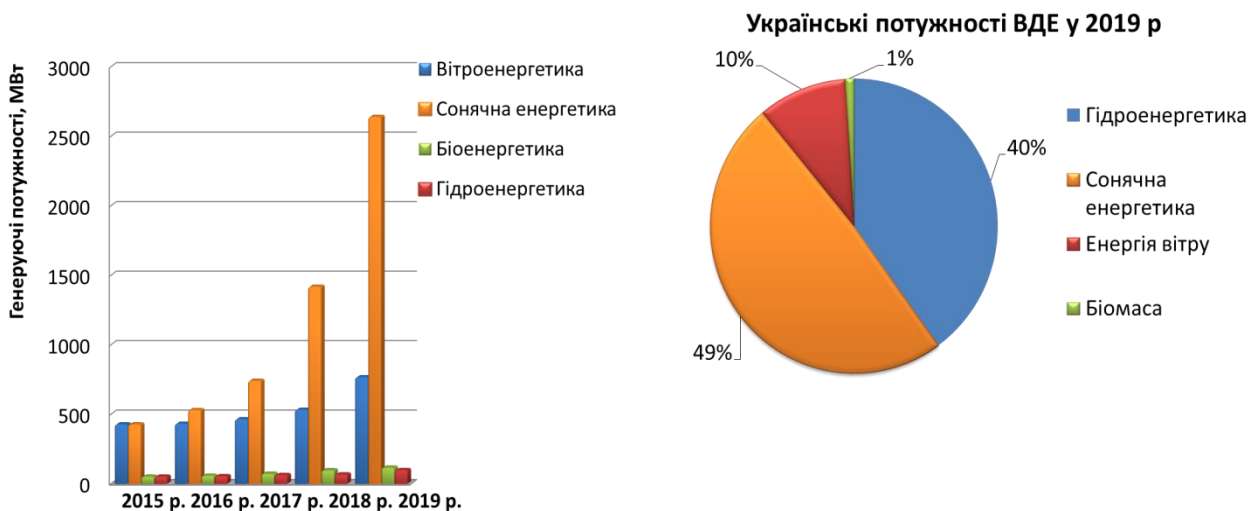


Рис. 5. Аналіз потужностей ВДЕ в Україні

Україна досягла значних успіхів у плануванні майбутнього своєї енергетичної системи та розробці політики в галузі ВДЕ. У звіті Міжнародного агентства з відновлюваної енергії (IRENA) відзначається, що до 2030 року більш широке використання відновлюваної енергії має знизити загальні витрати на енергосистему України. На рис.6 показано прогнози енергії з відновлюваних джерел у загальному кінцевому енергоспоживанні для України до 2030 р відповідно до прийнятої енергетичної політики за період 2009-2030 роки [6].

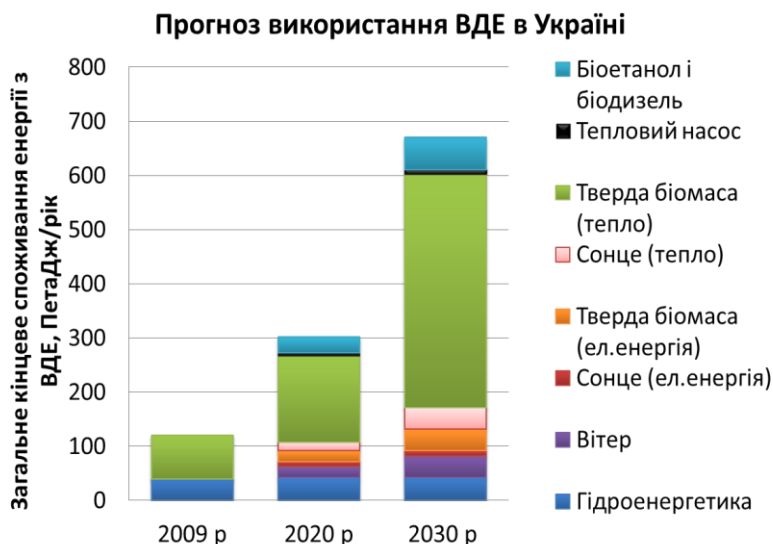


Рис. 6. Перспективи споживання енергії з ВДЕ для України до 2030 р відповідно до прийнятої енергетичної політики за період 2009-2030 роки

З діаграми видно, що біоенергія домінує у структурі ВДЕ, а її частка залишається на рівні 67% – 84% до 2030 року. Спостерігається тенденція до зростання кількісних потужностей вітрової та сонячної енергетики. Втім, у електроенергетиці основну перевагу складають ГЕС та ВЕС (70% від загального виробництва з ВДЕ). Друге місце по енергоспоживанню займають установки на біомасі та сонячні фотоелектричні станції. Одним з найперспективніших видів відновлювальних джерел енергії є біомаса, з якої можна отримати 2 млрд т. у. п. енергії в рік, що складає близько

14% загального споживання первинних енергоносіїв в світі (в країнах, що розвиваються, – більше 30%, іноді до 50...80%). Біомаса для України в перспективі може стати основним джерелом енергії у секторах теплопостачання та транспорту.

Аналізуючи показники енергоспоживання на основі відновлюваних джерел за 2007 – 2019 роки можна зробити висновок, що біомаса становить основу альтернативних ресурсів України (табл. 1). У 2019 р. енергоспоживання з при використанні біопаливних ресурсів та відходів має найвищий показник в порівнянні з іншими ресурсами ВДЕ і відповідає 3362 тис. т н.е.

Таблиця 1

Енергоспоживання на основі відновлюваних джерел за 2007-2019 роки [5]

Постачання первинної енергії	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Гідроенергетика, тис. т н.е.	1131	941	901	1187	729	464	660	769	897	560
Енергія біопалива та відходи, тис. т н.е.	1476	1563	1522	1875	1934	2102	2832	2989	3208	3362
Вітрова та сонячна енергія, тис. т н.е.	4	10	53	104	134	134	124	149	197	426
Загальне постачання енергії від відновлюваних джерел, тис. т н.е.	2611	2514	2476	3166	2797	2700	3616	3907	4302	4348

Забезпечення інновацій та сталого розвитку енергетичного сектору є пріоритетними діями високоіндустріальних країн світу. Технічно-технологічні зміни у виробництві енергії визначають динаміку економічного та соціального зростання держави та дозволяє підтримувати енергетичну безпеку. Однак у наш час ресурси викопного палива є головними причинами енергетичного потенціалу та конкурентоспроможності економіки. Їх надмірне використання в процесах спалювання спричинило виснаження родовищ та забруднення навколишнього середовища. Тому існує певна переорієнтація в енергетичному секторі, в якому відновлювані джерела енергії (ВДЕ) стають все більш важливими. Україна, відповідно до взятих на себе зобов'язань за міжнародними договорами, повинна реформувати енергетичні ринки та імплементувати європейське законодавство у сфері енергоефективності та енергозбереження.

Одними з основних документів ЄС в галузі енергоефективності є Директива ЄС зі збільшення частки використання відновлюваних джерел енергії (2009/28/EU). Згідно з Законом України "Про альтернативні джерела енергії" та Розпорядження Кабінету Міністрів України "Про схвалення Енергетичної стратегії до 2030 року" загальний обсяг інвестицій у розвиток галузі біоенергетики становить близько 12 млрд грн. Очікується, що енергетичне використання біомаси щорічно здатне забезпечити заміщення викопних палив у розмірі 9,2 млн т у.п., у тому числі за рахунок переробки соломи на енергоресурси 2,9 млн т у.п., торфу – 0,6 млн т у.п., відходів деревини – 1,6 млн т у.п., використання біогазу – 1,3 млн т у.п., використання твердих побутових відходів – 1,1 млн т у.п. й використання етанолу та біодизеля – 1,8 млн т у.п. [4].

Перевагою біомаси є її проекологічність. Біомасу можна виробляти та використовувати без значних технологічних вкладень; енергія, що міститься в біомасі, є найменш капіталоемним джерелом відновлюваної енергії; виробництво енергії з біомаси може покращити паливний баланс енерговикористання регіону. До переваг використання біомаси можна також віднести: екологічно чисті продукти горіння, можливість використання відходів після спалювання в якості натуральних добрив; утворений в результаті спалювання двоокис вуглецю не впливає на збільшення так званого «парникового ефекту», оскільки його концентрація зберігається на постійному рівні через замкнутий цикл кругового обігу в результаті процесів фотосинтезу.

Постановка завдання. Метою дослідження є аналіз енергетичної ефективності біомаси, визначення ефективних способів перетворення і перспектив її використання. Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- проаналізувати використання і виробництво електричної енергії з ВДЕ;
- запропонувати класифікацію біомаси в залежності від її походження, проаналізувати її якісні характеристики;
- запропонувати класифікацію основних типів енергетичних процесів, які пов'язані з переробкою біомаси і проаналізувати їх енергоефективність;
- обґрунтувати і виділити основні перспективні біоресурси і технології для перетворення та отримання біопалив в Україні;
- визначити перспективи використання біомаси в Україні.

Виклад основного матеріалу. Вітчизняна енергетична галузь, яка в основному базується на ядерній енергетиці та кам'яному вугіллі, є джерелом значної кількості забруднюючих речовин, що викидаються в атмосферу. Скорочення цих забруднюючих речовин пов'язано з впровадженням нових рішень у галузі відновлюваних джерел енергії. Біомаса як відновлюване джерело енергії (ВДЕ) є важливим елементом енергетичної економіки світу. Прийняття засад енергетичного використання біомаси вимагає уточнення самого поняття біомаси та зазначення її джерел. Отже, біомасою вважаються тверді або рідкі речовини, рослинного або тваринного походження, а також з відходів та залишків виробництва сільського й лісового господарства, переробної промисловості, продуктів (наприклад зернових культур), які не відповідають показникам якості та підлягають біодеградації, (рис. 7).

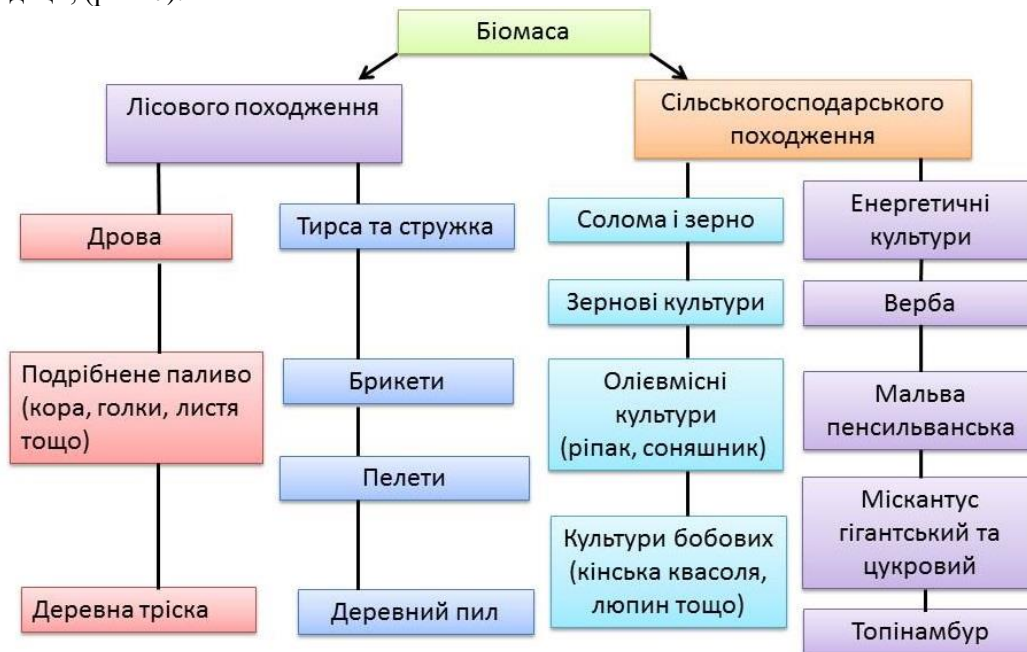


Рис. 7. Класифікація біомаси за походженням

Зазвичай біомаса збирається при виробництві та переробці рослинних продуктів, а більша її частина, яка спалюється в енергетичних котлах, має рослинне походження. Енергетичні рослини характеризуються високим річним приростом та теплотворною здатністю палива, стійкістю до хвороб та шкідників і відносно низькими вимогами до ґрунту. До таких культур, серед інших, належать: верба, мальва пенсильванська, топінамбур, багаторічні трави. Їх вирощування є найкращим способом оздоровлення деградованих сільськогосподарських угідь. Це також надзвичайно важливо можливість механізації агротехнічних робіт, пов'язаних із посадкою насаджень та збиранням врожаю. Вирощування енергетичних культур є екологічно чистим, і, може використовуватися в середньому протягом 15-20 років.

Енергетична ефективність біомаси визначається її кількістю, яку можна отримати на даній території протягом певного часу, а її вартість залежить головним чином від коливань ринку та походження (лісова, сільськогосподарська або біовідходи), що визначає її фізико-хімічні властивості та впливає на технологічні процеси її переробки. В енергетичному секторі найчастіше використовується біомаса рослинного походження у вигляді тріски, тирси, пелетів та брикетів.

Основним параметром оцінки енергетичних ресурсів є показник теплотворної здатності. Він визначає основні якісні параметри твердого біопалива. Цей показник може коливатися від 6-8 МДж/кг для біомаси із вмістом вологи 50–60% до 15-17 МДж/кг для висушеної біомаси, вологість якої становить 10-20%, до 19 МДж/кг для повністю висушеної біомаси. Однак теплотворна здатність біомаси значно нижча ніж у кам'яного та бурого вугілля (табл. 2).

Високий вміст вологи в біомасі, низькі показники насипної щільності призводить до зростання витратків на транспорт біомаси від джерела її збору до місця спалювання. Крім того, інфраструктура зберігання є дуже важливим аспектом. При використанні біомаси в енергетичному секторі повинні бути розроблені спеціальні силоси, конвеєрні стрічки для біомаси, ваги та герметичні контейнери, тому в результаті використання біомаси є відносно дорогою інвестицією порівняно з використанням вугілля. Логістика біомаси – дуже важлива і відповідальна сфера

роботи ряду фахівців на кожній електростанції та ТЕЦ, яка використовує біомасу для виробництва електроенергії та тепла. Для зберігання біомаси потрібні великі звалища та спеціально підготовлені склади з покривом.

Таблиця 2

Показники палива

Показник	Солома	Деревина	Торф	Буре вугілля	Кам'яне вугілля
Вологість,%	12-70	20-60	90-95	20-55	5-20
Зольність,%	4-7	0,8-1,6	1-25	1-50	3-20
Вміст сірки в сухому стані, S,%	0,05-0,12	0,06	0,1-1,2	0,3-6	0,3-2,5 (б)
Вміст водню в сухому стані, H,%	38-44	40-44	30-40	12-30	2-15
Вміст карбону в сухому стані, C,%	47-48	50-52	55-60	58-78	75-93
Вміст летючих речовин в сухому стані,%	73-80	76-80	65-70	54-65	3-45
Вища теплота згоряння, МДж/кг	17-18	18-21	21-22	22-31	до 36,5
Нижча теплота згоряння, МДж/кг	16-17	17-20	20-21	21-30	До 35,6

У 2006 році використання біомаси в світі енергетичних цілях було на рівні 1186 млн т.у.п., а до 2030 р. очікується досягнення 1660 млн. т.у.п.. Ці дані свідчать, що із швидко зростаючим світовим попитом на первинну енергію, частка біомаси залишиться на рівні приблизно 10%. Такий низький відсоток використання пов'язаний з необхідністю перетворення біомаси в зручну форму, яке може відбуватися трьома головними шляхами (рис. 8). Використання різних способів перетворення біомаси дозволяє її ефективно використати в якості біопалива (наприклад, пелети); отримати в результаті процесів термохімічної та біохімічної конверсії тепло, генерувати електроенергію та виробляти біопаливо для транспортної галузі господарства (біодизель, біоетанол).

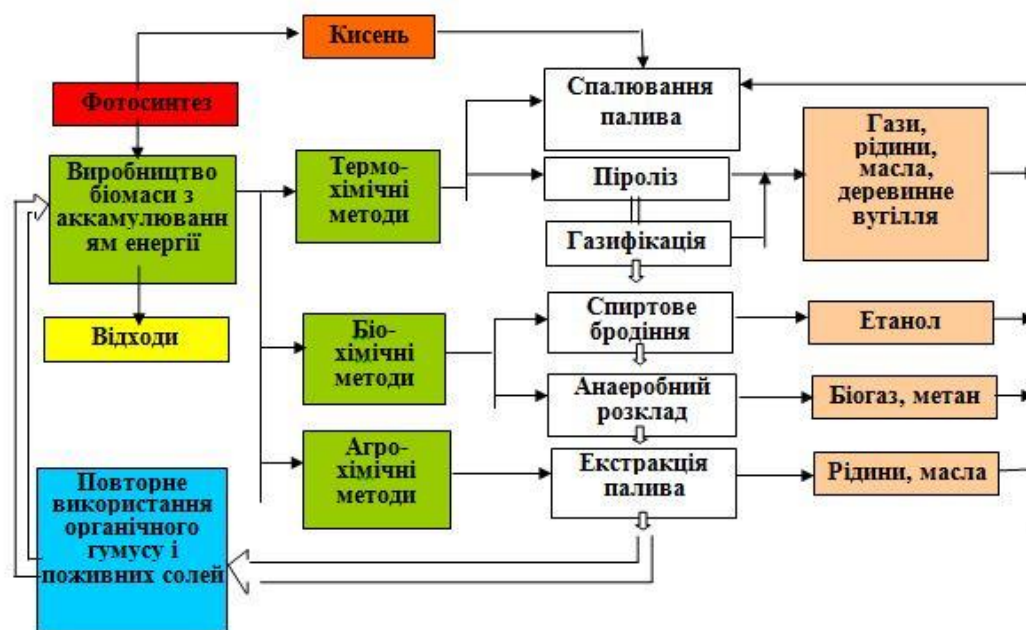


Рис. 8. Класифікація основних типів енергетичних процесів, які пов'язані з переробкою біомаси

Розглянемо особливості технології та тенденції виробництва, а також способи використання різних видів біомаси. Основними технологіями термічного способу переробки деревини та біомаси в твердому агрегатному стані є процеси прямого спалювання. В такий спосіб можна отримати теплову, а також електричну енергію. Біомасу можна спалювати безпосередньо, як самостійне паливо або додавати його, наприклад, до вугілля. Технологія спалювання біомаси з вугіллям чинить менший шкідливий вплив на довкілля через те, що нижчі концентрації викидів і пилу потрапляють у повітря. Дані технології є найбільш доступними, отримали широке розповсюдження і практичне застосування через простоту та низьку енерговитратність.

В енергетичній галузі значне місце займає "агро" біомаса. В основному вона походить з відходів сільськогосподарського виробництва. Класифікувати біомасу з відходів можна за вмістом вологості: відходи сухі і мокрі (рис. 9).

Найбільше серед сільськогосподарських відходів біомаси на даний момент використовується солома. В Україні цей енергоресурс складає 50 мільйонів тон щороку. Солома в основному складається з целюлози, геміцелюлози та лігніну. До брикетування найбільш придатна солома з жита, пшениці, ріпаку, гречки та кукурудзи. Калорійність соломи як енергетичного палива залежить від її виду, вологості та техніки зберігання. Доцільніше використовувати солому сіру, тобто підсушену попередньо в погодних умовах у полі. Такий продукт характеризується дещо кращими енергетичними властивостями від соломи жовтої свіжозрізаної, оскільки при її спалюванні утворюється менші кількості сполук сірки та хлору. Занадто волога солома має не тільки нижчу енергетичну цінність, але також спричиняє більше викидів забруднюючих речовин при спалюванні.

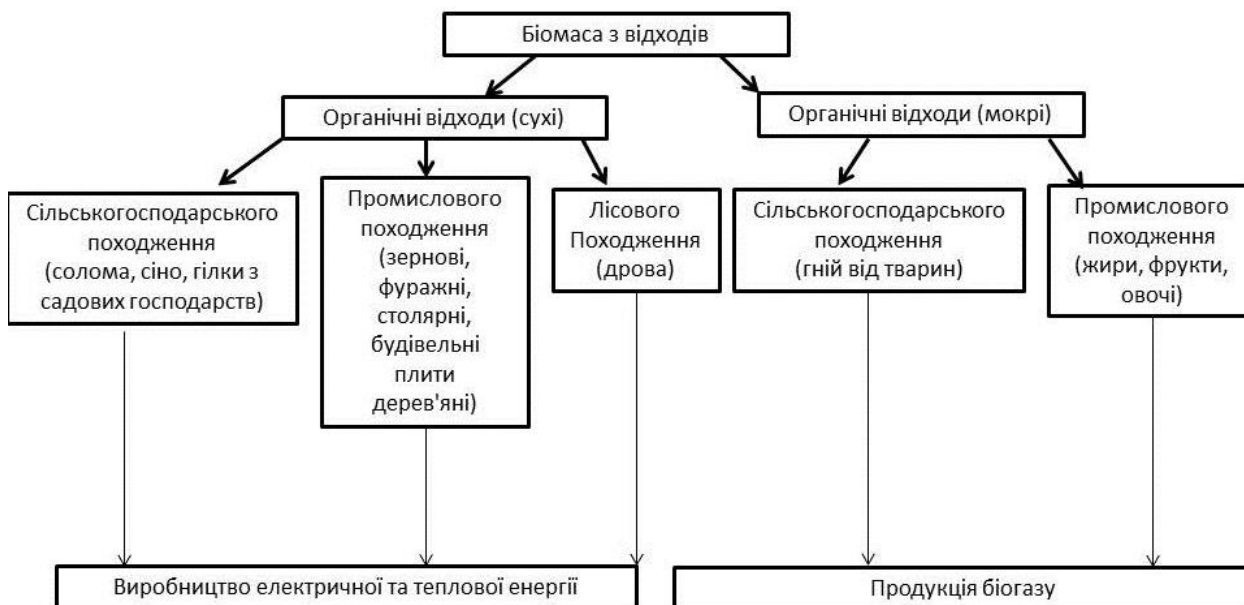


Рис. 9. Класифікація біомаси з відходів

До біопалива з відходів тваринного походження відносять біогаз, який отримують при анаеробній ферментації суспензії гною тварин; при бродінні мулу на очисних спорудах. При цьому існує два способи ферментації – сухий і мокрий. Під час бродіння більше половини органічних відходів перетворюється на біогаз.

Склад біопалива біогазу може змінюватися залежно від типу, кількості та якості біомаси. В складі біогазу в більшій мірі переважає метан CH_4 40% – 80%; вуглекислий газ CO_2 20% – 55%; сірководень H_2S 0,1% – 5,5%; у незначних кількостях: водень H_2 , чадний газ CO , азот N_2 , кисень O_2 . Спалюючи біогаз можна отримати тепло або електроенергію. Другим способом біохімічного перетворення біомаси є процес спиртового бродіння в результаті якого відбувається розщеплення вуглеводів під впливом ферментів, що виробляються дріжджами. Продуктом спиртового бродіння є етиловий спирт і вуглекислий газ. Після зневоднення етилового спирту його можна використовувати як добавку до бензину або як замітник. Ще одним шляхом отримання рідких біопалив є агрохімічний спосіб перетворення олійємістних культур. Рідке біопаливо отримують з насіння енергомістких культур. Технологія виробництва біодизельного палива з ріпакової олії побудована на механічній і хімічній переробці відфільтрованої олії до форми метилового ефіру. Даний продукт утворюється у результаті хімічної реакції: рослинна олія (жир) + метиловий спирт (у присутності каталізатора) = метиловий ефір. Теплотворна здатність біопалива 37 МДж/кг або 33 МДж/л. Виробництво біодізелю, орієнтованого на використання ріпаку, сої та кукурудзи як вихідної сировини, також залежить від запровадження сучасних технологій покращення жирнокислотного складу вихідної сировини, застосування новітніх підходів до естерифікації жирних кислот, використання сучасних каталізаторів та побічних продуктів його виробництва, у першу чергу таких, як гліцерин. Ще однією важливою культурою з погляду біоенергетики для отримання біоетанолу шляхом біохімічного перетворення біомаси для України є цукровий буряк. Технологія його

виращування, транспортування і зберігання добре розроблена, і у разі вирішення проблеми енергетичних витрат на його переробку можливо одержану вати біоетанол з цієї сировини [7].

Біомасу можна перетворювати на біопаливо шляхом проведення процесу газифікації. Газифікація – це процес, при якому під впливом високих температур з обмеженим вмістом кисню або повітря біомаса перетворюється в деревний газ. Отриманий газ також можна використовувати в газових плитах, газових турбінах для виробництва електроенергії. Але ці технології вимагають більших витрат, тому знаходяться на демонстраційному рівні розвитку. Перетворення біомаси в результаті піролізу дозволяє отримати кілька видів біопалива в різних агрегатних станах біогаз, рідке біопаливо та кокс. Піроліз – це процес розкладання органічних речовин без кисню. Властивості біопалива, що утворюється в результаті піролізу, залежать від типу біомаси: її складу та температурних режимів, часу, присутності води, кисню. Через багатостадійність, складність та енергоємність ця технологія знаходиться на дослідному рівні розвитку.

Значні перспективи для біоенергетики в Україні мають культури, здатні накопичувати велику біомасу: спориш сахалінський (*Polygonumsachalinense*), міскантус (*Miscanthusspp.*), очеретяна канарія (*Phalarisarundinacea*), топінамбур (*Helianthustuberosus*), багатоквіткова троянда; нові сорти тополі, верби та інших деревних культур.

Висновки. Біопаливо сьогодні розглядається в Україні як вагома альтернатива традиційним енергоресурсам. До переваг біомаси слід віднести «нульовий» баланс викидів CO_2 в результаті процесів горіння, оскільки під час росту рослин відбувається поглинання CO_2 з атмосфери. Також біомаса містить незначну кількість сірки, через що при її спалюванні в атмосферу викидається менші концентрації SO_x . У порівнянні з традиційними видами палива, у її складі міститься значно більше кисню у структурах хімічних сполук, що призводить до нижчої концентрації енергії на одиницю маси (щільність енергії). До недоліків біомаси можна віднести також великі коливання хімічного складу (азоту, хлору, лугів) та вмісту води, тенденція до утворення смол і низька температура плавлення золи.

Виробництво енергоносіїв біологічного походження для свого ефективного функціонування потребує певних умов: наявності сировинної бази, певної технології перероблення сировини та виготовлення готового продукту, а також ринку збуту продукції. Несформованість сировинної бази та відсутність гарантій щодо стабільних поставок сировини зараз є тими факторами, які гальмують розробки та впровадження проєктів з використання біомаси в центральних системах теплопостачання у якості основного енергоресурсу або будівництва заводів для технологічного перетворення біомаси з метою отримання біопалив. Однак в Україні є всі передумови для інтенсивного розвитку, видобутку та використання нетрадиційних джерел енергії.

Представлені в роботі методи перетворення біомаси в енергію об'єднує те, що завдяки даним технологіям суспільство отримує величезні можливості використання ВДЕ для енергетичного споживання. Наведені вище приклади та досвід розвинених країн показує, що варто розглядати біовідходи як джерело доходу. Стосується це особливо тих держав, де кожен день велика кількість з них відправляється на звалища.

Масштаб потенційних установок з використанням біомаси залежить не тільки від щодо наявності самих відходів, їх кількості, але і якості та придатності для кожної країни тих або інших процесів перетворення. Безумовно, оптимальним економічним кроком для міських агломерацій є перетворення біомаси термічними методами, а для сільських господарств – біологічні методи. У першому випадку це, як правило, потужні системи переробні заводи, а в інших – мікроустановки середнього масштабу. Початковою точкою для використання потенціалу муніципальних та промислових відходів є їх вибіркового збір та належне сортування, що слід враховувати перед плануванням цього виду інвестицій.

Використання біомаси в енергетичних цілях може принести багато переваг, пов'язаних зі зменшенням викидів парникових газів, збільшенням зайнятості в сільській місцевості та підвищенням ефективності сільськогосподарського виробництва на сімейних фермах. Однак при цьому слід пам'ятати про концепцію сталого розвитку, який дозволяє використовувати природні блага при збереженні їхніх ресурсів для майбутніх поколінь.

Література

- 1 World Energy Balances: Overview 2020. <https://www.iea.org/reports/world-energy-balances-overview>.
- 2 IRENA (2019). Renewable Energy Statistics (2019). The International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi <https://www.irena.org/publications/2019/Jul/Renewable-energy-statistics-2019>.

3 Міністерство енергетики України. – Режим доступу: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art_id=245475362.

4 Енергетична стратегія України до 2035 року "Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність". – Режим доступу: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/doccatalog/list?currDir=50358>.

5 Державна служба статистики України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/>

6 IRENA (2015). REmap 2030. Перспективи розвитку відновлюваної енергетики в Україні, IRENA, Абу-Дабі. URL: www.irena.org/remap.

7 Geletukha H., Zheliezna T.. Status and prospects of bioenergy development in Ukraine. Industrial Heat Engineering. 2017. Vol. 2. Issue 39. P. 60-64.

G. Koshlak, A. Pavlenko

*Ivano-Frankivsk National Technical
University of Oil and Gas*

PROSPECTS OF ENERGY USE FROM BIOMASS IN UKRAINE

The article analyzes the state of production and use of energy resources in the world, as well as current trends and forecasts of energy use from renewable sources in the final energy consumption. The definition and classification of bioresources depending on their origin are proposed and their qualitative characteristics are analyzed. Legislative norms and documents related to the development of fuel and energy sectors and prospects for the development of renewable energy sources in Ukraine are analyzed.

It is determined that the main problems that hinder the development of bioenergy are the need for biomass conversion, complexity and energy intensity of biofuel production technologies, immature raw material base, inconsistent raw material composition and lack of guarantees for stable supply of raw materials. Based on the analysis of biomass conversion methods, a classification of the main types of energy processes related to biomass processing is proposed. The analysis of biomass conversion technologies helped to conclude that at this stage the technologies of thermochemical conversion of direct biomass combustion are actively developing due to the simplicity of technology and low energy consumption.

The analysis of the dynamics of capacity growth of renewable energy sources in Ukraine helped to conclude that Ukraine has all the prerequisites for intensive development, production and use of non-traditional energy sources. This is facilitated by promising bioresources for electricity and heat generation technologies, it is substantiated that bioenergy has the potential to become one of the main strategic resources for improving energy and environmental security of the country.

Key words: energy balance of renewable energy sources, emission reduction, biomass, biofuels, methods of biomass conversion, barriers to bioenergy development, heat and electricity generation, sustainable development

References

1 World Energy Balances: Overview 2020. <https://www.iea.org/reports/world-energy-balances-overview>.

2 IRENA (2019). Renewable Energy Statistics (2019). The International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi <https://www.irena.org/publications/2019/Jul/Renewable-energy-statistics-2019>.

3 Ministry of Energy of Ukraine. Access mode: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art_id=245475362.

4 Ukraine's energy strategy until 2035 "Security, energy efficiency, competitiveness". URL: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/doccatalog/list?currDir=50358>.

5 State Statistics Service of Ukraine. [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.ukrstat.gov.ua/>

6 IRENA (2015). REmap 2030. Perspektyvy rozvytku vidnovliuvanoi enerhetyky v Ukraini, IRENA, Abu Dhabi. URL: www.irena.org/remap.

7 Geletukha H., Zheliezna T. Status and prospects of bioenergy development in Ukraine. Industrial Heat Engineering. 2017. Vol. 2. Issue 39. P. 60-64.

ЕКОЛОГІЯ ТА ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

УДК 502.75 (477.83)

DOI: 10.31471/2415-3184-2021-1(23)-33-45

*Д. В. Кухтар, Т. Б. Качала**Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу*

ОЦІНКА РІВНЯ ОЗЕЛЕНЕННЯ УРБООКОСИСТЕМИ МІСТА ТА РОЗРОБЛЕННЯ ЗАХОДІВ ЩОДО ЙОГО ОПТИМІЗАЦІЇ НА ПРИКЛАДІ м. ІВАНО-ФРАНКІВСЬКА

Сучасний етап світового розвитку визначається стрімким зростанням міст, скупченням в них населення, транспорту, промисловості, шкідливих викидів у довкілля. Зміни клімату та означені світові тенденції, погіршують умови проживання у містах. В означеному контексті, архітектура й містобудування мають внести свій доробок у вирішення проблеми забезпечення комфортності середовища існування людини.

Формування планувальної структури міста тісно пов'язане з розбудовою комплексної зеленої зони. Сучасна розбудова міста Івано-Франківська відбувається швидкими темпами. При цьому не відводяться території для зелених насаджень, або їх площі мінімальні. Це зумовлює зниження комфортності середовища і відбивається на здоров'ї та самопочутті мешканців.

Важливою складовою планувальної структури міста є його комплексна зелена зона, від структури і форм конфігурації якої у значній мірі залежить ступінь оптимального функціонування урбоекосистеми.

Разом із сельбищною, промисловою зонами ККЗ формує певну планувальну структуру, планувальний каркас міста. Сельбищна територія є однією з найважливіших елементів міста і вона займає (залежно від господарського профілю міста) від 60 до 80% площі території. У межах сельбищної території відбувається невиробнича діяльність населення, тобто організовується побут і щоденний відпочинок.

Тому, на прикладі міста Івано-Франківська розглянута проблема озеленення і роль зелених зон у забезпеченні рекреації і оздоровлення населення, найважливіші проблеми озеленення та пов'язані з цим екологічні проблеми, вирішення яких знаходиться у площині зміни стратегічних підходів до цілеспрямованого збереження, відновлення та накопичення масиву зелених насаджень у місті.

Ключові слова озеленення, комплексна зелена зона міста, рекреаційні навантаження, оптимізація зелених насаджень.

Постановка проблеми Метою роботи є визначення рівня озеленення міста Івано-Франківська для окреслення подальших перспектив оптимізації урбоекосистеми. Предметом дослідження виступає кількісний та якісний показники озеленення територій. Для проведення дослідження об'єктом було обрано озеленені території загального користування міста Івано-Франківська.

У представленій роботі визначено питому вагу озелених територій загального користування м. Івано-Франківська, а також проаналізовано особливості паркових зон міста та оцінено рівень їхнього рекреаційного навантаження. На основі проведених досліджень запропоновано основні підходи та заходи для розвитку озелених територій міста. Заходи щодо покращення і розвитку озелених територій можуть бути використані для формування загальноміської концепції комплексного озеленення м. Івано-Франківська.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Система озелених територій та інших відкритих просторів міста у поєднанні із заміськими ландшафтами формує комплексну зелену зону, фітомеліоративні функції якої проявляються у [2]: охолодженні міського простору влітку за рахунок збільшення альbedo поверхні і транспірації; регуляція вітрового режиму і режиму вологості; асиміляції вуглекислого газу і продукування кисню; поглинання забруднюючих речовин і виділенні біологічно активних речовин; регулюванні запасів підземних вод і інтенсивності

поверхневого стоку; зниженні рівня шумових навантажень; покращенні естетичних параметрів урболандшафтів тощо.

Функціональне зонування зеленої зони, виокремлення її структурних елементів, розрахунок територій різного призначення у межах міської забудови здійснюється відповідно до нормативних документів [3]. Згідно них питома вага озелених територій різного призначення в межах забудови міст (рівень озелененості території забудови) має становити 40-50%.

У значних, найзначніших і великих містах існуючі масиви міських лісів треба перетворювати у міські лісопарки і відносити додатково до озелених території загального користування, виходячи із розрахунку не більше 5 м²/люд.

Зелені насадження нормують на одного жителя міста. Площа міських зелених насаджень загального користування залежить від розміру міста, його планувальної структури, поверховості забудови, природно- кліматичних умов. Відповідно до існуючих норм, на одного жителя міста передбачається від 10 до 15 м² загальноміського користування та 6–8 м² у житлових районах. У містах, де є підприємства I і II класу небезпеки, норми загальноміських зелених територій необхідно збільшити на 10-15%. При розташуванні міста серед лісових масивів – зменшити на 20%.

При формуванні системи озелених територій розв'язуються завдання рівномірного розміщення їх у межах сельбищних територій, ефективного озеленення виробничих зон міста.

Сьогодні, озеленення міського простору стає багатофункціональним чинником, який: на житлових територіях покращує мікрокліматичні умови; на вулицях – сприяє захисту від сонця, пилу та газу; у садах і парках – оздоровленню повітря, що фільтрується «легенями» міста через крони його дерев та кущів. Тому в сучасному місті треба зберігати існуючі зелені насадження та, по можливості, збільшувати їх територію. Ці території не можна розглядати у якості резерву для нового будівництва, скорочення ж її, у наслідок такого, будівництва треба розглядати як злочин проти людини та наступних її поколінь.

Ситуація з зеленими насадженнями в Україні відображена в Національній доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2011 році [7]. Відповідно, загальна площа зелених насаджень усіх видів в межах територій міст та інших населених пунктів України станом на 01.01.2012 р. становила понад 680 тис. га і за 2011 рік збільшилась майже на 20 тис. га (3%) порівняно з 2010 роком. Площа зелених насаджень загального користування становила 176 тис. га, що на 4 тис. га (2%) більше, ніж у 2010 році.

На одну тисячу мешканців України припадає у середньому 14,7 га зелених насаджень, що на 0,1 га більше, ніж у 2010 р., із них зелених насаджень загального користування 3,8 га, що не змінилось порівняно з 2010 р.

Лише 9,8% (2898 населених пунктів) мають програми розвитку та збереження зелених насаджень населених пунктів. В містах цей показник становив 50% (228 міст), що порівняно з 2010 роком зріс на 60%.

Згідно статистичних даних [8], загальна площа зелених насаджень та насаджень обмеженого користування в Україні протягом трьох дослідних років постійно знижувалася. Дещо зростала у 2013 році площа насаджень загального користування і спеціального призначення, але у 2014 році всі площі категорій зелених насаджень знизили свої показники порівняно до 2012 року.

Упродовж 2013 року загальна площа зелених насаджень в Україні зменшилася на 27,2 тис. га. Незмінною залишалася загальна площа зелених насаджень у 9 областях: Вінницькій, Волинській, Дніпропетровській, Житомирській, Івано-Франківській, Херсонській, Хмельницькій, Черкаській і Чернігівській. Дещо збільшилася (максимально на 2,6 тис га у Миколаївській, 1,8 тис. га у Запорізькій і 1,3 тис. га у Харківській) загальна площа зелених насаджень у 10 областях, зменшилася – у Криму (на 5,9 тис. га) і 5 областях: Львівській (на 20 тис. га), Донецькій (на 8,1 тис га), Київській (на 76,6 га), Рівненській (на 28,1 га), Сумській (на 11,4 га).

Парки культури і відпочинку в структурі зелених насаджень загального користування переважають у Чернівецькій (67,6%) і Тернопільській (52,9%) областях, вагомо представлені в структурі Івано-Франківської (33,7%), Запорізької, Рівненської і Черкаської областей (біля 20%).

Парки міські, районні, сади житлових районів переважають у структурі зелених насаджень загального користування Сумської (59,8%), Львівської, Вінницької, Івано-Франківської областей. Сквери найбільш поширені у структурі Миколаївської області (25,8%). Питома частка набережних і бульварів коливається в межах від 0 (Чернівецька) до 11,9% у Закарпатській області.

У межах цієї категорії насаджень вуличне озеленення складає від 11,9% (Луганщина) і 19,4% (Крим) до 70,4% (Київська) і 82,6-82,7% (Закарпатська і Харківська області). На частку санітарно-захисних зон припадає від 1,2% у Львівській області до понад 70% у Чернівецькій та Івано-Франківській і 67,3% у Вінницькій. До інших у цій категорії насаджень віднесено від 0,1% в Івано-Франківській і 0,3% у Черкаській до 75,2% у Львівській і 67,4% у Криму.[5]

Основою раціонального (невиснажливого) природокористування є врахування законів розвитку природи та формування безпечних умов життєдіяльності людини, живих організмів.

Місто Івано-Франківськ 9 листопада 2011 року приєдналось до „Угоди мерів” – ініціативи, учасниками якої стало понад 2100 міст та містечок Європи, серед яких близько 20 українських, що беруть на себе добровільні зобов'язання досягти до 2020 року скорочення локальних викидів парникових газів щонайменше на 20%, підвищувати енергоефективність та нарощувати використання відновлювальних джерел енергії на своїх територіях.

Виконання цих зобов'язань сприятиме розвитку екологічно-орієнтованої економіки та підвищенню якості життя. Участь в „Угоді мерів” надає додаткові можливості щодо залучення міста до основних дослідницьких та фінансових програм ЄС.

Екологічна політика міста Івано-Франківська формується, виходячи із прав людини на екологічно безпечне для життя і здоров'я навколишнє природне середовище, гарантованих Конституцією України, Законами України „Про охорону навколишнього природного середовища”, „Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року”.

Існування зелених зон міст та населених пунктів як багатофункціональних об'єктів потребує комплексного підходу до вивчення територій, насаджень, визначення надійних індикаторів їхнього стану, моніторинг та аналіз яких створює можливість виявити тренди використання та обґрунтовано підійти до опрацювання стратегій оптимального використання та розвитку територій [4].

Питання планування, дизайну та використання зелених зон населених пунктів досліджені у багатьох публікаціях. В країнах Європейської спільноти реалізуються численні проекти стосовно оптимізації їхнього стану. Вони є складовими програм, що націлені на комплексне вирішення проблем розвитку урбанізованих територій і поліпшення життя міських мешканців. У низці публікацій розглянуто критерії оцінки екологічних, соціальних, економічних і планувальних заходів, які спрямовані на вдосконалення наявних та альтернативних стратегій розвитку зелених зон урбанізованих територій [4].

У другій половині ХХ століття в літературі з'явився термін «комплексна зелена зона міста» (КЗЗМ). Комплексна зелена зона міста (КЗЗМ) – єдина система озелених, обводнених, вкритих рослинним покривом територій міста і приміської зони, яка формує єдину систему взаємопов'язаних елементів ландшафту міста (містечка, групи міських населених місць) і прилеглому району, що забезпечує комплексне вирішення питань озеленення й обводнення території, охорони природи і рекреації і спрямована на поліпшення праці, побуту і відпочинку трудящих.

Як синонім до поняття КЗЗМ вживають вислів «зелений пояс міста». Однак цей термін у наукових публікаціях та нормативно-правових документах не зустрічається. Його використовують, переважно, у публікаціях популярного та науково-популярного характеру.

Аналіз опублікованих матеріалів дає змогу зробити висновки, що у більшості робіт увага приділена ландшафтно-архітектурному підходу до організації та планування міських зелених насаджень; біогенній складовій зелених зон, вивчався її вплив на здоров'я, самопочуття та психоемоційний стан людини; питання забруднення зелених територій.

Зелені зони відіграють важливу роль і є буфером між урбанокомплексами і природними екосистемами. Тому їм приділяється підвищена увага. З одного боку вони нерідко є місцями звалища сміття, підвищеного рекреаційного навантаження і страждають від самовільних рубок, пожеж, випасу. Разом з ним, в них часто фіксуються знахідки рідкісних рослин і тварин. Це пояснюється зниженою конкурентною здатністю рідкісних видів.

Як зазначено у «Порядку спеціального використання лісових ресурсів» (2007 р.) [1], виділення лісових ділянок для культурно-оздоровчих, рекреаційних, спортивних, туристичних і освітньо-виховних цілей здійснюється з урахуванням схем районного планування, генеральних планів розвитку населених пунктів, програм розвитку лісового господарства а також матеріалів лісовпорядкування.

У разі відсутності зазначених схем, планів і програм або інших матеріалів пропозиції щодо виділення лісових ділянок для культурно-оздоровчих, рекреаційних, спортивних, туристичних і освітньо-виховних цілей можуть вносити зацікавлені підприємства, установи, організації і громадяни.

На основі функціонального зонування лісів і визначення рівня рекреаційного навантаження приймається рішення щодо рекреаційної придатності конкретної території, вибору місць розміщення рекреаційних об'єктів, здійснення прогнозування можливої деградації лісових екосистем, планування господарських і природоохоронних заходів, спрямованих на усунення або запобігання негативного впливу надмірного рекреаційного навантаження [7].

Зазначені пропозиції з додатком переліку лісових кварталів, що проєктуються до виділення в зелені зони, розглядаються місцевими органами влади. Їх рішення разом із всіма необхідними матеріалами передається через місцеві органи управління лісового господарства до Держкомлісгоспу України. У свою чергу Держкомлісгосп України пропонує відповідні рішення до затвердження КМ України.

Територіальна організація зелених зон міст передбачає: виділення місць відпочинку населення; виділення особливо охоронних ділянок, «зон спокою» для тварин, що забезпечують підтримку нормального функціонування лісових екосистем; розміщення зон розвитку лісгосподарської діяльності. Згідно з зазначеними нормативами площа лісів зеленої зони м. Івано-Франківськ має становити близько 15000-20000 га.

Методи та матеріали. Важливим фактором, що визначає специфічні особливості озеленення населеного пункту і впливає на кількісну сторону цього питання, є місцезнаходження населеного пункту: біля великих водойм, лісових масивів, на безлісних і пустельних територіях і т.д. Систему насаджень і розміри територій, що озеленюються, у містах і селищах визначають з урахуванням специфіки їхнього місцезнаходження і народногосподарського профілю. Оптимальна кількість зелених насаджень у населеному пункті, співвідношення цих насаджень у загальному балансі територій і їх раціональне розміщення визначаються нормами і прийомами проєктування. Норми проєктування виражаються в абсолютних і відносних одиницях. Число зелених насаджень на одного міського жителя в метрах квадратних показує забезпеченість міста зеленими насадженнями. Площа зелених насаджень у місті, районі, мікрорайоні, що обчислюється у відсотках до загальної площі забудови міста, району, мікрорайону, показує рівень озеленення території.

Для розрахунку питомої ваги озеленених територій спершу розрахуємо площу м. Івано-Франківська без врахування площ п'яти сіл, що входять до складу Івано-Франківської міськради.

Таблиця 1

Площа територій Івано-Франківської міськради

№	Назва	Площа, км кв.
Івано-Франківська міськрада		83,73
1	Івано-Франківськ	51,56
2	с. Вовчинець	7,89
3	с. Крихівці	6,70
4	с. Микитинці	1,27
5	с. Угорники	6,73
6	с. Хриплин	9,58

Враховуючи дані розрахунків площі м. Івано-Франківська (51,56 км²=5156 га) і площі озеленених територій (46,5487 га), питома вага озеленених територій м. Івано-Франківська становить близько 1%. Що свідчить про надзвичайно малу частку озеленених територій загального користування.

Згідно з нормами рівень озеленення сельбищної території міста має складати 50%, території житлового району – 55-58, території мікрорайону – 65-70%. Рівень озеленення території є основою для визначення нормативних показників озеленення міської забудови.

Система озеленення сучасного міста включає до свого складу комплекс міських і приміських насаджень. Ті й інші підрозділяються за функціональною ознакою на насадження загального, обмеженого користування і спеціального призначення. Загальний норматив витрат міської території на зелені насадження визначають, виходячи з площ озеленення загального

користування, тобто скверів, садів, бульварів, парків. Саме ці території створюють основу системи озеленення міста.

Структура системи зелених насаджень великого міста і норми озеленення на 1 жителя залежать від природно – кліматичних умов, рельєфу сельбищної території та ін.

Поряд з питомими нормативами також встановлені мінімально допустимі площі об'єктів озеленення: загальноміських парків – 15 га, спеціалізованих парків -10 га, садів житлових районів – 3 га; скверів-0.5 га. Площу загальноселищного саду приймають не менше 2 га. У загальному балансі території парків, садів, скверів площа озеленення повинна складати не менше 70%.

Парки, сади, сквери і бульвари належить до категорії озелених територій загального користування. За містобудівними і функціональними ознаками парки поділяють на дві основні групи: багатофункціональні і спеціалізовані. Якщо формування багатофункціональних парків до яких відносять загальноміські парки масового відпочинку, вже відбулося, то на сьогодні відбувається процес формування спеціалізованих парків: спортивних, дитячих, меморіальних, виставкових, активного відпочинку і розваг тощо. Багатофункціональні парки покликані забезпечити якнайкращі умови для розвитку багатьох видів відпочинку й оздоровлення, проведення масових заходів [2].

Мінімальні розміри поліфункціональних парків залежать від функціонального призначення, розміщення в структурі міста, архітектурно-планувальної організації і норм площі на одного відвідувача (табл. 2). При проектуванні і оптимізації парків враховуються їх функції, наявність об'єктів культурного обслуговування, традиції населення, природнокліматичні і ландшафтні умови, особливості занять населення міста або району.

Таблиця 2

Визначення розмірів парків

Типи парків	Площа на відвідувача, м ²	Мінімальна площа, га	Розміщення об'єкту	Середній радіус доступності, км	Час доступності, хв.
Загальноміські парки культури і відпочинку	50-60	15-20	у сельбищній зоні	5,0	20 транспортом
Районні парки	40-50	10	у межах планувального, адміністративного району	2,0	10 суспільним транспортом
Спеціалізовані парки	50-80	3	у сельбищній зоні	не нормується	в межах 30 транспортом
Сади житлових районів	40	3	у сельбищній зоні	1,5	15 -20 для пішоходів
Спеціалізовані сади	30-40	1	у сельбищній зоні	не нормується	-
Сквери	-	0,5	у міській забудові	не нормується	-
Бульвари	-	ширина не менше 18 м	на головних вулицях і набережних	не нормується	-

Баланс території парків визначається залежно від їх функціонального типу. Співвідношення функціональних зон у загальноміських і районних парках приймається, як правило, в таких межах: зона культурно-масових заходів 5-30% при нормі площі 30-40 м² на одного відвідувача з урахуванням частки відвідувачів близько 15%; зона тихого відпочинку – 15-75% (200 м², 30%); зона культурно-видовищних установ – 3 -35% (10-20 м², 25%); зона відпочинку дітей – 5 – 10% (80-100 м², 9-10%); оздоровча зона – 0,5-25% (75-100м², 20%); господарська зона – 0,5-1,5%.

Важливим атрибутом підтримання функціональних зон парків є регулювання антропогенних навантажень. У парках залежно від їх площі передбачаються зони з різним рівнем рекреаційного навантаження (табл. 3).

З огляду на постійне зростання населення міст, а отже, й об'ємів рекреації, виникає потреба вирішення питань, пов'язаних з уточненням природно-ресурсної бази рекреаційного використання паркових комплексів та можливість задоволення потреб населення у відпочинку, оздоровленні й туризмі. Для того, щоб визначити рекреаційний потенціал озелених територій, потрібно встановити площі ділянок, придатних для організації на них рекреаційної діяльності та відповідні їм рекреаційні навантаження, а також величину рекреаційної місткості цих територій.

Таблиця 3

Рівень рекреаційного навантаження

Площа парку, га	Паркові зони		
	Концентрації паркових споруд з навантаженням 100 ос./га	Масових відвідин з навантаженням 50 – 100 ос./га	Природна зона з навантаженням до 50 ос./га
Малі парки, до 30	Не більше 25	30-60	Не менше 25
Середні 30 – 100	20	30-50	40
Великі, 100-300	15	25-40	50
Крупні, більше 300	10	20-30	70

Показники величини рекреаційного навантаження дають змогу оцінювати ступінь рекреаційного використання окремих територій і є одними з найважливіших критеріїв для здійснення функціонального зонування, визначення обсягів рекреаційного благоустрою та багато інших заходів з метою забезпечення раціонального рекреаційного використання. Відповідно до показників рекреаційних навантажень, можна визначити показник рекреаційної місткості лісопаркових ландшафтів, що характеризує рекреаційний потенціал дослідної території [9].

Під поняттям "рекреаційне навантаження" розуміють середню кількість годин щоденного перебування рекреантів на 1 га території протягом комфортного періоду (періоду із середньодобовою температурою вище ніж 5°C). Для більш зручного практичного застосування цього показника прийнято середню кількість годин відпочинку ділити на 8, таким чином одержуємо одиницю виміру рекреаційного навантаження у вигляді людей за день на 1 га (люд./дн./га)

Рекреаційне навантаження можна визначити як шляхом натурного обліку терміну перебування рекреантів на пробних площах, так і розрахунковим шляхом для всієї території рекреаційних об'єктів, зважаючи на кількість населення, яке відпочиває на цій території.

З метою визначення середнього показника рекреаційного навантаження загалом для всіх територій, використано спосіб, що передбачає використання відомостей про рекреаційну активність населення в межах досліджуваної території. Рекреаційна активність полягає у кількості годин, яку проводить одна людина в парку протягом року. Вона залежить від населення міста і визначено її за формулою А.І. Тарасова [9]:

$$a = 1,1 \cdot p^{0,3}, \quad (1)$$

де: a – рекреаційна активність жителя міста, год; P – кількість населення міста, осіб.

Згідно зі статистичними даними станом на 01.01.2016 р., населення Івано-Франківська становить 230,9 тис. осіб, звідси рекреаційна активність становить:

$$a = 1,1 \cdot 230900^{0,3} = 45 \text{ год}. \quad (2)$$

Цей показник зменшуємо на 10%, тобто на ту величину, яка припадає на зимовий період. Отже, рекреаційна активність одного мешканця Івано-Франківська становить 40 год. Далі знайдено величину рекреаційного навантаження на 1 га, що створюють жителі цього міста за формулою [9]

$$n = \frac{a \cdot P}{t_d \cdot D \cdot S}, \quad (3)$$

де: n – середнє рекреаційне навантаження на паркові зони, люд./дн./га; a – рекреаційна активність одного жителя міста за комфортний період, год; P – 30% населення міста, осіб; t_d – тривалість умовного облікового дня, год; D – тривалість комфортного періоду (для наших умов 210 днів), днів; S – загальна площа парків та скверів, придатних для рекреаційного використання, га.

Користуючись матеріалами визначення площ територій парків і скверів м. Івано-Франківська, яка становить 46,5487 га. За формулою (3) обчислено існуюче середнє рекреаційне

навантаження на 1 га парків Івано-Франківська: $n=35,43$ люд./дн./га. Визначений за цим методом показник рекреаційного навантаження має досить вагоме значення, завдяки якому можна краще організувати процес рекреаційного використання, а також визначити очікувані навантаження через приріст населення міста.

З метою здійснення загальної оцінки рекреаційного потенціалу парків Івано-Франківська, здійснено обчислення існуючої, оптимальної та гранично допустимої рекреаційної місткості парків. Рекреаційна місткість означає сукупне рекреаційне навантаження всіх ділянок досліджуваної території, що призводить їх до певної стадії рекреаційної дигресії. Існуючу рекреаційну місткість (E_{ϕ}) розраховано шляхом множення середнього рекреаційного навантаження на 1 га на площу територій, придатних для рекреації: $E_{\phi}=35,43 \cdot 46,5487=1649,22$ люд./дн.

Розрахунок оптимальної та граничної місткості виконано за формулою

$$E = \sum_{i=1}^k n_i^{\max} \cdot S_i, \quad (4)$$

де: E – екологічно допустима (оптимальна чи гранична) рекреаційна місткість, люд./дн.; n^{\max} – оптимальне чи граничне рекреаційне навантаження, що призводить природні комплекси до 2 чи 3 стадії дигресії, люд./дн./га; S_i – площа i -ї ділянки певного класу стійкості, га.

Використовуючи дані розподілу площі та верхні границі нормативних (за Р. Р. Возняком) рекреаційних навантажень відповідно для 2 та 3 стадії дигресії, за формулою (4) обчислено оптимальну (E_{opt}) та граничну (E_{gp}) рекреаційну місткість парків: $E_{opt}=146,6$ люд./дн.; $E_{gp}= 440,4$ люд./дн.

З наведених розрахунків видно, що існуюча фактична рекреаційна місткість парків у 4 разів менша за граничну місткість. Результати розрахунків свідчать про катастрофічно низький природно-рекреаційний потенціал паркових ландшафтів Івано-Франківська.

Пошук озелених територій загального користування на території міста відбувався наступним чином. Враховуючи технічні вимоги до точності створення топокарт і планів, космічні знімки Quick Bird з найвищою роздільністю 0,61 м вже в наш час можна використовувати для оновлення планової частини навіть основних топографічних карт і планів масштабів до 1:5 000 включно у рівнинній та 1:10 000 – у горбистій та гірській місцевостях.

Щодо спеціальних вишукувальних планів, то навіть загальнодоступні матеріали космознімання можуть використовуватись як растрова основа для векторизації під час створення цифрових планів масштабів навіть 1:5 000. І більше, кольорові супутникові знімки GEOEye-1 з роздільною здатністю 0,5 м і монохромні супутникові стереопари Cartosat з роздільною здатністю 2,5 м за умови виконання планово-висотної прив'язки дають змогу створювати в середовищі OpenSceneGraph/Avango навіть 3D-реалістичні цифрові моделі [7].

Платформа OpenSceneGraph/Avango є безоплатним програмним забезпеченням з відкритим вихідним кодом, призначеним для розроблення додатків “віртуальної реальності” з режимом стереовізуалізації. Одержані матеріали істотно виграють, навіть у наочності, порівняно зі спеціально виконаним наземним кольоровим відеозніманням.

Ще доступнішою й економічнішою є технологія створення таких матеріалів з використанням загальнодоступної інтернет-версії у середовищі Google Earth. На відміну від аналогічних сервісів, які показують супутникові знімки в звичайному браузері (наприклад, Google Maps), у цьому сервісі використовується спеціальна клієнтська програма Google Earth. З 2005 р. ця програма, яка є власністю компанії Google, загальнодоступна. Проте є можливість придбати платні версії Google Earth Plus і Google Earth Pro, з підвищеною роздільною здатністю роздруківок (для прикладу, в безкоштовній версії 1000 пікселів, у Pro версії – 4800 пікселів), наявністю потужних засобів презентацій, підтримкою GPS-навігації. Для візуалізації зображення використовують тривимірну модель всієї земної кулі (в абсолютних висотах).

Практично вся поверхня суші покрита зображеннями з роздільною здатністю 15 м на піксел. Великі міста світу, всі міста Європи покриті зображеннями з роздільною здатністю від 0,15 м/піксел до 0,6 м на піксел. Більшість міст США – з роздільною здатністю 0,15 м/піксел. Все це зумовлює широке використання загальнодоступних безкоштовних інтернет-ресурсів, зокрема і для визначення площ.

Для наших досліджень, точність яку забезпечує версія Pro цілком достатньо. Визначення площ парків і скверів виконувалось так за допомогою курсору відзначаємо межі території парку. При цьому в діалоговому вікні автоматично розраховуються величини периметру і площі

виділеного полігону. Відзначена на растровому зображенні інформація зберігається для кожного об'єкту. За вказаним алгоритмом виконуємо розрахунок площ усіх скверів та парків міста Івано-Франківська.

Визначення меж комплексної зеленої зони м. Івано-Франківська. Зелена зона міста являє собою територію за його межами, яка зайнята лісами, іншими зеленими насадженнями, незалежно від того, в чиєму віданні вони знаходяться. Зовнішня межа зеленої зони встановлюється потребою даного міста чи промислового центру в площі зелених насаджень. Вона співпадає з границею приміської зони. В залежності від категорії населеного пункту радіус зеленої зони може бути від 10 до 30 км. Наприклад місто Київ має зелену зону радіусом 50 км; Чернівці – 20 км; Львів – 30 км.

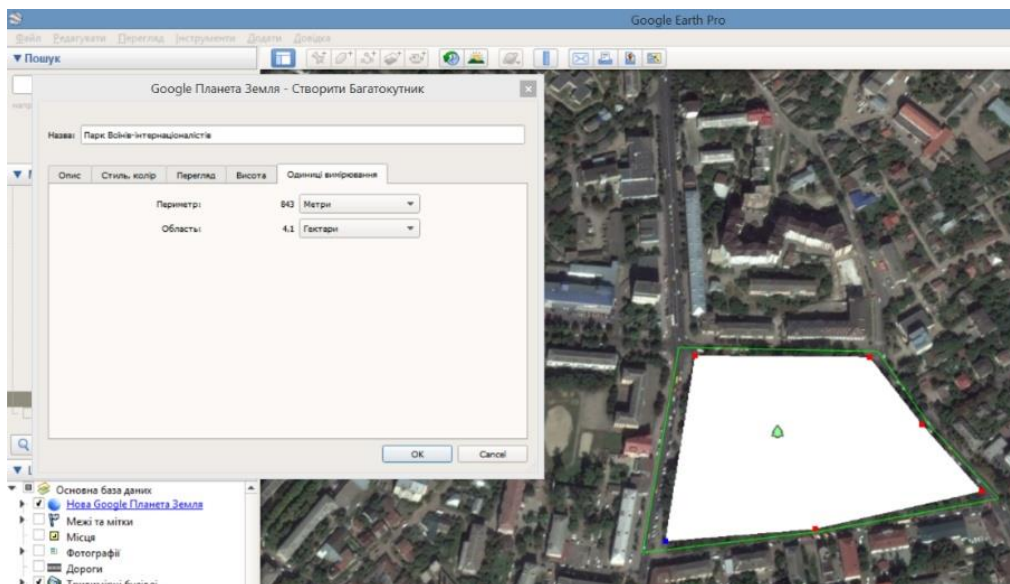


Рис. 1. Маркування меж багатокутника

Якщо для м. Івано-Франківська радіус зеленої зони взяти за 20 км, то в межах цього умовного кола (рис. 2) зосереджено близько 15 тис. гектарів лісів. Вказаний радіус комплексної зеленої зони забезпечить потреби населення міста у лісо-рекреаційних ресурсах.

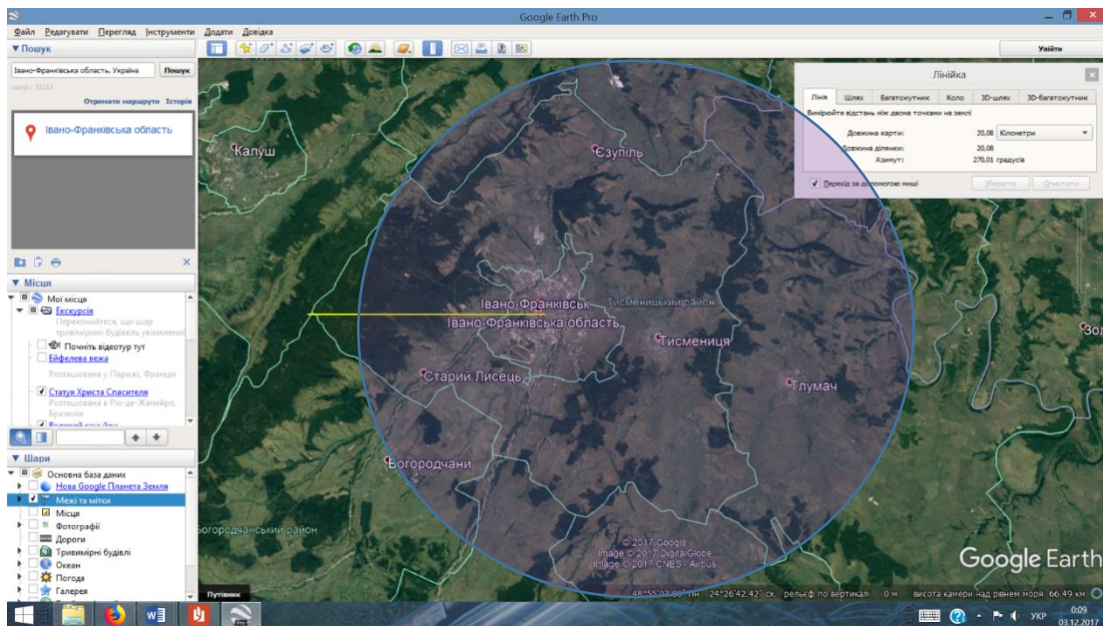


Рис. 2. Радіус комплексної зеленої зони Івано-Франківська

Ліси зеленої зони, котрі розташовані на відстані, яку протягом години можна подолати громадським транспортом, використовуються жителями міста для масового відпочинку. Ліси, що знаходяться ближче до міста, часто використовуються для прогулянок окремих громадян, шкільних екскурсій тощо. В приміських лісах населення міст збирає гриби, ягоди, в них

прокладені туристські маршрути. Разом з тим різноманітні корисні функції приміських лісів не скрізь використовуються у рівній мірі. Якщо лісові насадження, що знаходяться поблизу міста, використовуються інтенсивніше – вони складають так званий лісопарковий захисний пояс, являючись місцем масового відпочинку в позаміських умовах.

Результати та обговорення. Основною метою концепції є охорона, збереження та відтворення існуючих зелених насаджень, їх гармонійне поєднання з урболандшафтом м. Івано-Франківська, утримання у здоровому впорядкованому стані, створення та формування високодекоративних, стійких до несприятливих умов навколишнього природного середовища насаджень, що забезпечить збалансований розвиток міської зеленої зони та виконання нею екологічних, соціально-економічних та урбаністично-планувальних функцій.

В основу Концепції покладено наступні принципи:

- аналіз існуючого озеленення, його особливостей та облік насаджень;
- поєднання безперервного каркасу природних (природоохоронних) територій та системи озелених штучностворених ландшафтів;
- реалізація сукупної різноманітності функцій озелених територій – рекреаційних, історико-культурних, екологічних (природоохоронних, формувальних, захисних);
- диференційований підхід до видів і режимів озеленення територій із врахуванням містобудівних умов;
- досягнення соціально гарантованого мінімуму забезпечення населення місцями відпочинку як за площею озелених територій, так і за їх доступністю;
- перехід від кількісних показників до сталого підвищення якості ландшафтної організації озелених територій.

Завдання концепції:

- Забезпечення оптимального озеленення міста при досягненні максимальної економії бюджетних коштів.
- Створення системи зелених насаджень у структурі елементів природного комплексу міста: парки, сквери, рекреаційні зони, бульвари, озеленення вздовж доріг (вулиць) та у житлових мікрорайонах.
- Досягнення рівня збалансованості в системі природно-економічного розвитку.
- Збереження та систематичне відтворення біологічного і ландшафтного різноманіття.
- Формування безперервної зеленої стільникової системи міста як невід’ємної складової єдиної регіональної екологічної мережі.
- Збереження, розвиток, візуальне розкриття природно-ландшафтного каркасу, що формується системою міських зелених насаджень, долинами річок Бистриця Солотвинська і Бистриця Надвірнянська та акваторією міського ставу.
- Покращення зовнішньої привабливості вулиць та місць загального користування.
- Зниження рівня атмосферного та шумового забруднення.
- Сприяння розвитку регульованої рекреації.
- Раціональне використання видалених зелених насаджень з метою подальшого їх застосування для потреб територіальної громади (малі ландшафтні форми, дитячі майданчики тощо).

Шляхи реалізації концепції:

- Врахування екологічних факторів (біотичних, абіотичних, антропогенних) при озелененні об’єктів благоустрою міста.
- Покращення екологічних та екоосвітніх функцій зелених зон міста шляхом проведення робіт з інвентаризації і паспортизації об’єктів зеленого господарства.
- Формування нових ядер в екологічній мережі міста шляхом збагачення видового різноманіття існуючих екосистем.
- Врахування функціонального стану, темпів та напрямків розвитку екосистеми міста.
- Впровадження нових технологій озеленення.
- Проведення реконструкції існуючих зелених насаджень міста на основі функціонального зонування території.
- Формування повноцінного життєвого середовища із врахуванням фактору візуального забруднення.
- Покращення санітарно-гігієнічного стану міста, створення безпечних умов для життя та здоров’я містян.

- Використання об'єктів зеленого господарства відповідно до функціонального призначення з метою забезпечення сприятливих умов життєдіяльності населення міста.
- Оптимізація структури міських зелених насаджень.
- Пропагування в дитячих дошкільних закладах, серед учнівських, студентських колективів, населення міста важливості збереження та збільшення площ зелених насаджень, а також їх впливу на екологічну ситуацію Івано-Франківська та на здоров'я його мешканців.
- Залучення молоді до проведення заходів з озеленення міста.

Концептуальне підґрунтя системи озеленення міста

Сучасний Івано-Франківськ – місто з унікальним природним ландшафтом у межиріччі Бистриці Солотвинської та Бистриці Надвірнянської, що включає комплекс еколого-економічних, географічних, архітектурно-будівельних, культурно-побутових особливостей.

Із врахуванням цієї особливості та з огляду на соціальну діяльність, зелені насадження розглядаються як елемент архітектурно-просторової композиції забудови та благоустрою.

Насадження загального, обмеженого користування та спеціального призначення разом складають і в цілому характеризують систему озеленення Івано-Франківська, в якій кожен елемент виконує свої функції. Ступінь озеленення є важливим індикатором спроможності відповідної урбаністичної території до комфортного проживання населення.

Формування системи озеленення в Івано-Франківську повинно враховувати властивість насаджень до спроможності змінювати забарвлення в часі і просторі та ефективно застосовувати це для естетичного впливу на населення міста.

При організації заходів з озеленення житлові території м. Івано-Франківська необхідно розділити на наступні види: проєктовані, в яких можливе планування повної системи заходів з озеленення та благоустрою, що відповідають нормативним вимогам; реконструйовані або збережувані, в яких є або немає можливостей привести площі озеленення у відповідність з нормативними показниками.

Міські зелені насадження є засобом індивідуалізації районів і мікрорайонів міста. З їх допомогою долається монотонність міської забудови, викликана індустріальними методами будівництва і застосуванням типових проєктів. Зелені насадження дозволяють привести у відповідність масштаб людини і забудови, який порушується при багатопверховому будівництві і зробити місто більш затишним.

Планувальні функції зелених насаджень полягають в організації міських територій. Навіть невеликі ділянки зелених насаджень, відіграють величезну планувальну роль, організовуючи рух і підкреслюючи найбільш відповідальні елементи архітектури. Висаджені біля житлових будинків зелені насадження є основою функціонального поділу житлових територій, ізолюючи їх від проїздів і транспортних магістралей, обмежуючи дитячі майданчики та майданчики для відпочинку від господарських майданчиків і т. д.

Велике значення мають зелені насадження й у вирішенні проблеми організації відпочинку населення. Забарвлення листя, менш висока температура в спекотні дні, наявність у повітрі фітонцидів, бальзамічних та інших речовин, що виділяються рослинами, слабка запиленість повітря і підвищений вміст у ньому кисню здійснюють сприятливу фізіологічну дію на нервову систему людини, знімаючи напругу, викликану ритмом міського життя, зміцнюючи здоров'я людини та підвищуючи її працездатність.

Зелені насадження загального користування є найбільш важливим показником ступеня озеленення нашого міста. Добре озеленим можна вважати місто, в якому на 1 мешканця припадає 20-30 м² і більше зелених насаджень загального користування.

Розвиток і трансформація мережі озелених територій, як місць масового відпочинку, базується на аналізі потреби в територіях даного виду, оцінці ландшафтних і планувальних умов міста.

Основними шляхами вирішення питань розвитку та збереження зелених насаджень загального користування є:

- створення нових парків, скверів, бульварів у місцях нового житлового будівництва;
- формувальна, омолоджувальна обрізка та санітарна прочистка дерев та кущів;
- поступова заміна насаджень, які досягли вікової межі на знакові дерева та чагарники для досягнення ландшафтної індивідуальності;
- активне впровадження квіткового оформлення паркових територій;

- оновлення якісного стану і збільшення асортименту зелених насаджень при здійсненні реконструкції і ремонтів об'єктів зеленого господарства;
- своєчасне виконання комплексних агротехнічних заходів з утримання зелених насаджень, їх захисту від хвороб і шкідників, кореневого і позакореневого підживлення добривами;
- залучення громадських і партійних організацій до участі в заходах з озеленення міських територій.

Прогнозовані результати концепції: загальне покращення санітарно-епідеміологічного благополуччя населення; збільшення площ зелених зон та розширення їх рекреаційних можливостей; забезпечення населення якісними озеленими територіями; підвищення нормативних показників озеленення міської території; зниження впливу шкідливих екологічних факторів на зелені насадження міста; розширення мережі об'єктів природно-заповідного фонду міста; покращення екологічних, естетичних та інших корисних властивостей зелених насаджень; збереження біологічного та ландшафтного різноманіття; захист територій зелених насаджень від нецільового використання.

Висновки. Стаття зосереджує увагу на найбільш серйозні проблеми у сфері використання територій. Серед них, на рівні окремо взятих міст, є пряме нехтування нормами забудови території, ігнорування визначеного у генеральних схемах та планах статусу територій, видів їхнього використання, нецільове використання територій, стихійна забудова рекреаційних та природоохоронних зон, ігнорування містобудівних норм.

Зелені насадження загального користування є найбільш важливим показником ступеня озеленення міста. Тому було виконано розрахунок площ усіх скверів та парків в межах міста Івано-Франківська. Встановлено, що загальна площа 27-ми парків і скверів становить 46,5 га. Це в 4,5 рази менше за норму для міста з населенням близько 250 тис. чол.

Враховуючи дані розрахунків площі території м. Івано-Франківська (5156 га) і площі парків та скверів (46,5 га), питома вага озелених територій загального користування м. Івано-Франківська становить близько 1%.

Встановлено, що важливим фактором, який визначає специфічні особливості озеленення населеного пункту і впливає на кількісну сторону цього питання, є місцезнаходження населеного пункту: біля великих водойм, лісових масивів, на безлісних і пустельних територіях і т.д. Івано-Франківськ – місто з унікальним природним ландшафтом у межиріччі Бистриці Солотвинської та Бистриці Надвірнянської. Та не зважаючи на це, частка озелених територій загального користування є надзвичайно малою.

Розраховано показник рекреаційного навантаження на 1 га парків Івано-Франківська: $n=35,43$ люд./дн./га. На основі проведених розрахунків бачимо, що існуюча фактична рекреаційна місткість парків у 4 рази менша за граничну місткість. Зелена зона міста являє собою територію за його межами, яка зайнята лісами, іншими зеленими насадженнями. Зовнішня межа зеленої зони встановлюється потребою даного міста чи промислового центру в площі зелених насаджень. Вона співпадає з границею приміської зони. Якщо для м. Івано-Франківська радіус зеленої зони прийняти 20 км, то в межах цього умовного кола зосереджено близько 15 тис. гектарів лісів. Вказаний радіус комплексної зеленої зони забезпечить потреби населення міста у лісо-рекреаційних ресурсах.

Доведено необхідність збільшення площ зелених насаджень, зокрема лісів, особливо у північному та північно-західному напрямках, які є переважаючими напрямками перенесення трансрегіональних забруднюючих речовин.

Водночас необхідно розширювати, а не зменшувати площі зелених насаджень у найбільш загазованій частині міста за рахунок озеленення і ландшафтного дизайну вулиць, місць паркування транспорту, прибудинкових територій, житлових і адміністративних будівель. Важливим кроком збереження озеленення є запровадження на території Івано-Франківська мережі відповідно облаштованих екопарковок на газонах. Екологічні парковки – реальна можливість, в першу чергу, зберегти естетичний вигляд дворів житлових будинків, де кількість транспорту неухильно зростає.

Література

1 Ільченко Д. М. Фактори, що визначають вибір порушеної території для її функціонального використання при формуванні комплексної зеленої зони / Д. М. Ільченко // Містобудування та територіальне планування. – 2010. – Вип. 38. – С. 161-168.

2 Царик Л. П. До проблем озеленення і ролі паркових комплексів у функціонуванні урбоекосистеми Тернополя / Л. П. Царик, І. Б. Позняк // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія : Географія. – 2016. – №1. – С. 263-270.

3 Назарук М. Зелені зони малих та середніх міст Львівської області: сучасний стан та проблеми функціонування / М. Назарук, Ю. Жук // Фізична географія та геоморфологія. – 2013. – Вип. 1. – С. 54-62.

4 Зібцева О. В. Динаміка площ зелених насаджень у населених пунктах України / О. В. Зібцева // Наукові доповіді НУБіП України. – 2017. – №4(68). – С.143-149.

5 Бурак О. М. Проблеми і перспективи розвитку сфери озеленення в Україні / О. М. Бурак. – [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: www.ej.kherson.ua/journal/economic_09/141.pdf

6 Федонюк В. В. Досвід використання програми Google Earth у викладанні географічних дисциплін / В. В. Федонюк, М. А. Федонюк, С.Г. Панькевич // Інформаційні технології і засоби навчання. – 2013. – Том 38, №6. – С. 138-146

7 Перович Л. М. До питань публічної кадастрової карти / Л. Перович, І. Перович, О. Пашко // XVIII Міжнародний науково-технічний симпозіум “Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GNSS- і GPS-технології”. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. – С. 46–49.

8 Бурак К. О. Дослідження можливостей використання матеріалів космознімання для визначення площ / К. Бурак, Л. Дорош // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2015. – випуск II (30). – С. 69-74

9 Кутя М. М. Характеристика рекреаційних навантажень та рекреаційної місткості лісопаркових ландшафтів Києва / М. М. Кутя, О. А. Гірс // Науковий вісник НЛТУ України. – 2012. – Вип. 22.12. – С. 86-90.

D. Kukhtar, T. Kachala

*Ivano-Frankivsk National Technical
University of Oil and Gas*

ASSESSMENT OF GREENING THE URBAN ECOSYSTEM OF THE CITY AND DEVELOPMENT OF MEASURES FOR ITS OPTIMIZATION BASED ON THE EXAMPLE OF IVANO-FRANKIVSK

The current stage of world development is determined by the rapid growth of cities, the accumulation of population, transport, industries, harmful emissions into the environment. Climate change and the above-mentioned global trends are worsening living conditions in cities. In this context, architecture and urban planning should contribute to solving the problem of ensuring the comfort of human habitat.

The development of city's planning structure is closely connected with the development of a comprehensive green zone. The modern development of the city of Ivano-Frankivsk is happening at a rapid pace. At the same time territories for green plantings are not provided, or their areas are minimum. This reduces the comfort of the environment and affects the health and well-being of residents.

An important component of the planning structure of the city is its complex green zone, the structure and forms of configuration of which largely depend on the degree of optimal functioning of the urban ecosystem.

Together with the residential and industrial zones, the green zone forms a certain planning structure, the planning framework of the city. The residential territory is one of the most important elements of the city and it occupies (depending on the economic profile of the city) from 60 to 80% of its territory. Within the residential territory there is a non-productive activity of the population, i.e. life and daily rest are organized.

Therefore, based on the example of the city of Ivano-Frankivsk, the authors considered the problem of landscaping and the role of green areas in ensuring recreation and health of the population, the most important problems of landscaping and related environmental problems, the solution of which is in the plane of changing strategic approaches to targeted conservation, restoration and accumulation greenery in the city.

Keywords: landscaping, complex green zone of the city, recreational loads, optimization of green plantings

References

- 1 Ilchenko D. M. Faktory, shcho vyznachaiut vybir porushenoj terytorii dlia yij funktsionalnogo vykorystannia pry formuvanni kompleksnoj zelenoi zony / D. M. Ilchenko // Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia. – 2010. – Vyp. 38. – S. 161-168.
- 2 Tsaryk L. P. Do problem ozelenennia i roli parkovykh kompleksiv u funktsionuvanni urboekosystemy Ternopolia / L. P. Tsaryk, I. B. Pozniak // Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnogo pedahohichnogo universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka. Serii : Heohrafiia. – 2016. - № 1. – S. 263-270.
- 3 Nazaruk M. Zeleni zony malykh ta serednykh mist Lvivskoi oblasti: suchasnyi stan ta problemy funktsionuvannia / M. Nazaruk, Yu. Zhuk // Fizychna heohrafiia ta heomorfolohiia. – 2013. – Vyp. 1. – S. 54-62.
- 4 Zibtseva O. V. Dynamika ploshch zelenykh nasadzhen u naselenykh punktakh Ukrainy / O. V. Zibtseva // Naukovi dopovidi NUBiP Ukrainy. – 2017. – №4(68). – S.143-149.
- 5 Burak O. M. Problemy i perspektyvy rozvytku sfery ozelenennia v Ukraini / O. M. Burak. – [Elektron. resurs]. – Rezhym dostupu: www.ej.kherson.ua/journal/economic_09/141.pdf
- 6 Fedoniuk V. V. Dosvid vykorystannia prohramy Google Earth u vykladanni heohrafichnykh dystsyplin / V. V. Fedoniuk, M. A. Fedoniuk, S.H. Pankevych // Informatsiini tekhnolohii i zasoby navchannia. – 2013. – Tom 38, №6. – S. 138-146
- 7 Perovych L. M. Do pytan publichnoi kadaastrovoi karty / L. Perovych, I. Perovych, O. Pashko // XVIII Mizhnarodnyi naukovo-tekhnichnyi sympozium “Heoinformatsiyni monitorynh navkolyshnoho seredovyscha: GNSS- i GPS-tekhnlolohii”. – Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki, 2013. – S. 46–49.
- 8 Burak K. O. Doslidzhennia mozhyvostei vykorystannia materialiv kosmoznimannia dlia vyznachennia ploshch / K. Burak, L. Dorosh // Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva. – 2015. – vypusk II (30). – S. 69-74
- 9 Kutia M. M. Kharakterystyka rekreatsinykh navantazhen ta rekreatsinoi mistkosti lisoparkovykh landshaftiv Kyieva / M. M. Kutia, O. A. Hirs // Naukovi visnyk NLTU Ukrainy. – 2012. – Vyp. 22.12. – S. 86-90.

*Н. М. Москальчук**Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу*

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОВКІЛЛЯ НА ЗДОРОВ'Я ЛЮДЕЙ ІВАНО- ФРАНКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Метою роботи є дослідження впливу довкілля на здоров'я людей Івано-Франківської області на основі аналізу показників смертності та рівня забруднення атмосферного повітря.

В ході дослідження проаналізовано часову динаміку та територіальні відмінності показників смертності населення за період 2010-2019 рр для Івано-Франківської області та України, які можуть відобразити вплив екологічних детермінант на здоров'я. Встановлено, що населення Івано-Франківської області характеризується нижчим загальним коефіцієнтом смертності та вищою середньою очікуваною тривалістю життя при народженні у порівнянні з середньо державними значеннями.

Основною причиною смерті в Україні є неінфекційні захворювання. З'ясовано, що смертність від основних неінфекційних захворювань, які пов'язані з забрудненням повітря: ішемічної хвороби серця, цереброваскулярних хвороб, хронічної обструктивної хвороби легень, раку трахеї, бронхів та легень в середньому складає 70% від усіх смертей в Івано-Франківській області, що в середньому щорічно 12,2 тис. осіб. Визначено територіальні відмінності у значеннях частки смертей за окремими причинами смерті, які мають зв'язок із забрудненням повітря.

Базуючись на твердженнях ВООЗ та на статистичних даних зроблено припущення, що за досліджуваній період через забруднення повітря в середньому в Івано-Франківській області щорічно помирало: від ішемічної хвороби серця –1589 осіб, від цереброваскулярних хвороб –135 осіб, від раку трахеї, бронхів та легень 68 осіб, від хронічної хвороби нижніх дихальних шляхів 14 осіб.

Проаналізовано часову динаміку та територіальні особливості забруднення повітря Івано-Франківської області за 2010-2019 рр. Встановлено, що для області характерне досить значне забруднення атмосферного повітря від стаціонарних джерел з перевищенням середньо державних показників викидів як на одиницю площі, так і на особу. В складі викидів від стаціонарних джерел переважають речовини, які мають докази впливу на здоров'я.

Ключові слова: екологічні детермінанти здоров'я, смертність, забруднення атмосферного повітря, неінфекційні захворювання

Постановка проблеми. Здоров'я людей як стан повного фізичного, психічного і соціального добробуту, залежить від детермінант здоров'я – сукупності визначальних соціальних, екологічних, поведінкових, генетичних і біологічних факторів та медичних послуг. Щодо детермінант довкілля, то за даними ВООЗ основними побутовими, виробничими та соціальними екологічними ризиками для здоров'я людей є забруднення повітря, зокрема в приміщеннях; неналежне водопостачання, санітарія та гігієна; хімічні та біологічні сполуки; випромінювання (УФ та іонізуюче); шум довкілля; професійні ризики; сільське господарство (використання пестицидів, повторне використання стічних вод); будівельне середовище, зокрема будівництво споруд і доріг; зміни клімату.

Стан здоров'я населення на певній території доцільно оцінювати на основі аналізу демографічних показників, особливо які характеризують природні демографічні процеси і відтворення. До 10 основних причин смерті пов'язаних з забрудненням довкілля належать: інсульт, ішемічна хвороба серця, ненавмисні травми, онкологічні захворювання, хронічні респіраторні захворювання, діарейні захворювання, інфекції органів дихання, неонатальні стани, включаючи недоношеність, малярія, зумисні травми [1].

Аналіз досліджень і публікацій. Аналіз даних світової смертності у 2019 році свідчить, що 7 з 10 основних причин смерті (44% від усіх смертей) – це такі неінфекційні захворювання як ішемічна хвороба серця, інсульт, хронічне обструктивне захворювання легень, рак органів дихання, хвороба Альцгеймера, цукровий діабет та ниркові захворювання [2]. Основними причинами смерті в Україні у 2019 році є також неінфекційні захворювання: хвороби системи кровообігу – 67%, новоутворення – 13,5% [3]. Найбільше помирає у світі людей від ішемічної хвороби серця – 16% та інсульту – 11%. В Україні ці захворювання беруть на себе аж 46% та 13% відповідно.

Загальновідомі поведінкові фактори, такі як фізична бездіяльність, нездорова дієта та шкідливе вживання алкоголю та тютюну, вже давно визнані ризиками розвитку неінфекційних захворювань [4,5]. У 2018 році забруднення атмосферного повітря та повітря в домогосподарствах було визнано одним із факторів ризику розвитку неінфекційних захворювань [6]. Забруднення повітря є другою за значенням причиною смерті від неінфекційних захворювань після куріння.

У глобальному масштабі забруднення атмосферного повітря та повітря в домогосподарствах щорічно зумовлює 7 млн випадків передчасної смерті, зокрема більше 5 млн з причини наявності неінфекційних захворювань (2016 р.). Близько 550 тис. випадків смерті в Європейському регіоні виникли через забруднення повітря, з яких більше 500 тис. – через забруднення атмосферного повітря, і більш 50 тис. – забруднення повітря у домогосподарствах (2016р.) [7].

До основних неінфекційних захворювань, які пов'язані з забрудненням повітря, належать: ішемічна хвороба серця, інсульт, хронічна обструктивна хвороба легень, рак легень.

Забруднювачами повітря, що мають найзначніші докази впливу на здоров'я, є тверді частинки ($TC_{2,5}$ – дрібнодисперсний пил), озон (O_3), діоксид азоту (NO_2), діоксид сірки (SO_2). Тверді частинки, в основному їх дрібна фракція ($TC_{2,5}$) є головною проблемою охорони громадського здоров'я. Велика кількість досліджень, проведених в Європі та інших країнах, містять переконливі докази зв'язку широкого спектра захворювань і смертності з впливом $TC_{2,5}$ [8].

Постановка завдання. Виходячи з вище зазначеного метою роботи є дослідження впливу довкілля на здоров'я людей Івано-Франківської області на основі аналізу показників смертності та рівня забруднення атмосферного повітря. Для виконання поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

1. Проаналізувати часову динаміку та територіальні відмінності показників смертності населення Івано-Франківської області та України за період 2010-2019 рр.
2. Визначити основні екологічні ризики для здоров'я населення на досліджуваній території, провести аналіз часової динаміки забруднення повітря (2010-2019 рр.).

Виклад основного матеріалу. В Україні реалізацію державної політики у сфері статистики здійснюють Державна служба статистики України та її територіальні органи, зокрема Головне управління статистики в Івано-Франківській області. Тому пошук статистичної інформації щодо демографічних показників здійснювався з банку даних «Статистика населення України» [3], розміщеного на веб-порталі Держстату. Аналізувалися основні показники смертності, які можуть відобразити вплив екологічних детермінант на здоров'я населення певної території: коефіцієнти смертності (загальний, за статтю, віковими групами, причинами смерті) та середня очікувана тривалість життя.

Певні висновки щодо здоров'я населення можна зробити на основі аналізу часової зміни загального коефіцієнта смертності та середньої очікуваної тривалості життя при народженні. Виходячи із значення цих показників для Івано-Франківської області, можна стверджувати про меншу смертність населення цієї території, порівняно з середньо державними значеннями, що очікувано призведе до довшої тривалості життя.

Загальний коефіцієнт смертності, який є відношенням загальної кількості смертей за рік на 1000 осіб наявного населення, у середньому за період менший на 2,19 осіб (рис.1).

Середня очікувана тривалість життя при народженні (показник, який відображає середнє число років, яке проживуть новонароджені за умови, що вікові рівні смертності залишаться такими, якими вони були на рік розрахунку) для області вища на 1,92 років (рис. 2).

Як для всієї території України, так і для Івано-Франківської області типовим є великий розрив у значеннях для вищезазначених показників за статтю. Середнє очікуване число років, яке проживуть чоловіки, народжені у 2010-2019 рр. складає 66,4 років для України та 68,5 років для Івано-Франківської області. Натомість цей же показник для новонароджених жінок складає 76,3 та 78,1 років для України та області відповідно. Більша тривалість життя у жінок є характерною статевою особливістю, однак в глобальному масштабі для народжених у 2019 р. вона становить в середньому – 5 років, тоді як в Україні – 10,1 років, Івано-Франківській області – 10,2 років. Такі відмінності зумовлені вищою смертністю чоловік у всіх вікових групах (рис.3).

Як було сказано вище, забруднення атмосферного повітря та повітря в домогосподарствах є одним із факторів ризику розвитку неінфекційних захворювань, які є основною причиною смерті в Україні. Доведено, що забруднення повітря найбільше впливає на смертність від ішемічної хвороби серця, цереброваскулярних хвороб (інсульт), хронічної обструктивної хвороби легень, раку трахеї, бронхів та легень. Разом ці причини становили в середньому 63% від усіх смертей в

Україні та 70% в Івано-Франківській області. Це в середньому щорічно складало 392,6 тис. та 12,2 тис. смертей в Україні та в Івано-Франківській області відповідно (рис. 4, 5).

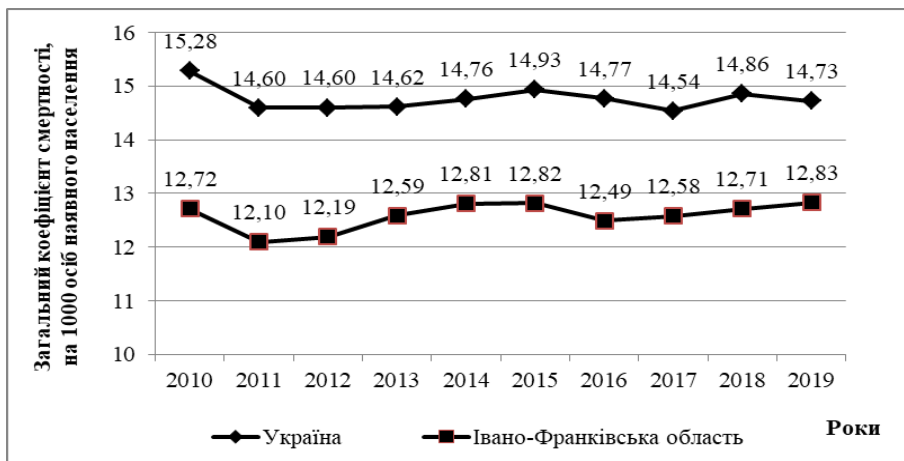


Рис. 1. Загальні коефіцієнти смертності в Україні та Івано-Франківській області у 2010-2019 рр., на 1000 осіб наявного населення

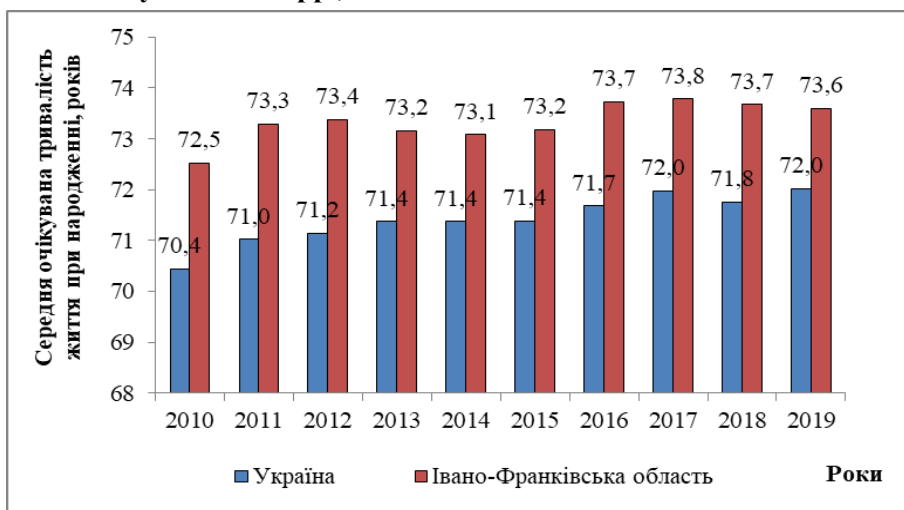


Рис. 2. Середня очікувана тривалість життя при народженні в Україні та Івано-Франківській області у 2010-2019 рр., років

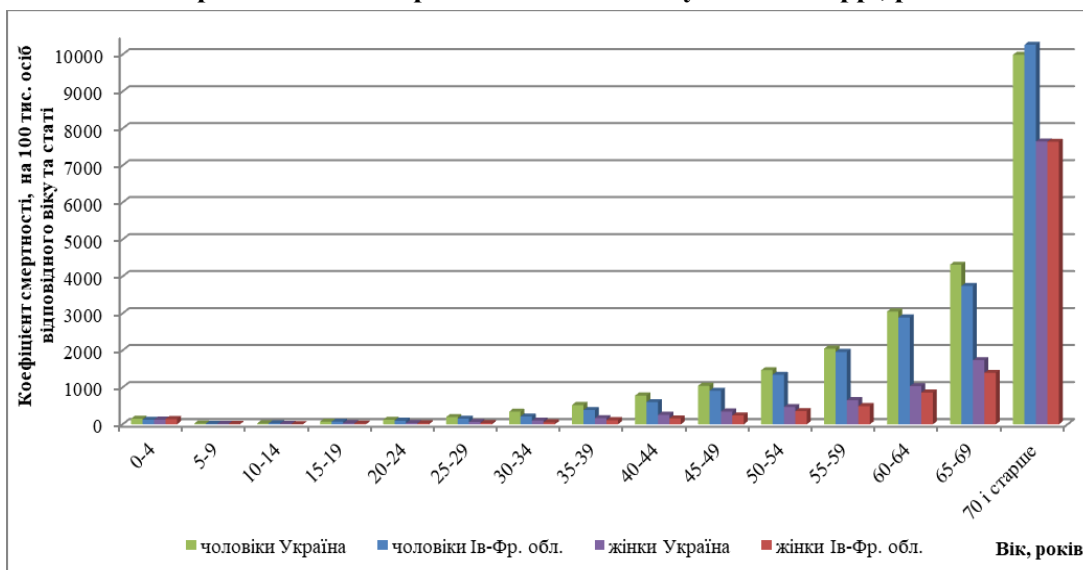


Рис. 3. Коефіцієнти смертності за статтю та віковими групами в Україні та Івано-Франківській області у 2019 р., на 100 тис. осіб відповідного віку і статі

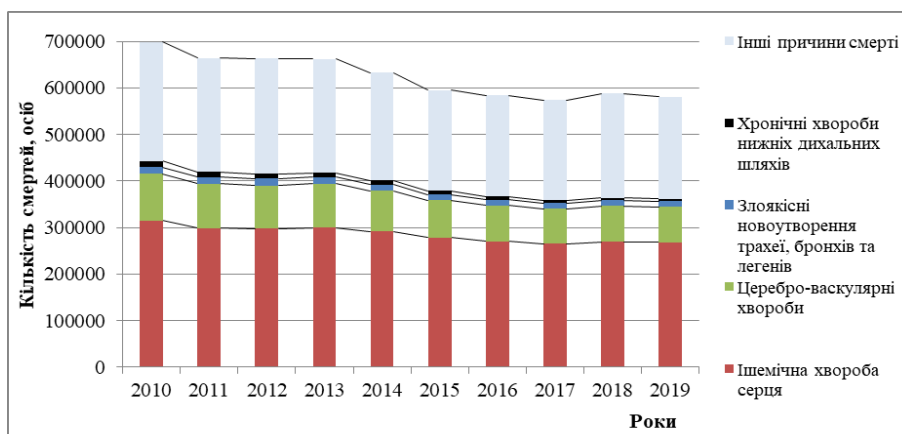


Рис. 4. Кількість смертей за окремими причинами в Україні у 2010-2019 рр., осіб

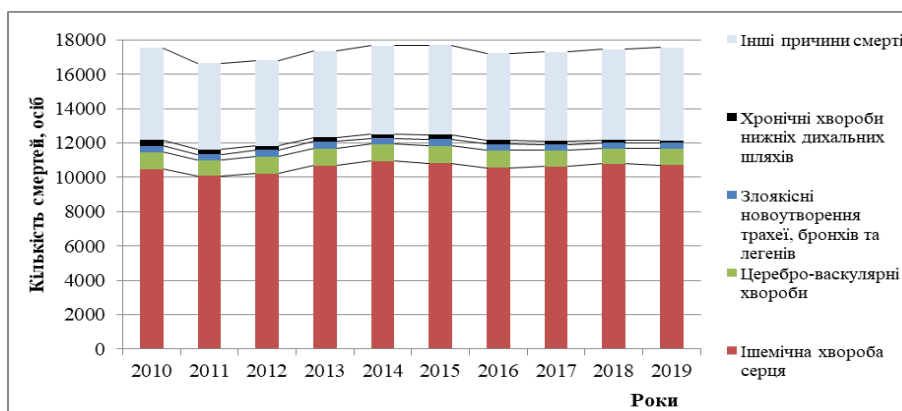


Рис. 5. Кількість смертей за окремими причинами в Івано-Франківській області у 2010-2019 рр., осіб

Слід зазначити, що простежуються територіальні відмінності у значеннях частки смертей за окремими причинами для Івано-Франківської області та України загалом: найбільші відхилення для ішемічної хвороби серця та цереброваскулярних хвороб. В середньому в Україні за період 2010-2019 рр. у 45,8% смертей причиною є ішемічна хвороба серця, у 13,7% – інсульт. Натомість у Івано-Франківській області ці показники складають 61,2% та 5,6% відповідно. Щодо хронічної хвороби нижніх дихальних шляхів та раку трахеї, бронхів та легень, то значення показників відрізняються несуттєво: не більше 0,1-0,2%.

За даними ВООЗ для Європейського регіону 15% випадків ішемічної хвороби серця, 14% випадків інсульту, 19% випадків раку легень і 6% випадків захворювання на хронічне обструктивне захворювання легень пов'язані із забрудненням атмосферного повітря і повітря в домашніх господарствах [4]. Базуючись на цих твердженнях та на даних щодо кількості смертей за окремими причинами можна зробити припущення, що за період 2010-2019 рр. через забруднення повітря в середньому щорічно помирало:

- від ішемічної хвороби серця – 42814 осіб в Україні та 1589 в Івано-Франківській області;
- від цереброваскулярних хвороб – 12004 осіб в Україні та 135 в Івано-Франківській області;
- від раку трахеї, бронхів та легень 2513 осіб в Україні та 68 в Івано-Франківській області;
- від хронічної хвороби нижніх дихальних шляхів 495 осіб в Україні та 14 в Івано-Франківській області.

Вищезазначені числа можуть бути іншими та залежать від рівня забруднення атмосферного повітря конкретної території, на якій перебуває людина, яка піддається впливу. В якості джерела інформації щодо забруднення атмосферного повітря Івано-Франківської області були використані дані «Регіональних доповідей про стан навколишнього природного середовища Івано-Франківської області» в 2012-2019 рр., розміщені на сайті Департаменту екології та природних ресурсів Івано-Франківської облдержадміністрації [9] та дані статистичних збірників «Довкілля України» зі сторінки Держстату [10].

Для Івано-Франківської області характерне досить значне забруднення атмосферного повітря від стаціонарних джерел з перевищенням середньодержавних показників викидів як на одиницю площі, так і на особу (рис.6). Загальна маса викидів забруднюючих речовин у атмосферне повітря області від стаціонарних джерел забруднення впродовж досліджуваного періоду в середньому складала 206,5 тис.т., середня щільність викидів на територію 14,8 т/км². Основними стаціонарними забруднювачами повітря Івано-Франківської області є підприємства з виробництва та розподілення електроенергії. На 2019 р. від них в атмосферне повітря надійшло 89,5% загальних обсягів викидів по області. Найбільшим підприємством забруднювачем є ВП «Бурштинська ТЕС» АТ «ДТЕК Західенерго» на яку припадає 82,8% викидів.

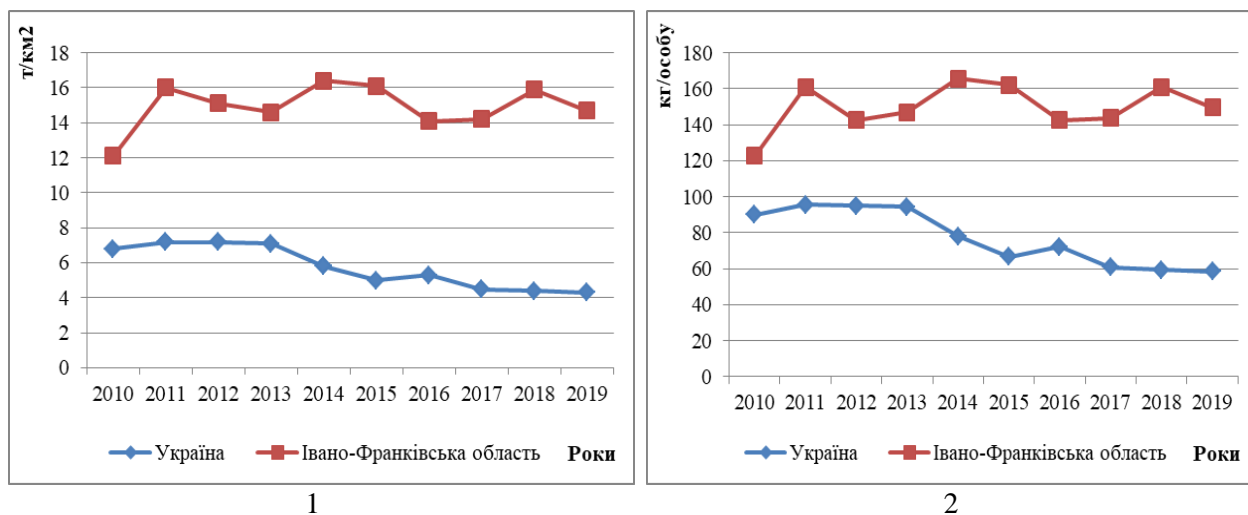


Рис. 6. Динаміка викидів забруднюючих речовин від стаціонарних джерел забруднення в Україні та Івано-Франківській області у 2010-2019 рр.
(1 – на одиницю площі, т/км²; 2 – на одну особу, кг/особу)

В складі викидів Івано-Франківської області переважає діоксид сірки, суспендовані тверді частинки, діоксид азоту (табл.). За даними ВООЗ дані забруднюючі речовини належать до тих, що мають найзначніші докази впливу на здоров'я.

Таблиця

Динаміка викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря Івано-Франківської області за 2010-2019 рр. від стаціонарних джерел

Роки	Загальні, тис. т.	Діоксиду сірки, тис.т	Діоксиду азоту, тис.т	Суспендованих твердих частинок, тис. т
2010	169,2	121,8	10,8	17,4
2011	221,8	162,9	14,8	31,7
2012	196,7	139,0	15,3	22,3
2013	202,9	147,3	15,8	23,3
2014	228,8	164,9	20,7	31,5
2015	223,9	160,1	14,9	32,9
2016	196,7	137,7	13,3	31,5
2017	198,3	129,6	14,5	37,3
2018	221,4	145,0	16,5	41,9
2019	205,02	136,1	15,2	35,2

Щодо концентрацій основних забруднюючих в речовин атмосферному повітрі, які мають докази впливу на здоров'я, та вміст яких визначався ДУ «Івано-Франківський обласний лабораторний центр МОЗ України», то в досліджуваному періоді максимальна річна частка спостережень концентрацій, які б переважали ГДК складала для діоксиду сірки – 1,9% (2013 р., 2017 р.), для діоксиду азоту – 2,1% (2019 р.), пилу – 3,6% (2017 р.). Концентрацій, які б перевищували 5 ГДК не було зафіксовано.

Проблема впливу забрудненого повітря на здоров'я населення багато в чому підсилюється відсутністю оперативної та достовірної інформації про його стан. Державна система моніторингу якості повітря в Україні дає недостатньо даних, не розширюється та не оновлюється десятиліттями, тож не може надавати актуальну інформацію про стан повітря. З червня 2020 р.

розпочався автоматизований процес передачі даних про якість атмосферного повітря з серверів Міндовкілля України в систему індексу якості повітря Європейського екологічного агентства [11]. Для розрахунку індексу якості повітря використовуються дані концентрацій озону, діоксиду сірки, діоксиду азоту, твердих часток діаметром менше 10 та 2,5 мкм, що передаються кожну годину. Тобто цей індекс відображає безпечність атмосферного повітря для здоров'я людини, оскільки вищезазначені речовини мають найбільші докази впливу на нього. Та на даний момент державні автоматизовані пости, які збирають та передають відповідну інформацію встановлені тільки в Донецькій області.

В Івано-Франківській області деяку інформацію можна отримати з громадських он-лайн платформ, як SaveEcoBot, EcoCity та інших, які об'єднують дані з офіційних джерел та датчики громадян. Однак є певні сумніви щодо надійності цих даних. «Програми охорони навколишнього природного середовища Івано-Франківської області до 2025 року» планує впродовж 2021-2025 рр. оснащення приладами пунктів контролю і спостереження за забрудненням атмосферного повітря; запровадження та обслуговування функціонування регіональної системи моніторингу атмосферного повітря [12]. Виконання даних природоохоронних заходів дасть змогу отримання актуальної та точної інформації з метою інформування населення та прийняття управлінських рішень для покращення стану атмосферного повітря та здоров'я населення.

Висновки. Аналіз демографічних показників за 2010-2019 рр., які можуть відобразити вплив екологічних детермінант на здоров'я населення Івано-Франківської області, дав змогу узагальнити наступне:

- менша смертність населення Івано-Франківської, порівняно з середньо державними значеннями (загальний коефіцієнт смертності у середньому менший на 2,19 осіб на 1000 осіб населення, середня очікувана тривалість життя при народженні вища на 1,92 років).

- як для всієї території України, для Івано-Франківської області типовим є велике переважання смертності чоловіків у всіх вікових групах, відповідно менша очікувана тривалість життя – на 9,6 років).

- смертність від ішемічної хвороби серця, цереброваскулярних хвороб, хронічної обструктивної хвороби легень, раку трахеї, бронхів та легень в середньому складає 70% від усіх смертей в Івано-Франківській області, в середньому щорічно 12,2 тис.

- простежуються територіальні відмінності у значеннях частки смертей за окремими причинами смерті (від ішемічної хвороби серця в середньому за період в Україні 45,8%, в Івано-Франківській області – 61,2%; від цереброваскулярних хвороб – 13,7% та 5,6% відповідно).

- базуючись на твердженнях ВООЗ та на статистичних даних можна зробити припущення, що за досліджуваний період через забруднення повітря в середньому в Івано-Франківській області щорічно помирало: від ішемічної хвороби серця – 1589 осіб, від цереброваскулярних хвороб – 135 осіб, від раку трахеї, бронхів та легень 68 осіб, від хронічної хвороби нижніх дихальних шляхів 14 осіб.

З аналізу статистичної інформації щодо забруднення атмосферного повітря Івано-Франківської області випливає наступне:

- Для області характерне досить значне забруднення атмосферного повітря від стаціонарних джерел з перевищенням середньо державних показників викидів як на одиницю площі, так і на особу. В складі викидів від стаціонарних джерел переважають речовини, які мають докази впливу на здоров'я.

- В досліджуваному періоді максимальна річна частка спостережень концентрацій, які б переважали ГДК складала для діоксиду сірки – 1,9%, для діоксиду азоту – 2,1%, пилу – 3,6%. Концентрацій, які б перевищували 5 ГДК не було зафіксовано.

Тому зважаючи на отримані результати та з метою попередження негативного впливу забруднення атмосферного повітря на здоров'я населення необхідно прискорити процес модернізації державної системи моніторингу атмосферного повітря в Івано-Франківській області та її інтеграції в систему індексу якості повітря Європейського екологічного агентства.

Література

1 Preventing disease through healthy environments: a global assessment of the burden of disease from environmental risks <https://www.who.int/publications/i/item/9789241565196>

2 The top 10 causes of death <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>

3 Банк даних «Статистика населення України»/ Державна служба статистики України http://database.ukrcensus.gov.ua/MULT/Dialog/statfile_c.asp

4 Обзор данных о воздействии загрязнения воздуха на здоровье – проект REVIHAAP, технический отчет. Копенгаген: Европейское региональное бюро ВОЗ; 2013 г. http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0009/218574/REVIHAAP-Final-technical-report-Rus.pdf?ua=1.

5 Kelly FJ, Fussell JC. Air pollution and public health: emerging hazards and improved understanding of risk. *Environ Geochem Health* 2015. <https://doi.org/10.1007/s10653-015-9720-1>.

6 Burden of disease from the joint effects of household and ambient air pollution for 2016. Geneva: World Health Organization; 2018 http://www.who.int/airpollution/data/AP_joint_effect_BoD_results_May2018.

7 Preventing noncommunicable diseases (NCDs) by reducing environmental risk factors. Geneva: World Health Organization; 2017. https://www.who.int/quantifying_ehimpacts/publications/preventing-ncds/en/

8 Pruss-Ustun A, van Deventer E, Mudu P, et al. Solutions for prevention and control of non-communicable diseases – environmental risks and non-communicable diseases. *BMJ* 2019. doi:10.1136/bmj.1265

9 Івано-Франківська обласна державна адміністрація/ Управління екології та природних ресурсів/ Стан довкілля/ Регіональні доповіді <http://www.if.gov.ua/?q=page&id=24611>

10 Статистичний збірник «Довкілля України» https://ukrstat.org/uk/druk/publicat/kat_u/publnav_ser_u.htm

11 European Air Quality Index <https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-quality-index>

12 Програма охорони навколишнього природного середовища Івано-Франківської області до 2025 року <https://orada.if.ua/wp-content/uploads/2020/12/30-2-2.pdf>

N. Moskalchuk

*Ivano-Frankivsk National
Technical University of Oil and Gas*

INVESTIGATION OF THE ENVIRONMENTAL IMPACT ON HUMAN HEALTH IN IVANO-FRANKIVSK OBLAST

The purpose of the article is to study the environmental impact on human health in Ivano-Frankivsk oblast based on the analysis of mortality rates and the level of air pollution.

The study analyzes the temporal dynamics and territorial differences of mortality rates for the period of 2010-2019 for Ivano-Frankivsk oblast and Ukraine, which may show the impact of environmental determinants on health. It is established that the population of Ivano-Frankivsk oblast is characterized by a lower overall mortality rate and higher average life expectancy compared to the average state values.

The main cause of death in Ukraine is non-communicable diseases. It was found that mortality from major non-communicable diseases associated with air pollution (coronary heart disease, cerebrovascular disease, chronic obstructive pulmonary disease, tracheal, bronchial and lung cancer) averages 70% of all deaths in Ivano-Frankivsk oblast, which averages 12.2 thousand people annually. Territorial differences in the proportions of deaths by individual causes of death associated with air pollution have been identified.

Based on WHO statements and statistics, it is assumed that during the study period air pollution in Ivano-Frankivsk oblast caused on average annually the deaths of 1589 people from coronary heart disease, 135 people from cerebrovascular disease, 68 people from cancer of the trachea, bronchi and lungs, and 14 people from chronic lower respiratory disease.

The temporal dynamics and territorial features of air pollution in Ivano-Frankivsk oblast for the period of 2010-2019 are analyzed. It is established that the region is characterized by significant air pollution from stationary sources with exceeding the average state emissions per unit area and per person. Emissions from stationary sources are dominated by substances that have evidence of health effects.

Key words: environmental determinants of health, mortality, air pollution, non-communicable diseases.

References

- 1 Preventing disease through healthy environments: a global assessment of the burden of disease from environmental risks <https://www.who.int/publications/i/item/9789241565196>
- 2 The top 10 causes of death <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>
- 3 Bank Danykh «Statystyka Naseleння Ukrainy»/ Derzhavna Sluzhba Statystyky Ukrainy http://database.ukrcensus.gov.ua/MULT/Dialog/statfile_c.asp
- 4 Obzor Danykh O Vozdeystvyi Zahriaznenyia Vozdukha Na Zdorove – Proekt REVIHAAP Tekhnicheskyyi Otchet. Kopenhagen Evropeiskoe Rehyonalnoe Biuro VOZ 2013 H.http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0009/218574/REVIHAAP-Final-technical-report-Rus.pdf?ua=1.
- 5 Kelly FJ, Fussell JC. Air pollution and public health: emerging hazards and improved understanding of risk. *Environ Geochem Health* 2015. <https://doi.org/10.1007/s10653-015-9720-1>.
- 6 Burden of disease from the joint effects of household and ambient air pollution for 2016. Geneva: World Health Organization; 2018 http://www.who.int/airpollution/data/AP_joint_effect_BoD_results_May2018.
- 7 Preventing noncommunicable diseases (NCDs) by reducing environmental risk factors. Geneva: World Health Organization; 2017. https://www.who.int/quantifying_ehimpacts/publications/preventing-ncds/en/
- 8 Pruss-Ustun A, van Deventer E, Mudu P, et al. Solutions for prevention and control of non-communicable diseases – environmental risks and non-communicable diseases. *BMJ* 2019. doi:10.1136/bmj.l265
- 9 Ivano-Frankivska oblasna derzhavna administratsiia/ Upravlinnia ekolohii ta pryrodnykh resursiv/ Stan dovkillia/ Rehionalni dopovidi <http://www.if.gov.ua/?q=page&id=24611>
- 10 Statystychnyi zbirnyk «Dovkillia Ukrainy» https://ukrstat.org/uk/druk/publicat/kat_u/publnav_ser_u.htm
- 11 European Air Quality Index <https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-quality-index>
- 12 Prohrama okhorony navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha Ivano-Frankivskoi oblasti do 2025 roku <https://orada.if.ua/wp-content/uploads/2020/12/30-2-2.pdf>

ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ, ПРОГНОЗУВАННЯ ТА ОЦІНКА СТАНУ ДОВКІЛЛЯ

УДК 502:517

DOI: 10.31471/2415-3184-2021-1(23)-54-59

І. Я. Климчук

*Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу*

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕКОЛОГО-КЛІМАТИЧНОГО ТА ІНШИХ МОДЕЛЮВАНЬ ШЛЯХОМ РОЗПОДІЛЬНИХ ОБЧИСЛЕНЬ

Сучасні наукові моделі потребують значних обчислювальних потужностей і доступу до можливостей суперкомп'ютерів. Для вирішення цієї проблеми використовується система розподільного обчислення BOINC, яка базується на відкритій програмній платформі університету Берклі для GRID обчислень – програмне забезпечення для розподілення між персональними комп'ютерами масиву інформації і подальшого математичного опрацювання. З даною системою працюють безліч університетів світу з багатьох країн для розв'язання поставлених завдань, та сформовані національні центри з розподільних обчислень, до яких входять безліч команд та поодиноких волонтерів.

В Україні такий центр носить назву Український національний грид (УНГ) і є єдиною дослідницькою національною е-інфраструктурою України, яка об'єднує в собі 39 ресурсних центрів науково-дослідних організацій (з них 29 належать НАН України). Інтегрованість УНГ в європейську систему допомагає спільно працювати над глобальними проблемами математики, екології та фізики, використовувати європейські ресурси для опрацювання та зберігання даних.

Математичні моделі набули широкого використання в екології. За допомогою яких складаються екологічні і кліматичні прогнози, моделюються фізичні властивості природних компонентів при різних умовах для забезпечення оптимальних умов певних досліджуваних явищ. Ефективність застосування грид-технологій в екології демонструється успішно завершеними і теперішніми дослідними проектами World Community Grid, результати яких мають глобальне значення.

З розвитком розподільних обчислень в науці та бумом популярності криптографії постає питання про доцільність використання доступним користувачам стаціонарних ПК (персональний комп'ютер) з їхніми потенційно низькими потужностями та необхідність аналізу їх ефективності в різноманітних грид-проектах для визначення найбільш ефективного використання.

Ключові слова: розподільні обчислення, екологічне моделювання, кліматичне моделювання, обчислювальні потужності, суперкомп'ютер, проекти, глобальні проблеми, World Community Grid.

Постановка проблеми: Грид-технології, система BOINC та розподільні обчислення в Україні є мало розвинутим напрямком досліджень. Спостерігається слабка тенденція задіяння грид-технологій в університетських науково-дослідних проектах і роботах для розв'язання глобальних та локальних екологічних проблем, низький рівень вивченості ефективності використання користувачами власних ПК в розподільних обрахунках різноманітних екологічних і інших проектів. Недостатня кількість інформації для волонтерів по ефективності їх користувацьких ПК в найпопулярніших глобальних проектах світової системи грид-обрахунків.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Застосування хмарних обчислень і грид-технологій для організації колективного використання обчислювальних ресурсів в науково-дослідній та навчальній роботах є актуальним [1]. Узагальнену характеристику використання було неодноразово наведено, але оскільки система розподільних обчислень набувала більшої популярності і широкого застосування, то сформувалася потреба в оновленні характеристичних даних [2]. Функціонал платформи BOINC залишається вивченим, однак присутня недостатня

кількість інформації про вплив клієнта програми на ПК [3]. Дослідження екологічного проекту прогнозування клімату на платформі BOINC було проведено в рамках розбору проекту на складові частини, тому залишається необхідність комплексної оцінки екологічних проектів з порівняльними аспектами [4].

Мета та завдання роботи. Мета роботи полягає в оцінці ефективності розподільних обчислень звичайних стаціонарних ПК для екологічно-кліматичного моделювання та доцільності використання системи BOINC для цих цілей.

Основним завданням даної роботи є визначити найпотужніші суперкомп'ютери та провести порівняльну характеристику з розподільними обчисленнями системи BOINC, дослідити використання екологічного та кліматичного моделювання та прийняти участь в реальних проектах системи BOINC для визначення обчислювальних потужностей стаціонарного ПК.

Викладення основного матеріалу. BOINC – це ефективна платформа з підтримкою різноманітних пристроїв і їх конфігурацій для розподілених обчислювальних процесів з високою пропускну здатністю, тобто великої кількості незалежних обчислювальних завдань, де метою ефективності є висока швидкість виконання роботи, а не низький час виконання окремих завдань. Системою також пропонується механізми низького рівня для розподільного зберігання даних. BOINC має архітектуру клієнт/сервер: сервер розподіляє завдання, тоді як клієнт працює на робочих вузлах, які виконують завдання [5]. Загальнодоступність використання системи забезпечує GNU Library General Public License – безкоштовна ліцензія на використання програмного забезпечення, яка видана для BOINC фондом вільного програмного забезпечення FSF.

Середня обчислювальна потужність платформи BOINC складає 30,515 петафлопс, 80960 учасників та 302608 персональних комп'ютерів станом на 28 лютого 2021 рік [6]. Платформа BOINC з показником розподіленої обчислювальної потужності 30,515 петафлопс входить в десятку найпотужніших суперкомп'ютерних систем з не розподільним обчисленням інформації за дослідними даними проекту TOP500 університету Берклі [7].

На основі отриманих порівняльних даних з табл. 1 можна прослідкувати ефективність системи BOINC в обчисленні великих масивів даних.

Таблиця 1

Порівняння системи BOINC з суперкомп'ютерними системами не розподільного обчислення (станом на листопад 2020 року) за максимальним показником потужності

№	Назва системи	Максимальний показник, петафлопс/с
1	Supercomputer Fugaku	442010
2	Summit	148600
3	Sierra	94640
4	Sunway TaihuLight	93015
5	Selene	63460
6	Tianhe-2A	61445
7	JUWELS Booster Module	44120
8	HPC5	35450
9	BOINC	30515
10	Frontera	23516
11	Dammam-7	22400

В екології система BOINC використовується для моделювання різноманітних фізичних процесів та прогнозування кліматичних змін. Найбільший з екологічно-кліматичних проектів є World Community Grid компанії IBM, основною метою якого є некомерційні дослідження деяких з найбільш актуальних проблем людства, створивши найбільшу в світі добровільну обчислювальну мережу. Дослідження включають в себе сонячну енергію, кліматичні зміни, чисту воду та багато інших напрямків. Зокрема дослідники IBM використовують мережу BOINC для імітації опадів в Африці на південь від Сахари. Ці моделювання можуть забезпечити кращі прогнози для місцевих фермерів, які можуть допомогти їм успішно вирощувати врожаї в складних кліматичних умовах.

Ще одним екологічним проектом є Climate Prediction заснований в Оксфордському університеті в інституті змін навколишнього середовища, основним завданням якого є моделювання різних аспектів кліматичних систем та визначення клімату на теперішнє століття [8].

Computing for Clean Water – успішно завершений проект, в рамках якого дослідницька група шляхом імітації водного потоку через вуглецеві нанотрубки з високим рівнем деталізації виявила

умови які призводять до збільшення швидкості дифузії води на 300% через нанотрубки. На основі результатів проекту створено новий клас фільтруючих матеріалів, які в подальшому спрямовані на розвиток недорогих та більш ефективних фільтрів для води [9].

У всіх проектах World Community Grid на системі BOINC задіяно 111 тис. користувачів, активними в середньому є близько 38 тис. користувачів, а загальна кількість обрахунків від всіх в системі складає 1.77073% з середнім числом операцій з плаваючою точкою в секунду 543,255 терафлопс див. рис. 1[10].

В проектах передбачення клімату Climate Prediction задіяно близько 2 тис. користувачів, активними в середньому з яких є близько 700 користувачів, а кількість обрахунків в системі BOINC складає тільки 0,03762% від всіх проектів, середнє число операцій з плаваючою точкою в секунду для проекту складає 11,512 терафлопс див. рис. 1 [11].

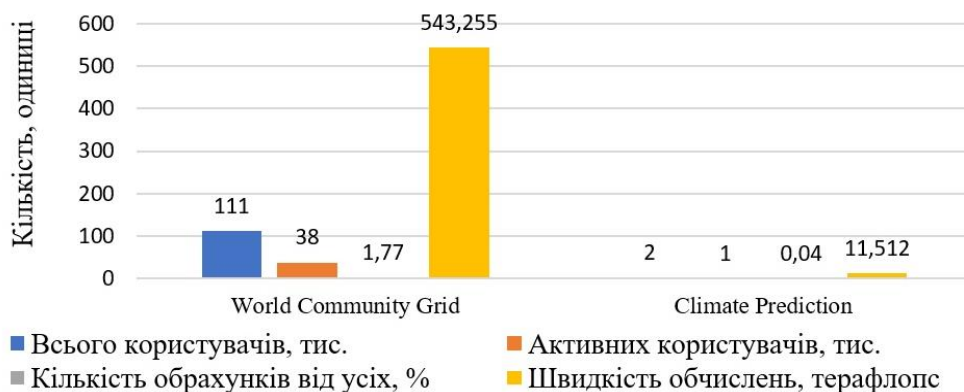


Рис. 1. Порівняльна характеристика екологічних проектів World Community Grid та Climate Prediction

Отже, проаналізувавши показники найпопулярніших екологічних проектів на системі BOINC можна зробити висновок про низькі показники задіяння користувачів від загальної кількості проектів, та можна виділити проект World Community Grid як найбільш оптимальний для прийняття участі за кількістю користувачів та великих об'ємів завдань для розподільного обчислення.

На волонтерських засадах в рамках дисертаційного дослідження водних ресурсів було прийнято участь в проекті World Community Grid для дослідження середньої обчислювальної швидкості використовуваного стаціонарного ПК та для доцільності планування комп'ютерних моделей та розуміння обчислюваних можливостей, а також в проектах MilkyWay@home, Collatz@home для аналізу використання в обчисленні різноманітних комбінацій чіпів, таких як ЦП (центральний процесор), ГП (графічний процесор) та обчислення декількох завдань одночасно з розподіленням потужності ЦП, а також для аналізу залежності енергоспоживання і тепловиділення від задіяної потужності. Дослід включав в себе ПК з наступними характеристиками табл. 2.

Таблиця 2

Характеристики задіяного ПК та налаштування максимальної потужності

№	Основні комплектуючі	Кількість, деталей	Робоча тактова частота, МГц	Задіяна потужність,%
1	ЦП AMD FX-8350 8 CORE	1	3950	75
2	ГП GT 710 1GB	1	1084	100
3	ОЗУ 8GB	1	1866	100
4	SSD 260 GB	1	-	100
5	Блок живлення 500W	1	-	100
6	Інтернет підключення 70 Mbps	1	-	100

Експериментальним шляхом було визначено низький вплив кількості та швидкості ОЗУ (оперативна пам'ять) на обчислювальну здатність ПК та було вирішено використовувати центральний процесор на тактовій частоті 3,95 ГГц, що є нижче заявленої виробником рекомендованої частоти для цього типу процесорів, також для зменшення нагріву центрального

процесора було встановлено в клієнті BOINC обмеження на використання не більше 75% його потужності, що задіяло тільки 6 фізичних ядер центрального процесора з 8 доступних.

Показники зміни температури ЦП, ГП та споживання енергії в залежності від відсотку завантаження можна спостерігати на графіку рисунок 2.

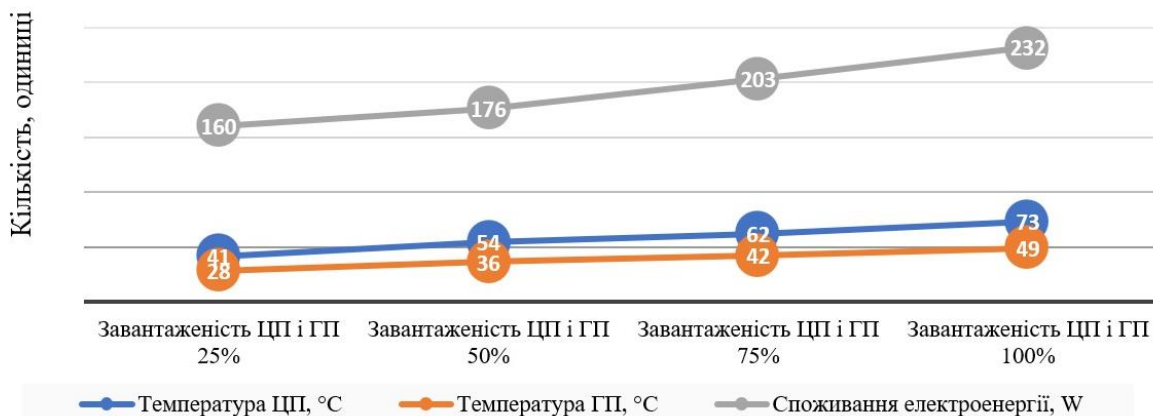


Рис. 2. Температурна залежність ЦП, ГП та електроспоживання від навантаження клієнтом BOINC

Завдання проекту World Community Grid підтримують тільки використання ЦП, тим самим роблять неможливим використанням ГП. Відповідно до обмежень було проаналізовано в даному проекті тільки середню обчислювальну здатність ЦП та визначено приблизний час виконання обрахунків. Середній об’єм обрахунків завдань проекту World Community Grid складав – 31277 гігафлопс, середній показник затраченого часу на обрахунок одного завдання – 120 хв., а середній показник використання ОЗУ – 188,45 мб. Тобто, можливе обчислення 12 завдань проекту за 1 добу в об’ємі обрахунків 375324 гігафлопс.

Використання комбінацій чіпів в проекті MilkyWay@home показало наступні результати. Використовуючи ЦП показник середнього об’єму обрахунків складав – 27900 гігафлопс, використовуючи ГП – 61020 гігафлопс, а використання потужностей ЦП і ГП – 118008 гігафлопс. Показник використання ОЗУ не перевищував 200 мб. Відповідно до результатів спостережень було встановлено, що найбільше ефективним є використання ГП і ЦП в проектах де це можливо з об’ємом обрахунків 3186216 гігафлопс за 1 добу.

Використання ГП в проекті Collatz@home показало найвищі обчислювальні показники. Середній об’єм обрахунків з використанням ГП склав 145850,66 гігафлопс за годину, що потенційно може сягати 3500415,84 гігафлопс за 1 добу.

Порівняльні показники можна спостерігати на гістограмі рис. 3 та круговій діаграмі рис. 4.

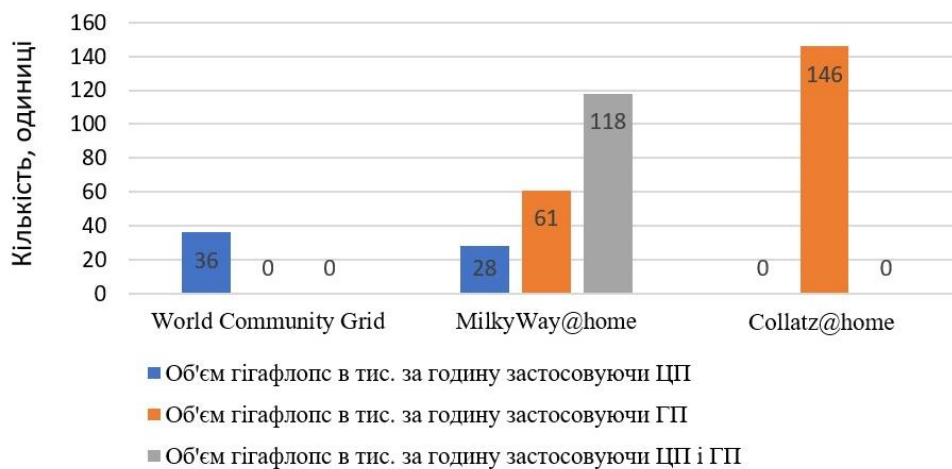


Рис. 3. Об’єм обчислень в різних проектах при використанні різних обчислювальних чіпів

Висновки. Сукупність користувацьких ПК в системі розподільних обчислень проектів BOINC за швидкістю обчислень близькі до десятки найшвидших суперкомп’ютерів, що демонструє ефективність системи в грід-обчисленнях.

Проаналізувавши існуючі та завершені проекти можна зробити висновок, що BOINC – це доцільний інструмент для використання університетами, які не мають доступу до суперкомп'ютерів але мають наукові проекти з необхідністю використання великих обчислювальних швидкостей для обробки інформації, моделювання чи прогнозування. BOINC – ефективний інструмент, як платформа розподільних обчислень для глобальних екологічних моделей та прогнозів з інтуїтивним та доступним функціоналом, з безліччю налаштувань. Який підходить науковцям для тестування власних обчислювальних можливостей шляхом реального залучення до сприяння і вирішення глобальних завдань екології і людства.

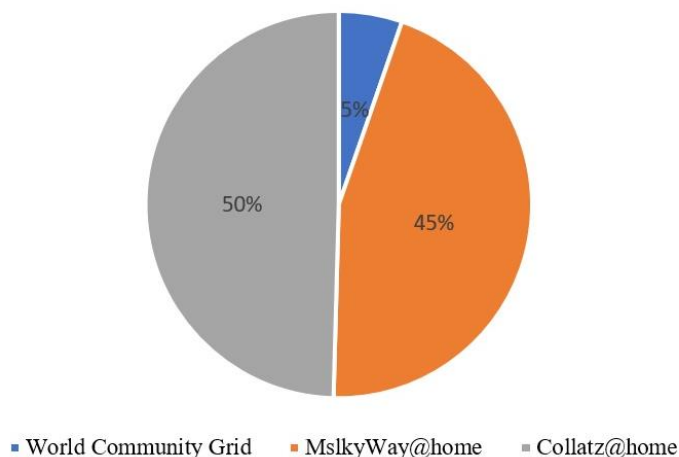


Рис. 4. Загальний об'єм обчислень за добу в досліджуваних проектах

Дослідним шляхом використовуючи середньостатистичний ПК встановлено перевагу використання графічного процесора над центральним для обчислення завдань проектів системи BOINC та сформовано залежність енергоспоживання та виділення тепла основними задіяними комплектуючими відповідно до обчислювальної швидкості.

Література

- 1 Хашковський В. В., Данилов І. Г., Применение облачных вычислений и grid-технологий для организации коллективного использования вычислительных ресурсов в научно-исследовательской и учебной работе // Известия ЮФУ. Технические науки. 2011. №1. С. 139- 143.
- 2 Турло О. И. Добровольный грид-вычисления // Межвузовская научная студенческая конференция «Современные компьютерные информационные технологии»: матеріали 13-ї наук. студ. конф., Мінськ, 2012. С. 150-152.
- 3 Anderson D. P., "BOINC: a system for public-resource computing and storage," *Fifth IEEE/ACM International Workshop on Grid Computing*, Pittsburgh, PA, USA, 2004, P. 4-10, doi: 10.1109/GRID.2004.14.
- 4 Електронний ресурс зі збірками наукових статей [Веб-сайт]. 2020. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_22996226_24833962.pdf (дата звернення: 26.02.21).
- 5 Boinc.berkeley.edu [Веб-сайт]. Каліфорнія, 2021. URL: <https://boinc.berkeley.edu/trac/wiki/BoincOverview> (дата звернення: 28.02.21).
- 6 Обчислювальна потужність BOINC // Обчислення для науки [Веб-сайт]. – URL: <https://boinc.berkeley.edu/computing.php> (дата звернення: 28.02.2021).
- 7 Список топ500 – листопад 2020 року // ТОП 500 [Веб-сайт]. – URL: <https://www.top500.org/lists/top500/list/2020/11/?page=1> (дата звернення: 27.02.2021).
- 8 Проекти // Climateprediction.net [Веб-сайт]. – URL: <https://www.climateprediction.net/projects/> (дата звернення: 28.02.2021).
- 9 Research: Computing for Clean Water: Project Overview // Worldcommunitygrid.org [Веб-сайт]. – URL: <https://www.worldcommunitygrid.org/research/c4cw/overview.do> (дата звернення: 28.02.2021).
- 10 Detailed stats World Community Grid // BOINC Stats [Веб-сайт]. – URL: <https://www.boincstats.com/stats/15/project/detail/overview> (дата звернення: 28.02.2021).
- 11 Detailed stats Climate Prediction // BOINC Stats [Веб-сайт]. – URL: <https://www.boincstats.com/stats/2/project/detail/> (дата звернення: 28.02.2021).

*I. Klymchuk**Ivano-Frankivsk National
Technical University of Oil and Gas***EFFICIENCY OF ECOLOGICAL-CLIMATE AND OTHER MODELS BY
DISTRIBUTING CALCULATIONS**

Modern scientific models require significant computing power and access to the capabilities of supercomputers. The solution to this problem is the Distributed Computing Interface BOINC, based on Berkeley open software platform for GRID computing. This is a software for distributing an array of information between personal computers and further mathematical processing. Many universities in the world work with this system to solve problems, and national centers for grid computing have been established, which include many teams and individual volunteers.

In Ukraine, the center is called the Ukrainian National Grid (UNG) and is the only research national e-infrastructure in Ukraine, which brings together 39 resource centers of research organizations (29 of which belong to the NAS of Ukraine). UNG's integration into the European system helps to work together on global problems in mathematics, ecology and physics, use European resources for data processing and storage.

Mathematical models are widely used in ecology. They help to make ecological and climatic forecasts, model the physical properties of natural components under different conditions in order to ensure optimal conditions for certain phenomena under study. The effectiveness of the application of grid technologies in ecology is demonstrated by successfully completed and current research projects of World Community Grid, results of which have global significance.

With the development of distributed computing in science and the popularity of cryptography there arises the issue of the feasibility of using available desktop personal computers by users with their potentially low power and the need to analyze their effectiveness in various grid projects to determine the most effective use.

Keywords: distributed computing, environmental modeling, climate modeling, computing power, supercomputer, projects, global problems, World Community Grid.

References

- 1 Khashkovskiy V. V., Danylov Y. H., Primenenie oblachnykh vychislenii i grid-tekhnologii dlia orhanyzatsii kollektivnogo ispolzovaniia vychislytelnykh resursov v nauchno-issledovatel'skoi i uchebnoi rabote // Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki. 2011. №1. S. 139-143.
- 2 Turlo O. Y. Dobrovolnyi hrid-vychisleniia // Mezhvuzovskaia nauchnaia studencheskaia konferentsiia «Sovremennye kompiuternye informatsionnye tekhnologii»: materialy 13-i nauk. stud. konf., Minsk, 2012. S. 150-152.
- 3 Anderson D. P., "BOINC: a system for public-resource computing and storage," Fifth IEEE/ACM International Workshop on Grid Computing, Pittsburgh, PA, USA, 2004, P. 4-10, doi: 10.1109/GRID.2004.14.
- 4 Elektronnyi resurs zi zbirkamy naukovykh statei [Veb-sait]. 2020. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_22996226_24833962.pdf (data zvernennia: 26.02.21).
- 5 Boinc.berkeley.edu [Veb-sait]. Kaliforniia, 2021. URL: <https://boinc.berkeley.edu/trac/wiki/BoincOverview> (data zvernennia: 28.02.21).
- 6 Obchysliuvalna potuzhnist BOINC // Obchyslennia dlia nauky [Veb-sait]. – URL: <https://boinc.berkeley.edu/computing.php> (data zvernennia: 28.02.2021).
- 7 Spysok top500 – lystopad 2020 roku // TOP 500 [Veb-sait]. – URL: <https://www.top500.org/lists/top500/list/2020/11/?page=1> (data zvernennia: 27.02.2021).
- 8 Proekty // Climateprediction.net [Veb-sait]. – URL: <https://www.climateprediction.net/projects/> (data zvernennia: 28.02.2021).
- 9 Research: Computing for Clean Water: Project Overview // Worldcommunitygrid.org [Veb-sait]. – URL: <https://www.worldcommunitygrid.org/research/c4cw/overview.do> (data zvernennia: 28.02.2021).
- 10 Detailed stats World Community Grid // BOINC Stats [Veb-sait]. – URL: <https://www.boincstats.com/stats/15/project/detail/overview> (data zvernennia: 28.02.2021).
- 11 Detailed stats Climate Prediction // BOINC Stats [Veb-sait]. – URL: <https://www.boincstats.com/stats/2/project/detail/> (data zvernennia: 28.02.2021).

В. Г. Сінченко*ДП "Науковий центр превентивної токсикології, харчової та хімічної безпеки імені академіка Л.І. Медведя МОЗ України", м. Київ*

ДЕЯКІ МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ БЕТА-СПЕКТРОМЕТРИЧНОГО МЕТОДУ КОНТРОЛЮ ЗА РАДІАЦІЙНОЮ БЕЗПЕКОЮ ПРОДУКЦІЇ АГРАРНОГО СЕКТОРУ ТА РИБНОГО ПРОМИСЛУ

Розглянуто задачу визначення показника придатності (ПП) забрудненої радіонуклідами (РН) продукції аграрних та рибних господарств як показника безпеки від сумісної дії на організм людини РН ^{137}Cs і ^{90}Sr . Представлено новий підхід до розрахунку ПП. В ньому поєднано вміст зазначених РН у продукції та величину допустимих рівнів їх активності. Підхід базується на припущенні про залежність ПП від величин параметру кратності активності. Параметри визначено в одиницях мінімально вимірюваної питомої активності (МВПА) спектрометра для кожного з РН. Досліджено вплив на ПП коефіцієнтів запасу, як компенсатора похибок при розрахунку значень МВПА. Коефіцієнт запасу визначено як функцію параметра кратності.

Розрахунок значень коефіцієнта запасу проведено із застосування моделі опису розподілу відносної похибки вимірювання активності по параметру кратності. Використана при цьому нормована функція Гауса. Аргумент останньої представлено двома параметрами. Одним з них є параметр кратності активності, інший регулює ширину піку. Параметри функції Гауса визначаються за методом мінімізації квадратів відхилень. За таких їх значень експонента оптимально описує результат експерименту. Отримано універсальне рівняння для розрахунку ПП. Рівняння поєднує два окремих співвідношення, за якими ПП щодо сумісного впливу РН ^{137}Cs і ^{90}Sr , зазвичай, розраховується при проведенні аналізу радіаційної якості продовольчої сировини та продуктів харчування.

Представлено результати розрахунків ПП, коефіцієнта запасу та необхідних для цього параметрів за даними вимірювання активності РН ^{137}Cs і ^{90}Sr , у грибах лісового походження. Показано можливість попереднього оцінювання технологічних параметрів випробування. Обґрунтовано спосіб скорочення часу дослідження шляхом отримання даних за використання концентрованого і неконцентрованого зразків. Підтверджено ефективність алгоритму розрахунку ПП у випадку параметрів кратності, величина яких наближається до межі вимірювання. Представлені співвідношення надають додаткову гарантію у коректності рішення щодо придатності продукції.

Ключові слова: радіаційна безпека аграрних ресурсів та екосистем; продукція рибного промислу; нагляд за радіаційною якістю продовольчої сировини; спектрометрія радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr

Окреслення проблеми, її актуальність. Державна нормативно-правова база [3] обумовлює проведення постійного контролю за вмістом радіонуклідів (РН) ^{137}Cs і ^{90}Sr у продукції аграрних та рибних господарств. Її підґрунтя є наявна забрудненість зазначеними РН значних територій [8, 16] та ефект їх міграції у продукцію [17]. Практика робіт в даному напрямку показує необхідність скорочення термінів проведення контролю. При цьому його якість повинна бути прогнозовано високою. Один з можливих шляхів досягнення такого результату полягає у використанні комбінованих методів спектрометричного аналізу та проведення дослідження на неконцентрованих зразках продукції [14].

Рішення ряду науково-практичних задач, які стосуються життя населення на забруднених РН територіях [9], потребує інформації щодо вмісту ^{137}Cs і ^{90}Sr у продовольчій сировині та продуктах харчування. Кінцевою метою використання таких даних є однозначність в трактуванні результату співставлення вимірюваної активності РН з величиною їх допустимого рівня (ДР). Зазначені вимоги є суттєвими при вирішенні задач прогнозування дії випромінювання РН на організм людини, зокрема на територіях з низьким рівнем радіоактивного забруднення [1, 19]. Вони також актуалізуються у випадках досліджень дії на системи організму внутрішнього опромінювання ^{137}Cs і ^{90}Sr [4, 12] в комбінації з факторами забруднення довкілля, природа та механізм дії яких має інше походження. Вищенаведене обґрунтовує твердження, що удосконалення процедур визначення ^{137}Cs і ^{90}Sr та співставлення даних вимірювання з ДР їх активності у випадку аграрної і рибної продукції, може сприяти вирішенню значимої для практики загальної задачі – оцінювання і прогнозування якості продовольчих ресурсів.

Попередні дослідження, їх аналіз. Отримання інформації про вміст РН ^{137}Cs і ^{90}Sr у сировині та продуктах харчування, мета якої є оцінювання радіаційної безпечності, в більшості випадків в останні 10 – 15 років проводиться згідно ряду методик виконання вимірювань (МВВ), в основу яких покладено спектрометричні методи. Апаратурна реалізація процесу визначення вмісту та контроль останнього щодо відповідності ДР зазначених РН для продукції аграрних і рибних господарств допускає використанням спектрометрів, як вітчизняного, так і закордонного виробництва. Представлені в науковій літературі дані таких вимірювань, зокрема в [11-13, 18], в сукупності із даними, які отримані в тому числі і за методом радіохімічного аналізу [2, 4], дають підстави для наступного твердження: вироблена на більшості територій сільськогосподарських угідь та водойм продукція рослинництва, тваринництва та рибного промислу в тій або іншій мірі містить РН ^{137}Cs і ^{90}Sr . Вищі рівні активності спостерігаються у продовольчих ресурсах луків та лісу – ягодах і грибах [1, 6, 10]. Зазначене визначає вимоги до апаратури контролю та параметрів випробування. Так для ряду видів продукції досягнення необхідної точності визначення потребує концентрування первинного зразка. У випадку встановлення відсутності перевищення ДР вимірним значенням, наведені дані одночасно свідчать про можливість застосування в процесі контролю неконцентрованих зразків. Критерій співставлення вимірних значень з величиною ДР у випадку сировинної бази тваринництва будується на основі використання лише середніх значень величин активності [7]. Для випадку продовольчої сировини в критерій включено і параметри точності вимірювання активності [3]. Однак останній критерій використовує модель розрахунку показника придатності, в якій при зростанні величини активності і наближенні її до нижньої межі вимірювання не враховуються усереднення та статистичний характер процесів зростання сигналу детектора. Підхід вдосконалення моделі, в результаті чого беруться до уваги зазначені фактори, підвищує достовірність прийнятого рішення та висновку щодо результату випробування. Він обґрунтовує розширення можливостей здійсненні вимірювань поблизу границі чутливості. Один з варіантів удосконалення моделі розрахунку застосовано при вирішенні задачі оцінювання радіаційної якості поверхневих вод [15]. Там же представлено і основи визначення, алгоритм, співвідношення для розрахунку показників придатності та вибору технологічних параметрів випробування.

Невирішені частини проблеми. Недосконалість моделі опису процесу співставлення вимірних значень активності РН ^{137}Cs і ^{90}Sr з їх ДР у продовольчій сировині призводить до необхідності використання двох різних співвідношень для розрахунку показника придатності. Одне правомірно використовувати у випадку, коли наявна активність РН суттєво перевищує мінімальну визначальну питому активність (МВПА), а друге – коли вона менша за МВПА. За таких обставин не є можливим встановлення взаємозв'язку між граничними значеннями метрологічних характеристик спектрометра, технологічними параметрами проведення досліджень, оптимальними їх значеннями та ДР РН ^{137}Cs і ^{90}Sr . Окрім того, слід внести зміни і у співвідношення для обчислення показника придатності, в яких необхідно застосувати уточнені значення коефіцієнту корекції похибки визначення показника.

Мета. Робота присвячена встановленню величини показника радіаційної безпеки за наявності у продовольчій сировині РН ^{137}Cs та ^{90}Sr . Її метою є удосконалення моделі опису процесу співставлення визначеної активності зазначених РН та ДР їх наявності. Передбачено встановлення співвідношень, які описують функціональні зв'язки між характеристиками спектрометра та технологічними параметрами проведення дослідження. Робота зорієнтована на задачі встановлення показника безпеки у випадках низьких значень ДР наявності ^{137}Cs і ^{90}Sr у продовольчій сировині та продуктах харчування.

Завдання. Заявлена мета передбачає встановлення аналітичного співвідношення критерію співставлення даних, яке має містити всі компоненти результату вимірювання. В процедурі оцінювання повинні знайти відображення характеристики спектрометра, параметри методик контролю та МВВ. Є необхідність в апробації отриманих результатів. Для цього передбачається встановлення результату співставлення і величини показника придатності на прикладі даних про активність ^{137}Cs і ^{90}Sr у реальному зразку. Передбачена оцінка впливу параметрів випробування на рішення про придатність.

Основний матеріал, результати, обговорення. Аналітичні співвідношення для розрахунку значення показника придатності до споживання продукції аграрного сектору, рибних господарств, (далі продукція), встановимо на основі підходів теорії метрології та випробувань. Використаємо в якості критерію граничне значення довірчого інтервалу вимірюваної величини. В подальшому

належність величин до РН ^{137}Cs позначимо індексом "Cs". По аналогії, індекс "Sr" відповідатиме належності до РН ^{90}Sr . Значення ДР запишуться тоді як U_{Cs} та U_{Sr} . Також введемо в позначення величин індекс "i", який відповідатиме часу проведення вимірювання t_i . Позначимо через ${}_i\bar{A}_{Cs}$ і ${}_i\bar{A}_{Sr}$ середні значення питомої активності РН ^{137}Cs та ^{90}Sr , які визначаються спектрометром у лічильному зразку продукції. За наближенні обмеженого нормального закону розподілу вимірюваних значень активності ^{137}Cs або ^{90}Sr та ряду менш суттєвих припущень, співвідношення критерію безпечного сукупного впливу на організм людини зазначених РН у продукції, і одночасно в продуктах харчування, може бути представлено як:

$${}^{Cs}K_{Kon} \cdot \frac{{}_i\bar{A}_{Cs}}{U_{Cs}} + {}^{Sr}K_{Kon} \cdot \frac{{}_i\bar{A}_{Sr}}{U_{Sr}} + Z(P_K, P) \cdot K(P) \cdot [({}^{Cs}K_{Kon} \cdot \frac{{}_i\Delta A_{Cs}(P)}{U_{Cs}})^2 + ({}^{Sr}K_{Kon} \cdot \frac{{}_i\Delta A_{Sr}(P)}{U_{Sr}})^2]^{0,5} \leq 1,0. \quad (1)$$

У співвідношенні (1) через ${}^{Cs}K_{Kon}$ і ${}^{Sr}K_{Kon}$ позначено коефіцієнти концентрування продукції по масі, за яким підготовлено лічильний зразок. Величини ${}^{Cs}K_{Kon} \cdot {}_i\bar{A}_{Cs}$ та ${}^{Sr}K_{Kon} \cdot {}_i\bar{A}_{Sr}$ відповідають середнім значенням вимірної питомої активності зазначених РН. Одночасно добутки ${}^{Cs}K_{Kon} \cdot {}_i\Delta A_{Cs}(P)$ та ${}^{Sr}K_{Kon} \cdot {}_i\Delta A_{Sr}(P)$ представляють абсолютну похибку вимірювання відповідного середнього значення. Останні визначені за довірчої імовірності вимірювання P . Числові значення лівої частини нерівності (1) тотожно дорівнює показнику Π_{npd} придатності продукції до споживання. Також у (1) величина $Z(P_K, P)$ – коефіцієнт корекції абсолютної похибки визначення величини активності, значення якої має бути встановленим. Цей коефіцієнт є функцією величини імовірності достовірності контролю P_K та імовірності P . Коефіцієнт $K(P)$ враховує вплив на вимірне значення активності РН закону розподілу та співвідношення систематичної і випадкової складової похибок вимірювання активності РН.

Позначимо МВПА_{Cs} через ${}_i^m A_{Cs}$, а МВПА_{Sr} як ${}_i^m A_{Sr}$. Значення відповідають часу вимірювання t_i . Встановимо відношення МВПА до ДР. Позначимо їх через ${}_i^m C = {}_i^m A_{Cs} / U_{Cs}$ та ${}_i^m S = {}_i^m A_{Sr} / U_{Sr}$. Як правило, у МВВ встановлено вимоги до технічних характеристик спектрометра та визначена похибка вимірювання. Зазначається і величина точності та відносної похибки у прив'язці до величини МВПА. Тому розглянемо два розрахункові параметри кратності активності, які поєднують в собі всі визначені програмним забезпеченням (ПЗ) спектрометра величини. Їх можна визначити наступним чином:

$${}_i\chi_{Cs} = {}_i\bar{A}_{Cs} / {}_i^m A_{Cs}, \quad {}_i\chi_{Sr} = {}_i\bar{A}_{Sr} / {}_i^m A_{Sr}; \quad {}_i\omega_{Cs} = {}_i\Delta A_{Cs}(P) / {}_i^m A_{Cs}, \quad {}_i\omega_{Sr} = {}_i\Delta A_{Sr}(P) / {}_i^m A_{Sr}. \quad (2)$$

За тривалого часу вимірювання, який на практиці становить величину більшу за 2400 с, найбільш інформативним є представлення залежності відносної похибки вимірювання активності для кожного із РН – ${}_i\delta_{cs} = {}_i\omega_{Cs} / {}_i\chi_{Cs}$ та ${}_i\delta_{Sr} = {}_i\omega_{Sr} / {}_i\chi_{Sr}$, як функції відповідних параметрів кратності – ${}_i\chi_{Cs}$ і ${}_i\chi_{Sr}$. Дискретний ряд значень таких залежностей може бути встановлений за даними, які розраховані ПЗ спектрометра при варіації часу t_i . Для зразків з низьким рівнем активності є доцільним проведення апроксимації отриманих даних нормованою функцією Гауса. Встановлені згідно (2) параметри визначають активність та похибку її вимірювання в одиницях, які кратні МВПА. Показник Π_{npd} стає функцією, як ${}_i\chi_{Cs}$, так і ${}_i\chi_{Sr}$. Позначимо його через $\Pi_{npd}({}_i\chi_{Cs}, {}_i\chi_{Sr})$. Трансформуємо ліву частину співвідношення (1) з виділенням двох складових показника придатності. Перша – це середнє значення показника $\bar{\Pi}_{npd}({}_i\chi_{Cs}, {}_i\chi_{Sr})$, а друга – $\Delta\Pi_{npd}({}_i\chi_{Cs}, {}_i\chi_{Sr})$ – похибка його визначення. Представимо їх як:

$$\bar{\Pi}_{npd}({}_i\chi_{Cs}, {}_i\chi_{Sr}) = {}^{Cs}K_{Kon} \cdot {}_i\chi_{Cs} \cdot {}_i^m C + {}^{Sr}K_{Kon} \cdot {}_i\chi_{Sr} \cdot {}_i^m S. \quad (3)$$

$$\Delta\Pi_{npd}({}_i\chi_{Cs}, {}_i\chi_{Sr}) = K(P) \cdot [({}^{Cs}K_{Kon} \cdot {}_i\chi_{Cs} \cdot {}_i^m C \cdot {}_i\delta_{cs})^2 + ({}^{Sr}K_{Kon} \cdot {}_i\chi_{Sr} \cdot {}_i^m S \cdot {}_i\delta_{Sr})^2]^{0,5}. \quad (4)$$

У рівняннях (3) і (4) значення ${}_i^m C$, ${}_i^m S$, ${}_i\chi_{Cs}$, ${}_i\chi_{Sr}$ та ${}_i\delta_{cs}$ і ${}_i\delta_{Sr}$ відповідають даним, які зафіксовані в час вимірювання t_i . За використання введених позначень складові частини критерію безпечного вмісту ^{137}Cs і ^{90}Sr , а саме показник придатності продукції, а також відносна похибка визначення останнього – $\delta_{npd}({}_i\chi_{Cs}, {}_i\chi_{Sr})$, будуть визначатись наступними співвідношеннями:

$$\Pi_{npd}(i\chi_{Cs}, i\chi_{Sr}) = \bar{\Pi}_{npd}(i\chi_{Cs}, i\chi_{Sr}) + Z(P, P) \cdot \Delta\Pi_{npd}(i\chi_{Cs}, i\chi_{Sr}) \leq 1,0. \quad (5)$$

$$\delta_{npd}(i\chi_{Cs}, i\chi_{Sr}) = \Delta\Pi_{npd}(i\chi_{Cs}, i\chi_{Sr}) / \bar{\Pi}_{npd}(i\chi_{Cs}, i\chi_{Sr}). \quad (6)$$

Співвідношення (5) і (6) є загальними. Вони визначають умови радіаційної безпеки для будь-якої харчової продукції, в тому числі аграрних та рибних господарств. Відносні похибки $i\delta_{cs}$ і $i\delta_{sr}$ встановлюється по даним абсолютні похибки вимірювання $i\Delta A_{Cs}(P)$ та $i\Delta A_{Sr}(P)$ з нерівності (1). В її структуру часто вводиться і коефіцієнт $K(P)$, який, як зазначалося, виконує роль компенсатора впливу закону розподілу вимірюваних значень на похибку при зміні значення P . Запис критерію у вигляді (5) є відображенням навантаження на організм людини сукупного випромінювання РН ^{137}Cs і ^{90}Sr .

В практиці бета-спектрометричних досліджень вмісту РН ^{137}Cs та ^{90}Sr у продукції рибної та аграрної галузей виробництва, а також у продуктах харчування, часто виникає ситуація, коли хоча би для одного, а то і обох РН, наявна активність менша за добуток – (коефіцієнт концентрування · МВПА). Остання, як правило, визначається за певних умов підготовки лічильного зразка при $^{Cs}K_{Kon} = ^{Sr}K_{Kon} = 1,0$. Припустимо рівність коефіцієнтів запасу mZ для обох РН. Відносні похибки МВПА за довірчої імовірності P позначимо через ${}_{\text{МВПА}}\delta_{Cs}$ та ${}_{\text{МВПА}}\delta_{Sr}$, їх значення при розрахунку МВПА повинні бути приведені до величини не більшої за ${}_{\text{МВПА}}\delta_{Cs} = {}_{\text{МВПА}}\delta_{Sr} = 0,40$. У випадку коли виміряна активність РН є меншою за розраховане значення МВПА або за уточненим критерієм меншою за $1,25 \cdot \text{МВПА}$ [13], рівняння (3) і (4) критерію придатності продукції до споживання трансформуються в наступні:

$$\bar{\Pi}_{npd}(i\chi_{Cs}, i\chi_{Sr}) = {}^{Cs}K_{Kon} \cdot {}^mZ \cdot {}^mC + {}^{Sr}K_{Kon} \cdot {}^mZ \cdot {}^mS. \quad (7)$$

$$\Delta\Pi_{npd}(i\chi_{Cs}, i\chi_{Sr}) = K(P) \cdot [({}^mZ \cdot {}^{Cs}K_{Kon} \cdot {}^mC \cdot 0,40)^2 + ({}^mZ \cdot {}^{Sr}K_{Kon} \cdot {}^mS \cdot 0,40)^2]^{0,5}. \quad (8)$$

З критерію придатності (5), його компонентів (7) і (8) випливає, що при проведенні порівняння вимірних значень активності з ДР на рішення щодо встановлення придатності суттєво впливають метрологічні характеристики спектрометра. У спектрометричних МВВ зазвичай подається інформація щодо мінімального та максимального значення похибки вимірювання. Як відомо, остання зростає при наближенні до нижньої межі вимірювання. За зростання похибки критерій (5) буде виконуватись лише при зменшенні величин добутоків ${}^{Cs}K_{Kon} \cdot {}^m A_{Cs}$ та ${}^{Sr}K_{Kon} \cdot {}^m A_{Sr}$. Це підкреслює актуальність розгляду в застосуванні критерію придатності саме в діапазоні активності поблизу нижньої межі вимірювання.

В процесі встановлення показника придатності можливо використати серію з N даних, яка на одному лічильному зразку встановлюється послідовною реєстрацією величин, які визначаються ПЗ спектрометра в різний час t_i . В такому випадку представлення результатів у вигляді розрахункових параметрів згідно (2), дозволяє провести процедуру їх усереднення за методом мінімізації квадратів відхилень та визначити параметри функції апроксимації. Рівняння однієї з можливих апроксимуючих функцій в ортогональних координатах $({}_H\tilde{\delta}(i\chi_{Cs}), i\chi_{Cs})$ на прикладі РН ^{137}Cs представлено нижче:

$${}_H\tilde{\delta}(i\chi_{Cs}) = {}_{он}\tilde{\delta}_{Cs} + (0,40 - {}_{он}\tilde{\delta}_{Cs}) \cdot \exp\left[-\frac{1}{2} \cdot \frac{(i\chi_{Cs} - 1)^2}{{}_{он}\tilde{\sigma}_{Cs}^2}\right]. \quad (9)$$

У рівнянні (9) величини ${}_{он}\tilde{\delta}_{Cs}$ та ${}_{он}\tilde{\sigma}_{Cs}$ позначають параметри нормованої функції Гауса. Вони встановлюються в процесі її визначення. Рівняння (9) обумовлює перехід від коефіцієнту mZ до залежного від $i\chi_{Cs}$ коефіцієнту ${}^mZ(i\chi_{Cs})$. Встановлення аналітичного виразу останнього базується на припущенні, що розподіл коефіцієнту як функції $i\chi_{Cs}$ є співвідносним до розподілу відносної похибки вимірювання активності РН ^{137}Cs по цьому ж параметру. Значення коефіцієнту можна встановити, якщо виділити у ньому постійну та змінну складової. Враховуючи, що діапазон варіації коефіцієнта ${}^mZ(i\chi_{Cs})$ становить $({}^mZ(i\chi_{Cs}) - 1,0)$, раціонально поставити у відповідність останньому діапазон зміни відносної похибки, який становить $(0,40 - {}_{оe}\tilde{\delta}_{Cs})$. Тут ${}_{оe}\tilde{\delta}_{Cs}$ є межею, до якої наближається похибка у випадку даних серії вимірювань, яка здійснена на лічильному зразку високої активності. Множник переходу β_{Cs} визначатиметься тоді за рівнянням $\beta_{Cs} = 1 / (0,40 - {}_{оe}\tilde{\delta}_{Cs})$.

Припустимо що в точці ${}_i\chi_{Cs} = 1,0$ значення ${}^mZ({}_i\chi_{Cs}) = 1,2$. В такому випадку рівняння для розрахунку ${}^mZ({}_i\chi_{Cs})$ буде наступним:

$${}^mZ({}_i\chi_{Cs}) = 1,0 + 0,2 \cdot \left\{ \frac{{}_{он}\tilde{\delta}_{Cs} - {}_{об}\tilde{\delta}_{Cs}}{0,40 - {}_{об}\tilde{\delta}_{Cs}} + \frac{0,40 - {}_{он}\tilde{\delta}_{Cs}}{0,40 - {}_{об}\tilde{\delta}_{Cs}} \cdot \exp \left[-\frac{1}{2} \cdot \frac{({}_i\chi_{Cs} - 1)^2}{{}_{он}\tilde{\sigma}_{Cs}^2} \right] \right\}. \quad (10)$$

Представлення (10) для коефіцієнта ${}^mZ({}_i\chi_{Cs})$ вказує на відсутність поблизу точки ${}_i\chi_{Cs} = 1,0$ різкого, ступеневого переходу його значень від величин 1,2 до 1,0. Такий ступеневий перехід, як зазначалось вище, з фізичних міркувань є некоректним. За необхідності зміни початкового значення ${}^mZ(1,00) = 1,2$ множник 0,2 може бути замінений на визначену заздалегідь величину. Вона розраховується як ${}^mZ({}_i\chi_{Cs}) - 1$. При встановленні ${}_{он}\tilde{\delta}_{Cs}$ слід розрізняти два випадки. Перший – коли виміряні середні значення активності ${}_i\bar{A}_{Cs}$ є більшими за $1,25 \cdot {}_i^m A_{Cs}$, а другий – коли вони не перевищують або дорівнюють йому. Спосіб визначення значень ${}_{он}\tilde{\delta}_{Cs}$ та ${}_{об}\tilde{\delta}_{Cs}$ для першого і другого випадків описано в [15]. Зазначені величини одночасно виступають і в якості параметрів варіації. За подібною процедурою можна встановлювати і величину ${}_{об}\tilde{\delta}_{Cs}$, яку доцільно визначити невдовзі після метрологічної атестації спектрометра проводячи вимірювання референтного зразка з високим рівнем активності. Подібні (9) і (10) співвідношення, в яких індекс "Cs" буде замінено індексом "Sr", застосовуються для випадку РН ${}^{90}\text{Sr}$. Слід акцентувати увагу на тому, що пари встановленні за аналогічним алгоритмом величини ${}_{об}\tilde{\delta}_{Sr}$, ${}_{он}\tilde{\delta}_{Sr}$ і ${}_{он}\tilde{\sigma}_{Sr}$, а також функції ${}_H\tilde{\delta}({}_i\chi_{Sr})$ та коефіцієнту ${}^mZ({}_i\chi_{Sr})$ використовуються інші, відмінні від ${}_i\chi_{Cs}$ значення, а саме ${}_i\chi_{Sr}$.

Структура співвідношень показника придатності (5) за використання рівнянь (3), (4) та (7) і (8) є подібною за двох умов. Перша – це припущення, що в (3) і (4) коефіцієнт ${}^mZ = 1,0$. Друга умова стосується значення відносної похибки в момент вимірювання, який фіксується часом t_i . Розглянемо ситуацію, коли відносні похибки у (4) описуються функціями, значення яких при величині параметрів кратності ${}_i\chi_{Cs} > 1,25$ та ${}_i\chi_{Sr} > 1,25$, для часу t_i співпадатимуть із значення ${}_i\tilde{\delta}_{Cs}$ та ${}_i\tilde{\delta}_{Sr}$. Окрім того, одночасно, за наближення параметрів ${}_i\chi_{Cs}$ і ${}_i\chi_{Sr}$ до 1,0 зазначені функції добігатимуть до величин ${}_i\tilde{\delta}_{Cs} = {}_i\tilde{\delta}_{Sr} = 0,40$. Найпростішими функціями такого типу, зокрема, можуть вважатись функції пучка прямих, які проходять через точку із координатами $({}_i\tilde{\delta}_{Cs} = 0,40, {}_i\chi_{Cs} = 1,0)$ для РН ${}^{137}\text{Cs}$ та відповідно для РН ${}^{90}\text{Sr}$ – $({}_i\tilde{\delta}_{Sr} = 0,40, {}_i\chi_{Sr} = 1,0)$. Аналітичний запис функцій пучка прямих є наступним:

$${}_i\tilde{\delta}_{Cs} = \frac{{}_i\tilde{\omega}_{Cs} - 0,40}{{}_i\chi_{Cs} - 1} - \frac{{}_i\tilde{\omega}_{Cs} - 0,40 \cdot {}_i\chi_{Cs}}{({}_i\chi_{Cs} - 1) \cdot {}_i\chi_{Cs}}; \quad {}_i\tilde{\delta}_{Sr} = \frac{{}_i\tilde{\omega}_{Sr} - 0,40}{{}_i\chi_{Sr} - 1} - \frac{{}_i\tilde{\omega}_{Sr} - 0,40 \cdot {}_i\chi_{Sr}}{({}_i\chi_{Sr} - 1) \cdot {}_i\chi_{Sr}}. \quad (11)$$

У рівняннях (11) ${}_i\tilde{\omega}_{Cs}$ та ${}_i\tilde{\omega}_{Sr}$ – нові значення параметрів ${}_i\omega_{Cs}$ і ${}_i\omega_{Sr}$. Останні встановлені раніше згідно рівняння (2). З урахуванням визначення величин ${}_H\tilde{\delta}({}_i\chi_{Cs})$ і ${}_H\tilde{\delta}({}_i\chi_{Sr})$ за даними N вимірювань та наступною їх апроксимацією, розрахункові значення ${}_i\tilde{\omega}_{Cs}$ та ${}_i\tilde{\omega}_{Sr}$ встановлюються згідно рівнянь:

$${}_i\tilde{\omega}_{Cs} = {}_H\tilde{\delta}({}_i\chi_{Cs}) \cdot {}_i\chi_{Cs}, \quad {}_i\tilde{\omega}_{Sr} = {}_H\tilde{\delta}({}_i\chi_{Sr}) \cdot {}_i\chi_{Sr}. \quad (12)$$

Застосування рівняння (11) у співвідношеннях (4) і (8) та величини ${}^mZ({}_i\chi_{Cs})$ додатково у (3) і (7) показує, що два розглянутих варіанти розрахунку показника придатності можуть бути приведені до одного. Встановлене в такий спосіб аналітичне співвідношення забезпечить з високим ступенем наближення тотожність визначення величини показника придатності при значеннях параметру кратності ${}_i\chi_{Cs} = {}_i\chi_{Sr} \leq 1,0$, а також при ${}_i\chi_{Cs} = {}_i\chi_{Sr} \gg 1,0$. Виходячи з представлених результатів, розрахувавши попередньо значення коефіцієнтів ${}^mZ({}_i\chi_{Cs})$ та ${}^mZ({}_i\chi_{Sr})$, можна записати вирази для компонентів узагальненого показника придатності за різних значень ${}_i\chi_{Cs}$ та ${}_i\chi_{Sr}$ у вигляді рівнянь:

$$\tilde{\Pi}_{npd}(i\chi_{Cs}, i\chi_{Sr}) = {}^{Cs}K_{Kon} \cdot {}^mZ(i\chi_{Cs}) \cdot i\chi_{Cs} \cdot {}^mC + {}^{Sr}K_{Kon} \cdot {}^mZ(i\chi_{Sr}) \cdot i\chi_{Sr} \cdot {}^mS \quad (13)$$

$$\Delta\tilde{\Pi}_{npd}(i\chi_{Cs}, i\chi_{Sr}) = K(P) \cdot \{ [{}^{Cs}K_{Kon} \cdot {}^mZ(i\chi_{Cs}) \cdot i\chi_{Cs} \cdot {}^mC \cdot (\frac{\tilde{\omega}_{\chi_{Xx}} - 0,40}{i\chi_{Xx} - 1} - \frac{i\tilde{\omega}_{\chi_{Xx}} - 0,40 \cdot i\chi_{Xx}}{(i\chi_{Xx} - 1) \cdot i\chi_{Xx}})]^2 + [{}^{Sr}K_{Kon} \cdot {}^mZ(i\chi_{Sr}) \cdot i\chi_{Sr} \cdot {}^mS \cdot (\frac{\tilde{\omega}_{\chi_{Xx}} - 0,40}{i\chi_{Xx} - 1} - \frac{i\tilde{\omega}_{\chi_{Xx}} - 0,40 \cdot i\chi_{Xx}}{(i\chi_{Xx} - 1) \cdot i\chi_{Xx}})]^2 \}^{0,5}. \quad (14)$$

Критерій (5) в поєднанні з рівняннями (13) і (14) є універсальним. Він поєднує випадки, які стосуються знаходження величини $\tilde{\Pi}_{npd}(i\chi_{Cs}, i\chi_{Sr})$ згідно рівнянь (3), (4) та (7) і (8). Вихідними для розрахунків служать встановлені нормативно-правовою базою та в результаті вимірювань параметри $i\chi_{Cs}$, $i\omega_{Cs}$, ${}^m A_{Cs}$, U_{Cs} та $i\chi_{Sr}$, $i\omega_{Sr}$, ${}^m A_{Sr}$, U_{Sr} . В такій же якості виступають і попередньо визначені величини ${}_{ov}\tilde{\delta}_{Cs}$, ${}_{on}\tilde{\delta}_{Cs}$, ${}_{on}\tilde{\sigma}_{Cs}$ та ${}_{ov}\tilde{\delta}_{Sr}$, ${}_{on}\tilde{\delta}_{Sr}$ і ${}_{on}\tilde{\sigma}_{Sr}$. Інформація про них є необхідною для розрахунку коефіцієнтів ${}^mZ(i\chi_{Cs})$, ${}^mZ(i\chi_{Sr})$ в точках різних $i\chi_{Cs}$, $i\chi_{Sr}$ та інших величини з рівнянь (8) та мінімізації відхилень. Технологічними параметрами служать маса зразка, час t_i , число вимірювань N , а також значення коефіцієнтів ${}^{Cs}K_{Kon}$, ${}^{Sr}K_{Kon}$. В процесі випробування ці величини можуть змінюватись.

Рівняння (13), (14) застосовані при встановленні величин показників $\tilde{\Pi}_{npd}(i\chi_{Cs}, i\chi_{Sr})$ у випадку продукції лісового походження "Гриби охолоджені, моховики". Контроль вмісту РН ${}^{137}\text{Cs}$ та ${}^{90}\text{Sr}$ у такій продукції є актуальним через значну їх міграцію з ґрунту в кореневу систему гриба, а також ефект акумуляції. Дослідження проводилось з використанням спектрометра СЕБ 01–150. Високі значення ДР для даної продукції ($U_{Cs} = 500$ Бк/кг і $U_{Sr} = 50$ Бк/кг) створюють передумови для визначення зазначеного показника без проведення процедури концентрування. Однак через пористу структуру і, як наслідок малу питому вагу зразків грибів, виникає необхідність застосування геометрії вимірювання, яка відповідає масі лічильного зразка $m_{zp} = 96$ г або меншій. Використання такого зразка передбачає суттєво більші величини МВПА_{Cs} та МВПА_{Sr}. За цих обставин можна вважати доцільним проведення попереднього оцінювання величини технологічних параметрів випробування, зокрема часу t_i .

Проведене дослідження засвідчило наявність у зразку продукції "Гриби охолоджені, моховики" РН ${}^{137}\text{Cs}$. Воно показало і на можливу низьку (меншу за МВПА_{Sr}) наявність РН ${}^{90}\text{Sr}$. Для прийняття рішення щодо придатності даного продукту до споживання було проведено обрахунок даних випробування згідно представлених вище співвідношень. Результати для різного часу t_i наведено в табл. 1. Там же подано дані про первинні та вторинні параметри випробування, а також значення показника $\tilde{\Pi}_{npd}(i\chi_{Cs}, i\chi_{Sr})$, які отримані шляхом традиційної обробки результатів вимірювання.

Величина різниці ${}_{on}\tilde{\delta}_{Cs} - {}_{ov}\tilde{\delta}_{Cs} = 0,0204$ свідчить про незначну наявність у досліджуваних грибах "сторонніх" РН природного походження. Це обумовлює наведені в табл. 1 величини коефіцієнту ${}^mZ(i\chi_{Cs})$, яка із зростанням параметру кратності $i\chi_{Sr}$ наближається до 1,019739. Спостерігається і зміна в показниках $\tilde{\Pi}_{npd}(i\chi_{Cs}, i\chi_{Sr})$ і $\Pi_{npd}(i\chi_{Cs}, i\chi_{Sr})$. Від значень 1,4396 і 1,4298 вони із збільшенням часу t_i зменшуються до величини, відповідно 0,8720 та 0,8668, що відповідає умові придатності до споживання досліджуваного зразка продукції. Такий перехід величини показників від більших за 1,0 значень до менших за неї є наслідком зменшення величини МВПА_{Cs} та МВПА_{Sr} із зростанням часу t_i . Це підтверджує припущення про важливість та необхідність проведення попереднього оцінювання величин технологічних параметрів випробування, зокрема необхідного часу вимірювання.

Апроксимація виміряних значень похибки вимірювання активності нормованою функцією Гауса згідно запропонованої моделі в процесі визначення показника придатності призводить до зростання його величини. Значення $i\chi_{Cs}$ та $i\chi_{Sr}$ у показнику $\tilde{\Pi}_{npd}(i\chi_{Cs} = \dots, i\chi_{Sr} = \dots) = \dots$ надають інформацію щодо співвідношення між рівнем активності ${}^{137}\text{Cs}$ та ${}^{90}\text{Sr}$ у продукції та МВПА спектрометра для цих РН. Підхід, співвідношення обрахунку, форма представлення показника направлені на вдосконалення процедури трактування даних вимірювання, а також

результату випробування. Наведені в табл. 1 підвищені значення показника $\tilde{\Pi}_{\text{пдо}}(i\chi_{Cs}, i\chi_{Sr})$ доцільно трактувати як додаткову гарантію коректності висновку про безпечність наявного вмісту РН ^{137}Cs та ^{90}Sr у продукції "Гриби охолоджені, моховики".

Таблиця 1

Значення у відносних одиницях для зразка "Гриби охолоджені, маслоки" первинних і вторинних розрахункових параметрів, коефіцієнтів ${}^m\text{Z}(i\chi_{Cs})$, ${}^{Cs}K_{Kon}$, ${}^{Sr}K_{Kon}$ та показників

$\tilde{\Pi}_{\text{пдо}}(i\chi_{Cs}, i\chi_{Sr})$ і $\Pi_{\text{пдо}}(i\chi_{Cs}, i\chi_{Sr})$ при різних $i\chi_{Cs}$ та $i\omega_{Cs}$

Вихідні та вторинні параметри							Коефіцієнти і показники					
${}_{ob}\tilde{\delta}_{Cs} = 0,1933$; ${}_{on}\tilde{\delta}_{Cs} = 0,2137$; ${}_{on}\tilde{\sigma}_{Cs} = 0,4932$; ${}^{Cs}K_{Kon} = {}^{Sr}K_{Kon} = 1,0$; $N = 6$; $[{}^m_iA_{Cs}] = [{}^m_iA_{Sr}] = [\text{Бк.кг}]$; $U_{Cs} = 500 \text{ Бк/кг}$; $U_{Sr} = 50 \text{ Бк/кг}$							${}^m\text{Z}(i\chi_{Cs})$	$\tilde{\Pi}_{\text{пдо}}(i\chi_{Cs}, i\chi_{Sr})$	$\Pi_{\text{пдо}}(i\chi_{Cs}, i\chi_{Sr})$			
t_i, c	$i\chi_{Cs}$	$i\omega_{Cs}$	${}^m_iA_{Cs}$	$i\chi_{Sr}$	${}^m_iA_{Sr}$	${}^m\tilde{\delta}(i\chi_{Cs})$						
2400	2,06272	0,47626	59,63	1,0001	32,00	0,23198	1,037428	1,43961	1,42981			
3600	2,48705	0,54715	48,25	1,0001	26,13	0,21568	1,021652	1,21353	1,20831			
4800	2,84337	0,61686	41,50	1,0001	22,63	0,21387	1,019906	1,08098	1,07620			
6000	3,12416	0,66791	37,13	1,0001	20,13	0,21372	1,019756	0,98558	0,98067			
7200	3,37777	0,70815	33,75	1,0001	18,38	0,21370	1,019740	0,91761	0,91244			
8400	3,72631	0,78703	31,13	1,0001	17,00	0,21370	1,019739	0,87198	0,86680			

Представлені алгоритм знаходження складових критерію (5) в сукупності з розрахунковими величинами, рівнянь (13) і (14) забезпечує можливість оцінювання діапазону концентрування досліджуваної продукції сільського і рибного господарства, а також морепродуктів при комбінованому використанні при випробуванні концентрованих та неконцентрованих лічильних зразків. Детальний розгляд такого способу визначення показника придатності видається важливою в практичній діяльності задачею. Її вирішення дозволяє окреслити можливості для суттєвого скорочення часу випробування.

Розглянемо випадок послідовного вимірювання активності, коли активність РН ^{90}Sr вимірюється бета-спектрометром з використанням неконцентрованого зразка. За таких умов значення коефіцієнтів становлять ${}^{Sr}K_{Kon} = 1,0$, ${}^m\text{Z}(i\chi_{Sr}) = 1,20$, а розрахункових параметрів і вимірюваних величин – $i\chi_{Sr} = 1,0001$ аі ${}^m\tilde{\delta}_{Sr} = 0,40$. Критерій (5), як показник придатності продукції $\tilde{\Pi}_{\text{пдо}}(i\chi_{Cs}, i\chi_{Sr})$, за усередненими даними вимірювань з урахуванням величин з рівнянь (11), (13), (14) прийме тоді наступний вигляд:

$$\tilde{\Pi}_{\text{пдо}}(i\chi_{Cs}, i\chi_{Sr}) = {}^m\text{Z}(i\chi_{Cs}) \cdot {}^{Cs}K_{Kon} \cdot i\chi_{Sr} \cdot {}^m_iC + 1,20 \cdot {}^m_iS + \text{Z}(P_k, P) \cdot K(P) \cdot \{ [{}^m\text{Z}(i\chi_{Cs}) \cdot {}^{Cs}K_{Kon} \cdot i\chi_{Sr} \cdot {}^m_iC \cdot {}^m\tilde{\delta}_{Cs}]^2 + [1,20 \cdot {}^m_iS \cdot (0,40)]^2 \}^{0,5} \leq 1,0. \quad (15)$$

Співвідношення (15) у випадку рівності за відомих технологічних параметрів проведення випробування забезпечує можливість визначення максимального значення активності РН ^{137}Cs , яке при заданих значеннях U_{Cs} і U_{Sr} та відомому коефіцієнті ${}^{Cs}K_{Kon}$ може бути виміряне та відповідати умові придатності. Зворотна задача, яка також може бути вирішена – це за відомого значення активності знаходження величини необхідного коефіцієнту ${}^{Cs}K_{Kon}$, за якого буде виконуватись (15). Розглянемо такі випадки детальніше. Для спрощення запису в подальшому введемо позначення:

$$Q({}^{Cs}K_{Kon} \cdot i\chi_{Cs}) = {}^{Cs}K_{Kon} \cdot {}^m\text{Z}(i\chi_{Cs}) \cdot i\chi_{Cs} \cdot {}^m_iC. \quad (16)$$

Замінімо в (15) відповідні множники на $Q({}^{Cs}K_{Kon} \cdot i\chi_{Cs})$. Для випадку рівності 1,0 доданків лівої частини (15) отримаємо алгебраїчне рівняння, яке має аналітичний розв'язок по відношенню до величини $Q({}^{Cs}K_{Kon} \cdot i\chi_{Cs})$. В ньому величини ${}^m\text{Z}(i\chi_{Cs})$, m_iS та ${}^m\tilde{\delta}_{Cs}$ можуть виступати в якості параметрів варіації. Розглянемо випадок, коли результат випробування повинен бути забезпечений з імовірністю контролю $P_k = 0,95$. Для випадку використання бета-спектрометра, в якому у ПЗ для визначення питомої активності використано величина $P = 0,95$, значення коефіцієнтів є наступними: $\text{Z}(P_k, P) = 1,21$, $K(P) = 1,10$. За таких умов отримаємо рішення рівняння у вигляді наступної рівності:

$$Q^{(Cs}K_{Kon} \cdot i \chi_{Cs}) = \frac{(1-1,2 \cdot {}^m S) - \sqrt{(1-1,2 \cdot {}^m S)^2 - [1 - (1,331 \cdot \tilde{\delta}_{Cs})^2] \cdot [(1-1,2 \cdot {}^m S)^2 - (0,63888 \cdot {}^m S)^2]}}{1 - (1,331 \cdot \tilde{\delta}_{Cs})^2} \quad (17)$$

У останньому співвідношенні (17) значення кореню квадратного використано із знаком (-). Протилежний знак (+) приводить до збільшення величини $Q^{(Cs}K_{Kon} \cdot i \chi_{Cs})$ і, як наслідок, до невиконання нерівності (5). Рішення (17) віддзеркалює функціональну залежність між $Q^{(Cs}K_{Kon} \cdot i \chi_{Cs})$ та величинами ${}^m S$ і $\tilde{\delta}_{Cs}$, які стосуються відповідно РН ^{137}Cs та ^{90}Sr . Значення $Q^{(Cs}K_{Kon} \cdot i \chi_{Cs})$ може бути знайдене при різних зазначених величинах, діапазон варіації яких пов'язаний з МВПА спектрометра та часом t_i .

Здійснення контролю за вмістом ^{90}Sr та ^{137}Cs у продукції рибних господарств та морепродуктах можна розглядати як складову частину заходів, метою яких є покращення конкурентноздатності продукції на ринках споживання [5]. З цієї причини в таблиці 2 представлено результати розрахунків, які стосуються досліджень рибної продукції. При цьому використано дані про характеристики бета-спектрометра СЕБ 01–150. Через наближену до 1,0 г/см³ питому вагу продукції масу лічильного зразка вибрано як 0,16 кг. Дані відповідають часу $t_i = 7200$ с та $t_i = 14400$ с. Величина МВПА для таких t_i в одиницях Бк/кг є наступною: при $t_i = 7200$ с $МВПА_{Cs} = 20,88$, $МВПА_{Sr} = 17,75$, а при $t_i = 14400$ с – відповідно 14,76 та 12,55. Значення коефіцієнту ${}^m Z(i \chi_{Cs})$ встановлювалось по величині $\tilde{\delta}_{Cs}$ згідно рівняння (10) за припущення, що час t_i є тривалим. За такої ситуації величину експоненти в (10) можна вважати наближеною до нуля. В розрахунках використано усереднене значення $\tilde{\delta}_{Cs} = 0,20$. Величина $Q^{(Cs}K_{Kon} \cdot i \chi_{Cs})$, оціночний параметр ${}^{Cs}K_{Kon} \cdot i \chi_{Cs}$ та похибка $\delta_{npd}(i \chi_{Cs}, i \chi_{Sr})$ встановлювались відповідно рівнянням (17), (16) і (6). Як параметри варіації використано величини ${}^m Z(i \chi_{Cs})$, ${}^m A_{Cs}$, ${}^m A_{Sr}$ і $\tilde{\delta}_{Cs}$.

Таблиця 2

Значення параметрів $Q^{(Cs}K_{Kon} \cdot i \chi_{Cs})$, ${}^{Cs}K_{Kon} \cdot i \chi_{Cs}$, $\delta_{npd}(i \chi_{Cs}, i \chi_{Sr})$ для випадку випробування продукції рибних господарств за різних МВПА_{Cs} і МВПА_{Sr} при варіації величини похибки $\tilde{\delta}_{Cs}$.

$[U_{Cs}]$ (U_{Sr})	$[{}^m A_{Cs}]$ (${}^m A_{Sr}$)	Розрахункові величини	$\tilde{\delta}_{Cs} = 0,25$ ${}^m Z(i \chi_{Cs}) = 1,05$	$\tilde{\delta}_{Cs} = 0,30$ ${}^m Z(i \chi_{Cs}) = 1,10$	$\tilde{\delta}_{Cs} = 0,35$ ${}^m Z(i \chi_{Cs}) = 1,15$	$\tilde{\delta}_{Cs} = 0,38$ ${}^m Z(i \chi_{Cs}) = 1,18$
[150] (35)	[20,88] (17,75)	$Q^{(Cs}K_{Kon} \cdot i \chi_{Cs})$	0,066667	0,066344	0,065971	0,065724
		${}^{Cs}K_{Kon} \cdot i \chi_{Cs}$	0,456123	0,433281	0,412113	0,400131
		$\delta_{npd}(i \chi_{Cs}, i \chi_{Sr})$	0,397487	0,398072	0,398749	0,399820
	[14,76] (12,55)	$Q^{(Cs}K_{Kon} \cdot i \chi_{Cs})$	0,317449	0,309434	0,301099	0,296038
		${}^{Cs}K_{Kon} \cdot i \chi_{Cs}$	3,072483	2,858777	2,660825	2,549590
		$\delta_{npd}(i \chi_{Cs}, i \chi_{Sr})$	0,278820	0,290786	0,303529	0,311270

Результати табл. 2 ілюструють зменшення можливих максимальних значень вимірюваної питомої активності РН ^{137}Cs при збільшенні відносної похибки вимірювання. Розширення діапазону вимірювання таких значень буде спостерігатись із зменшенням величин МВПА_{Cs} та МВПА_{Sr}. Дані табл. 2 показують, що у випадку вимірювання вмісту ^{90}Sr на протязі 7200 с для визначення вмісту РН ^{137}Cs необхідно проводити повторне вимірювання. При цьому необхідне використання лічильного зразка, який підготовлений за процедурою концентрування. Коефіцієнт концентрування не має перевищувати величину $\approx 0,40$. При збільшенні часу вимірювання вдвічі, до 14400 с, стає можливим визначення вмісту обох РН ^{137}Cs та ^{90}Sr за використання одного неконцентрованого лічильного зразка продукції. У випадку, коли активність РН ^{90}Sr є меншою за 12,55 Бк/кг, наявна активність РН ^{137}Cs в ідеальному випадку до 37,63 Бк/кг ще буде відповідати критерію придатності продукції до споживання.

Оцінимо параметри випробування у випадку продукції рослинництва аграрного сектору. Нормативне значення ДР в порівнянні з продукцією рибних господарств є суттєво меншими. Тому можна очікувати, що в процесі випробування стане необхідним використання етапу

концентрування. Використання концентрованого лічильного зразка обумовлює ще одну можливу відмінність від попереднього випадку. Суть її в тому, що за спрощеної процедури концентрування шляхом озолення, лічильний зразок має меншу густину. Його вимірювання можливе лише за збільшених величин МВПА_{Cs}. Тому в розрахунках використовується значення МВПА_{Cs}, які наближено відповідають густині золи у лічильному зразку 0,6 г/см³. При цьому очікувано зменшуються значення $Q(^{Cs}K_{Kon}; i\chi_{Cs})$.

В таблиці 3 представлені результати розрахунку оціночного параметра $^{Cs}K_{Kon}; i\chi_{Cs}$ при варіації параметрів, тотожних попередньо наведеному прикладу. Увагу зосереджено на випадках незначних величин МВПА_{Cs} та МВПА_{Sr}. Досягнення таких величин в процесі випробування можливе за рахунок збільшення часу t_i . Значок "@" позначає випадки, в яких параметр $^{Cs}K_{Kon}; i\chi_{Cs}$ не є визначеним через від'ємне значення величини $Q(^{Cs}K_{Kon}; i\chi_{Cs})$. Останнє спостерігається, якщо у (17) значення кореню квадратного перевищує величину $(1 - 1,2 \cdot {}^m_i S)$, що з метрологічної точки зору видається некоректним.

Таблиця 3.

Значення оціночного параметра $^{Cs}K_{Kon}; i\chi_{Cs}$ для деяких окремих видів продукції рослинництва та овочівництва за різних ${}^m_i A_{Cs}$ і ${}^m_i A_{Sr}$ при різних ДР U_{Cs} і U_{Sr} та варіації похибки ${}_{i\tilde{\delta}}_{Cs}$.

$[U_{Cs}]$ (U_{Sr})	${}_{i\tilde{\delta}}(i\chi_{Cs})$	${}^m Z(i\chi_{Cs})$	${}^m_i A_{Cs} = 23,86$	${}^m_i A_{Cs} = 20,67$	${}^m_i A_{Cs} = 19,49$	${}^m_i A_{Cs} = 18,48$
			${}^m_i A_{Sr} = 12,55$	${}^m_i A_{Sr} = 10,87$	${}^m_i A_{Sr} = 10,25$	${}^m_i A_{Sr} = 9,72$
$^{Cs}K_{Kon}; i\chi_{Cs}$						
[50] (30)	0,25	1,05	0,440704	0,621798	0,839473	0,954195
	0,30	1,10	0,413465	0,578840	0,779383	0,883847
	0,35	1,15	0,387993	0,539017	0,723863	0,819250
	0,38	1,18	0,373542	0,516624	0,692798	0,783208
[50] (20)	0,25	1,05	@	0,001310	0,139326	0,268934
	0,30	1,10	@	0,001251	0,132445	0,254730
	0,35	1,15	@	0,001196	0,126078	0,241492
	0,38	1,18	@	0,001166	0,122480	0,233977
[40] (20)	0,25	1,05	@	0,001048	0,111461	0,215147
	0,30	1,10	@	0,001001	0,105956	0,203784
	0,35	1,15	@	0,000957	0,100863	0,193194
	0,38	1,18	@	0,000933	0,097984	0,187182

Результати табл. 2 свідчать про зростання оціночного параметра $^{Cs}K_{Kon}; i\chi_{Cs}$ із зменшенням величин ${}^m_i A_{Cs}$, ${}^m_i A_{Sr}$ при всіх значеннях ${}_{i\tilde{\delta}}(i\chi_{Cs})$. Однак встановлені величини $^{Cs}K_{Kon}; i\chi_{Cs}$ є меншими за 1,0. З цього випливає, що у випадку продукції рослинництва і овочівництва здійснення контролю за вмістом РН ^{137}Cs не може бути проведено без використання концентрованого лічильного зразка. Дані про параметр $^{Cs}K_{Kon}; i\chi_{Cs}$ показують і величину мінімально необхідного значення коефіцієнту $^{Cs}K_{Kon}$, за якого ще буде виконуватись критерій придатності. Значимо, що у випадку аграрної продукції проведення озолення проби до чорної золи термічним методом забезпечує досягнення з мінімальними витратами значень $^{Cs}K_{Kon}$, які є меншими за 0,07. За таких $^{Cs}K_{Kon}$ при МВПА_{Cs}, наприклад, 19,49 Бк/кг та при $U_{Cs} = 50$ Бк/кг отримаємо величину допустимої активності РН ^{137}Cs у 34,10 Бк/кг. За меншої активності ^{137}Cs продукція буде вважатись придатною до споживання. Перехід до менших значень ДР РН ^{137}Cs та ^{90}Sr в процесі контролю очікувано потребуватиме зменшення величин МВПА_{Cs} та МВПА_{Sr}.

Запропонований варіант випробування з використанням двох лічильних зразків та співставлення наявного вмісту РН ^{137}Cs і ^{90}Sr з величиною ДР у продукції аграрного сектору є концептуальним. Його основна перевага – суттєве скорочення загального часу випробування. Процес отримання позитивного рішення щодо придатності на одному неконцентрованому лічильному зразку є неможливим через метрологічні обмеження спектрометра та низькі значення ДР. Використання одного концентрованого лічильного зразка для встановлення активності

зазначених РН потребує відкладення процедури вимірювання на термін встановлення радіоактивної рівноваги між РН ^{90}Sr та ^{90}Y для накопичення останнього. Вимірювання активності ^{90}Sr при цьому для отримання максимальної точності необхідно проводити не раніше аніж через 14 діб після завершення процедури озолення. Розглянутий в даній роботі варіант випробування обґрунтовує умови та можливість встановлення результату на 3 – 4 добу.

Висновки. Представлений та обговорений матеріал служить підґрунтям наступних положень, які резюмують результати проведеного дослідження:

1. Розглянуто критерій безпечного вмісту РН ^{137}Cs та ^{90}Sr у продукції аграрного сектору та рибного промислу. Вдосконалено модель і алгоритм розрахунку показника придатності продукції до споживання. Вплив коефіцієнтів запасу ${}^m\text{Z}(\chi_{\text{Cs}})$ та ${}^m\text{Z}(\chi_{\text{Sr}})$ на значення показника вперше поширено в тому числі і на область, яка є дотичною до мінімального значення параметрів кратності питомої активності $\chi_{\text{Cs}} = \chi_{\text{Sr}} = 1,0$. Наведено співвідношення для встановлення величини показника придатності та необхідних для розрахунку коефіцієнтів ${}^m\text{Z}(\chi_{\text{Cs}})$ та ${}^m\text{Z}(\chi_{\text{Sr}})$ (Використано форму подання результатів спектрометричного вимірювання активності РН ^{137}Cs і ^{90}Sr у відносних одиницях – одиницях кратних МВПА спектрометра, які визначаються величиною χ_{Cs} та χ_{Sr} . Представлено спрощене співвідношення критерію для випадку, в якому активність РН ^{90}Sr є меншою за МВПА $_{\text{Sr}}$).

2. Проведення розрахунку показника придатності шляхом врахування розподілу коефіцієнтів запасу ${}^m\text{Z}(\chi_{\text{Cs}})$ та ${}^m\text{Z}(\chi_{\text{Sr}})$, дослідження їх впливу на кінцеве значення показника призводить до збільшення, як його середнього значення, так і похибки визначення. Розраховані за методом мінімізації квадратів відхилень на основі нормованої функції Гауса величини зазначених коефіцієнтів при збільшенні параметрів кратності χ_{Cs} та χ_{Sr} наближаються до постійних значень. Величина та положення останніх в координатах ${}_{\text{on}}\tilde{\delta}_{\text{Cs}, \chi_{\text{Cs}}}$ і ${}_{\text{on}}\tilde{\delta}_{\text{Sr}, \chi_{\text{Sr}}}$ визначається як асимптота, до якої наближається відповідна функції Гауса. Ця функція апроксимує експериментальну залежність відносної похибки від параметру кратності. При цьому, внаслідок її наявності нові значення відносних похибок вимірювання ${}_{\text{on}}\tilde{\delta}_{\text{Cs}}$ та ${}_{\text{on}}\tilde{\delta}_{\text{Sr}}$ можуть, як перевищувати, так і бути меншими за виміряні значення $\tilde{\delta}_{\text{Cs}}$ і $\tilde{\delta}_{\text{Sr}}$. Одночасно, розрахована величина ${}^m\text{Z}(\chi_{\text{Cs}})$ і ${}^m\text{Z}(\chi_{\text{Sr}})$ не може бути меншою аніж 1,0.

3. Представлено дані щодо оціночного параметру ${}^{\text{Cs}}K_{\text{Kon}, \chi_{\text{Cs}}}$ при ДР $U_{\text{Sr}} = 30$ Бк/кг і $U_{\text{Sr}} = 20$ Бк/кг для випадку спрощеної схеми контролю. Вони засвідчили, що випробування продовольчої сировини доцільно починати з вимірювання активності РН ^{90}Sr за використання неконцентрованого лічильного зразка. Результат вимірювання визначатиме подальше рішення щодо можливості використання для встановлення величини активності РН ^{137}Cs процедури скорочення часу випробування. Встановлені значення параметру ${}^{\text{Cs}}K_{\text{Kon}, \chi_{\text{Cs}}}$ у випадку різних величин ${}^m\text{Z}(\chi_{\text{Cs}})$ створюють підґрунтя для оцінювання балансу між величинами коефіцієнту концентрування, параметром кратності активності РН ^{137}Cs , значенням МВПА $_{\text{Cs}}$ спектрометра. Такий підхід дозволяє встановити, як необхідні для проведення вимірювань величини МВПА $_{\text{Cs}}$, так і величину діапазону активності РН ^{137}Cs , в межах якого наявна активність буде відповідати критерію радіаційної безпеки досліджуваного зразка аграрної продукції.

4 Проведене дослідження направлене на підвищення коректності прийняття рішення, гарантії щодо визнання продукції придатною до споживання. Воно легко адаптується до випробувань продуктів харчування, в яких значення ДР є тотожними розглянутим. Практична цінність наведених результатів полягає у використанні запропонованих моделі, підходів та співвідношень. Останні забезпечують визначення параметрів випробування для наявного бета-спектрометра та визначають можливості для скорочення загального часу дослідження. Результати роботи також можуть становити інтерес при контролі радіаційної безпеки інших видів продукції, зокрема рослинної сировини для тваринництва, сировини будівельної індустрії, коли результат випробування може змінювати сферу застосування.

Література

- 1 Грабовський В.А. Особливості забруднення ^{137}Cs ґрунтів, рослин і грибів Українських Карпат / В.А. Грабовський, О.С. Дзєндзелюк, А.В. Трофімук // Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Фізика. – 2014, № 35. – С. 103–108.
- 2 Дозовые нагрузки на население Украины от излучения естественных (^{210}Po) и черноморских радионуклидов при употреблении морепродуктов из черноморских рыб и моллюсков / Г.Е. Лозоренко, Г.Г. Поликарпов, Н.Ю. Мирзоева, Н.Н. Терещенко // Наук. праці Чорн. нац. ун.-у ім. П. Могили. Миколаїв: Чорн. нац. ун.-т ім. П. Могили, 2012, Вип. 173, Т. 185, Сер. "Техногенна безпека". – С. 28–31.
- 3 Допустимі рівні вмісту радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr у продуктах харчування та питній воді: ГН 6.6.1.1-130-2006 / Санітарний лікар, Юр., виробн.-практ. журн., К.: МПП «Ліно», №3, 2008. – С. 61–70.
- 4 Дослідження вмісту цезію-137 та стронцію-90 у продуктах харчування з оцінкою доз опромінення населення і можливих негативних наслідків для здоров'я [Ел. ресурс]/ Куцак А.В., Севальнев А.І., Костенецький М.І. [та ін.]// Вістник проблем біології і медицини. – 2017, Вип.1 (135). – С. 75–78. – Режим доступу в журнал: [https://vpbm.com.ua/ua/vipusk-1-\(135\),-2017/8735](https://vpbm.com.ua/ua/vipusk-1-(135),-2017/8735).
- 5 Дюдяєва О.А. Харчова безпека вітчизняної продукції аквакультури як гарантована передумова виходу на зовнішні ринки / О.А. Дюдяєва, В.В. Бех // Водні ресурси та аквакультура. Науковий журнал. Херсон: Видавничий дім "Гельветика". – 2020, №1. – С. 44–60.
- 6 Значення шапкових грибів у міграції ^{137}Cs на території Чернігівської області / Ю.О. Бондар, О.В. Дмитренко, С.П. Ковальова, С.П. Ткаченко-Капарська // Агроєкол. Журнал, К.: Ін.-т агроєкології і природокористування НААН. – 2019, №4. – С. 22–28.
- 7 Кимаковська Н. О. Наукове обґрунтування і методології розробки «Допустимих рівнів вмісту радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr у сировині рослинного та тваринного походження» [Електронний ресурс] / Н. О. Кимаковська // Наукові доповіді НУБіП України. – 2012, № 3 (32). – Режим доступу до журналу: http://nd.nubip.edu.ua/2012_3/12kno.pdf.
- 8 Орлов П.М. Радиационный мониторинг сельскохозяйственных угодий Российской Федерации / П.М. Орлов, М.И. Лунев, В.Г. Сычев. —М.: ВНИИА имени Д.Н. Прянишникова, 2015. – 176 с.
- 9 Оцінка якості життя та радіаційної безпеки сільського населення радіоактивно забруднених територій: монографія / [Л.Д. Романчук, В.А. Довженко, Т.П. Федонюк та ін.]; за заг. ред. Л. Д. Романчук. Житомир: Графіум, 2017. – 268 с.
- 10 Переволоцкий А.Н. Оценка содержания ^{137}Cs в лесных грибах и ягодах в зоне штатных выбросов Белорусской АЭС / А.Н. Переволоцкий, Т.В. Переволоцкая // Радиация и риск. – 2013, т. 22, № 2. – С. 61–65.
- 11 Перепелятников Г.П. Радиоэкологическое нормирование допустимого содержания ^{137}Cs в почвах сельскохозяйственных угодий Украины, загрязненных после аварии на ЧАЭС / Г.П. Перепелятников, Н.А. Кимаковская // Агрехимический вестник. М.: 2013, № 6. – С. 23–27.
- 12 Романчук Л.Д. Особливості формування дози внутрішнього опромінювання населення за споживання риби водойм Полісся / Л.Д. Романчук, С.П. Вербельчук, Т.В. Вербельчук // Агроєкол. Журнал, К.: Ін.-т агроєкології і природокористування НААН. – 2016, №1. – С. 127–131.
- 13 Романчук Л. Д. Оцінка вмісту радіонукліду ^{137}Cs у продуктах харчування мешканців радіоактивно забруднених територій у віддалений період після аварії на ЧАЕС. / Л.Д. Романчук, О.В. Лопатюк, С.П. Ковальова // Наукові горизонти. – 2019, № 8 (81). С. 82–86.
- 14 Сінченко В.Г. Спектрометричний контроль за вмістом радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr у морепродуктах та сільськогосподарській і харчовій продукції: Метрологічний аспект випробувань неконцентрованих зразків/ В.Г. Сінченко // Наук. праці Чорн. нац. ун.-у ім. П. Могили. Миколаїв: Чорн. Нац. Ун.-т ім. П. Могили, 2017, Вип. 277, Т. 289, Сер. "Техногенна безпека. Радіобіологія", С. 91–100.
- 15 Сінченко В.Г. Про спектрометрію радіонуклідів Cs-137 і Sr-90 у поверхневих прісних водах та відповідність їх активності допустимим рівням / В.Г. Сінченко // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. Наук.-техн. журнал. Ів-Франківськ: Вид.-во ІФНТУНГ, 2020, №2(22). – С. 58–71.
- 16 Фурдичко О. І. Радіоекологічна безпека аграрних і лісових екосистем у віддалений період після аварії на ЧАЕС. / О.І. Фурдичко // Агроєкол. Журнал, К.: Ін.-т агроєкології і природокористування НААН. – 2016, №1. – С. 6–13.

17 Чорна В.І. Міграція ^{137}Cs і ^{90}Sr у ґрунтах і сільськогосподарській продукції Дніпропетровської області після аварії на Чорнобильській АЕС / В.І. Чорна, В.О. Сироватко // Наукові праці Чорном. нац. ун.- ту ім. П. Могили, Чорн. нац. ун.-т ім. П. Могили, Миколаїв: 2016, Вип. 268, Т. 280, Сер. "Техногенна безпека. Радіобіологія", С. 115–122.

18 Low content of radionuclides in natural environment and production as a rationale for development of recreational potential of Northern Bukovina / Natali Omel'chenko, Valeriy Sinchenko, Myron Rogozynskyi, Oksana Mykytyuk // *Food and Environment Safety*. 2017, Volume XVI, Issue 2. – P. 111–116

19 Thenatural radioactivity of the Carpathian national parks and radon evaluation / V. Maslyuk, O. Symkanich, N. Svatyuk, O. Parlag, S. Sukharev. *Nukleonika*. 2016, 61(3). P. 351–356.

V. Sinchenko

L. I. Medved's research center of preventive toxicology, food and chemical safety, Ministry of Health, Ukraine (State Enterprise)

METHODOLOGICAL ASPECTS OF BETA-SPECTROMETRIC METHOD OF CONTROL OVER RADIATION SAFETY OF AGRICULTURAL AND FISHING PRODUCTS

The article deals with the issue of determining the suitability index (SI) of radionuclide-contaminated (RN) agricultural and fishing products as an indicator of safety from the combined action on the human body of RN ^{137}Cs and ^{90}Sr . A new approach to calculating SI is presented. It combines the content of these RN in the product and the value of permissible levels of their activity. The approach is based on the assumption of the dependence of PP on the values of the activity multiplicity parameter. The parameters are determined in units of the minimum measured specific activity (MMSA) of the spectrometer for each of the RN. The influence of stock coefficients on the PP as a compensator of errors in the calculation of MMSA values is investigated. The stock ratio is defined as a function of the multiplicity parameter.

The calculation of the values of the stock coefficient was performed using the model for describing the distribution of the relative error of activity measurement by the multiplicity parameter. The normalized Gaussian function was used. The argument of the latter one is represented by two parameters. One is the activity multiplicity parameter, the other one regulates the peak width. The parameters of the Gaussian function are determined by the method of minimizing the squares of deviations. At such values, the exponent optimally describes the experiment result. A universal equation for SI calculation has been obtained. The equation combines two separate ratios, according to which the SI relative to the combined effect of RN ^{137}Cs and ^{90}Sr is usually calculated when analyzing the radiation quality of food raw materials and food.

The results of calculations of SI, stock coefficient and necessary parameters for this purpose according to the measurement of RN ^{137}Cs and ^{90}Sr activity in mushrooms of forest origin are presented. The possibility of preliminary estimation of technological parameters of test is shown. The method of reducing the study time by obtaining data using concentrated and non-concentrated samples is substantiated. The efficiency of the SI calculation algorithm in the case of multiplicity parameters, the value of which is close to the measurement low limit, is proved. The presented ratios provide an additional guarantee in the correctness of the decision on the suitability of the product.

Key words: radiation safety of agricultural resources and ecosystems; fishing products; supervision over the radiation quality of food raw materials; spectrometry of radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr

References

1 Hrabovskyi V.A. Osoblyvosti zabrudnennia ^{137}Cs hruntiv, roslyn i hrybiv Ukrainskykh Karpat / V.A. Hrabovskyi, O.S. Dzendzeliuk, A.V. Trofimuk // *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho universytetu*. Serii: Fizyka. – 2014, № 35. – S. 103–108.

2 Dozovye nahruzki na naselenie Ukrainy ot izlucheniia estestvennykh (^{210}Po) i chernobylskikh radionuklidov pri upotreblenii moreproduktov iz chernomorskikh ryb i molliuskov / H.E. Lozorenko, H.H. Polikarpov, N.Iu. Mirzoeva, N.N. Tereshchenko // *Nauk. pratsi Chorn. nats. un.-u im. P. Mohyly*. Mykolaiv: Chorn. nats. un.-t im. P. Mohyly, 2012, Vyp. 173, T. 185, Ser. "Tekhnohenna bezpeka". – S. 28–31.

3 Dopustymi rivni vmistu radionuklidiv ^{137}Cs ta ^{90}Sr u produktakh kharchuvannia ta pytnii vodi: HN 6.6.1.1-130-2006 / Sanitarnyi likar, Yur., vyrobn.-prakt. zhurn., K.: MPP «Lino», №3, 2008. – S. 61–70.

4 Doslidzhennia vmistu tseziuu-137 ta strontsiuu-90 u produktakh kharchuvannia z otsinkoiu doz oprominennia naselennia i mozhyvykh nehatyvnykh naslidkiv dlia zdorovia [El. resurs]/ Kutsak A.V., Sevalniev A.I., Kostenetskyi M.I. [ta in.]// Vistnyk problem biolohii i medytsyny. – 2017, Vyp.1 (135). – S. 75–78. – Rezhym dostupu v zhurnal: [https://vpbm.com.ua/ua/vipusk-1-\(135\),-2017/8735](https://vpbm.com.ua/ua/vipusk-1-(135),-2017/8735).

5 Diudiaieva O.A. Kharchova bezpeka vitchyznianoj produktsii akvakultury yak harantovana peredumova vykhodu na zovnishni rynky / O.A. Diudiaieva, V.V. Bekh // Vodni resursy ta akvakultura. Naukovyi zhurnal. Kherson: Vydavnychiy dim "Helvetyka". – 2020, №1. – S. 44–60.

6 Znachennia shapkovykh hrybiv u mihratsii 137 Ss na terytorii Chernihivskoi oblasti / Yu.O. Bondar, O.V. Dmytrenko, S.P. Kovalova, S.P. Tkachenko-Kaparska // Ahroekol. Zhurnal, K.: In.- t ahroekolohii i pryrodokorystuvannia NAAN. – 2019, №4. – S. 22–28.

7 Kymakovska N. O. Naukove obgruntuvannia i metodolohii rozrobky «Dopustymykh rivniv vmistu radionuklidiv 137Cs i 90Sr u syrovyni roslynnoho ta tvarynnoho pokhodzhennia» [Elektronnyi resurs] / N. O. Kymakovska // Naukovi dopovidi NUBiP Ukrainy. – 2012, № 3 (32). – Rezhym dostupu do zhurnalu: http://nd.nubip.edu.ua/2012_3/12kno.pdf.

8 Orlov P.M. Radiatsyonnyi monitoryng selskokhoziaistvennykh uhdii Rossiskoi Federatsii / P.M. Orlov, M.Y. Lunev, V.H. Sychev. —M.: VNIIA imeni D.N. Prianishnikova, 2015. – 176 s.

9 Otsinka yakosti zhyttia ta radiatsiinoi bezpeky silskoho naselennia radioaktyvno zabrudnenykh terytorii: monohrafiia / [L.D. Romanchuk, V.A. Dovzhenko, T.P. Fedoniuk ta in.]; za zah. red. L. D. Romanchuk. Zhytomyr: Hrafiu, 2017. – 268 s.

10 Perevolotskii A.N. Otsenka soderzhaniia 137Cs v lesnykh hribakh i yahodakh v zone shtatnykh vybrosov Belorusskoi AES / A.N. Perevolotskii, T.V. Perevolotskaia // Radiatsiia i risk. – 2013, t. 22, № 2. – S. 61–65.

11 Perepeliatnikov H.P. Radioekolohicheskoe normirovanie dopustimoho soderzhania 137Cs v pochvakh selskokhoziaistvennykh uhdii Ukrainy, zahriaznennykh posle avarii na ChAES / H.P. Perepeliatnikov, N.A. Kimakovskaia // Ahrokhimicheskii vestnik. M.: 2013, № 6. – S. 23–27.

12 Romanchuk L.D. Osoblyvosti formuvannia dozy vnutrishnoho oprominiuvannia naselennia za spozhyvannia ryby vodoim Polissia / L.D. Romanchuk, S.P. Verbelchuk, T.V. Verbelchuk // Ahroekol. Zhurnal, K.: In – t ahroekolohii i pryrodokorystuvannia NAAN. – 2016, №1. – S. 127–131.

13 Romanchuk L. D. Otsinka vmistu radionuklidu 137Cs u produktakh kharchuvannia meshkantsiv radioaktyvno zabrudnenykh terytorii u viddalenyi period pislia avarii na ChAES. / L.D. Romanchuk, O.V. Lopatiuk, S.P. Kovalova // Naukovi horizonty. – 2019, № 8 (81). S. 82–86.

14 Sinchenko V.H. Spektrometrychnyi kontrol za vmistom radionuklidiv 137Cs i 90Sr u moreproduktakh ta silskohospodarskii i kharchovii produktsii: Metrolohichnyi aspekt vyprobuvan nekonsentrovanykh zrazkiv/ V.H. Sinchenko // Nauk. pratsi Chorn. nats. un.-u im. P. Mohyly. Mykolaiv: Chorn. Nats. Un.-t im. P. Mohyly, 2017, Vyp. 277, T. 289, Ser. "Tekhnohenna bezpeka. Radiobiolohiia", S. 91–100.

15 Sinchenko V.H. Pro spektrometriiu radionuklidiv Cs-137 I Sr-90 u poverkhnevnykh prisnykh vodakh ta vidpovidnist yikh aktyvnosti dopustymym rivniam / V.H. Sinchenko // Ekolohichna bezpeka ta zbalansovane resursokorystuvannia. Nauk.-tekhn. zhurnal. Iv-Frankivsk: Vyd.-vo IFNTUNH, 2020, №2(22). – S. 58–71.

16 Furdychko O. I. Radioekolohichna bezpeka ahrarynykh i lisovykh ekosystem u viddalenyi period pislia avarii na ChAES. / O.I. Furdychko // Ahroekol. Zhurnal, K.: In.-t ahroekolohii i pryrodokorystuvannia NAAN. – 2016, №1. – S. 6–13.

17 Chorna V.I. Mihratsiia 137Cs i 90Sr u hruntakh i silskohospodarskii produktsii Dnipropetrovskoi oblasti pislia avarii na Chornobylskii AES / V.I. Chorna, V.O. Syrovatko // Naukovi pratsi Chornom. nats. un.- tu im. P. Mohyly, Chorn. nats. un.-t im. P. Mohyly, Mykolaiv: 2016, Vyp. 268, T. 280, Ser. "Tekhnohenna bezpeka. Radiobiolohiia", S. 115–122.

18 Low content of radionuclides in natural environment and production as a rationale for development of recreational potential of Northern Bukovina / Natali Omelchenko, Valeriy Sinchenko, Myron Rogozynskyi, Oksana Mykytyuk // Food and Environment Safety. 2017, Volume XVI, Issue 2. – R. 111–116

19 Thenatural radioactivity of the Carpathian national parks and radon evaluation / V. Maslyuk, O. Symkanich, N. Svatyuk, O. Parlag, S. Sukharev. Nukleonika. 2016, 61(3). P. 351

ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ

УДК 502/504

DOI: 10.31471/2415-3184-2021-1(23)-73-83

*І. Ю. Аблєєва, Л. Д. Пляцук,**І. О. Трунова, О. М. Яхненко,**І. О. Бережна**Сумський державний університет*

ВПЛИВ БІОСТИМУЛЯТОРІВ НА МІКРОБІОЛОГІЧНИЙ СТАН НАФТОЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ

Застосування науково обґрунтованих підходів до інтенсифікації природних процесів самоочищення ґрунтів від нафтопродуктів набувають все більшого значення. Біоочищення є ефективним, екологічно доцільним методом поліпшення стану середовища. Мета статті полягає у встановленні закономірностей зміни санітарно-мікробіологічного стану ґрунту після забруднення нафтою та визначення ефективних підходів до інтенсифікації природних процесів самоочищення ґрунтів.

У роботі було проведено санітарно-бактеріологічне дослідження нафтозабрудненого ґрунту за санітарно-показовими мікроорганізмами; оцінений санітарно-мікробіологічний стан досліджуваних зразків ґрунту для ідентифікації якісних змін еколого-трофічних груп мікроорганізмів; обґрунтовано ефективність застосування біостимуляторів для інтенсифікації природних процесів самоочищення нафтозабруднених ґрунтів.

Для проведення мікробіологічних досліджень використовували методи посівів на поживні середовища, оцінку ступеня забруднення ґрунту проводили шляхом визначення загального мікробного числа й кількісного аналізу основних індикаторних мікроорганізмів.

Визначено, що зразки ґрунту після надходження нафти є сильно забрудненими за санітарно-бактеріологічними показниками. Для стимулювання розвитку певних груп біотрансформаторів ефективним є внесення спеціальних сорбентів, що містять спектр речовин, необхідних для прискорення росту мікроорганізмів-деструкторів нафти. Виявлено, що використання дигестату біогазових установок як біостимулятора дозволяє покращити фізичні і водно-повітряні властивості ґрунту, та виступає ефективним біостимулятором для підвищення біологічної активності мікроорганізмів за рахунок вмісту макроелементів.

Ключові слова: біоочищення, біостимуляція, дигестат, забруднення ґрунту, нафтопродукти, санітарно-мікробіологічна оцінка.

Постановка проблеми. Забруднення ґрунтів нафтою та нафтопродуктами (НП) є досить актуальною екологічною проблемою не лише для зони нафтовидобувних та нафтопереробних об'єктів, а й для урбосистем у цілому. Тому вибір методу очищення та оцінка санітарного стану ґрунту вимагають науково обґрунтованого підходу. Ліквідація наслідків розливів нафти часто приводить до необоротного знищення родючого шару ґрунту, наприклад, під час спалювання нафти, або призводить до вторинного забруднення у разі засипки забруднених ділянок піском, ґрунтом, вивезення забрудненого ґрунту у відвали [1]. Крім того, такі технології є затратними в економічному плані і можуть вважатися ефективними тільки за відносно невеликого ступеню забруднення ґрунту НП до 1%.

Обґрунтування методу очищення ґрунту від нафти залежить від кількості і складу нафтопродуктів, ландшафтно-географічних характеристик ділянки, доступності засобів для ліквідації забруднення. З екологічної точки зору більш ефективними є біотехнологічні методи, що ґрунтуються на біогеохімічній ролі природних деструкторів в екосистемі. У такому разі для очищення природних об'єктів, техногенних нафтовмісних стічних вод промислових підприємств

чи поверхонь нафтозабруднених резервуарів використовують природні штами мікроорганізмів, які за рахунок власного метаболізму чи продукування біосурфактантів сприяють поступовому розкладанню НП до менш шкідливих сполук з нижчою молекулярною масою, а потім і до повної їх мінералізації до вуглекислого газу та води.

Потрапляння НП до ґрунту впливає на весь комплекс морфологічних, фізичних, фізико-хімічних та біологічних властивостей ґрунту. Внаслідок нафтового забруднення ґрунт втрачає здатність вбирати й утримувати вологу, має більш низькі значення водопроникності, вологоємності, змінений склад ґрунтового поглинального комплексу та зменшену кількість обмінних катіонів [2], що негативно впливає на протікання природних процесів за участі ґрунтової мікробіоти. Нафтове забруднення ґрунту супроводжується закономірними змінами еколого-трофічних груп мікроорганізмів, у результаті чого виникають конкурентні відносини в угрупованні, які характеризуються такими взаємодіями: для низького і середнього рівня забруднення – конкуренція за типом нестійкої рівноваги; для високого рівня забруднення – облігатне заміщення [3].

Однак ефективне застосування біоремедіаційних підходів до очищення ґрунтів від нафти потребує більш детального вивчення природи процесів та змін у мікробіологічному, зокрема санітарно-бактеріологічному стані ґрунту, що дозволить інтенсифікувати природне самоочищення, а, отже, і вирішить важливу наукову-прикладну проблему у галузі екологічної безпеки нафтогазового комплексу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Токсична дія НП на мікроорганізми збільшується у послідовності: парафіни, циклопарафіни, ароматичні нафтопродукти. НП, що містять переважно важкі вуглеводні, в силу своєї високої щільності і в'язкості створюють анаеробні умови в ґрунті, перешкоджаючи тим самим нормальному протіканню окиснювальних реакцій. У результаті зміни чисельності мікроорганізмів й активності ферментів змінюється і швидкість емісії CO₂. Дослідження показали, що в результаті забруднення ґрунту нафтою і НП спостерігається зростання інтенсивності базального дихання ґрунту, тобто без збагачення доступними джерелами енергії, за рахунок збільшення вмісту доступного для мікробоценозів органічного вуглецю. Збільшення вмісту забруднювача в ґрунті призводить до зниження інтенсивності дихання [4].

Зниження концентрації кисню у ґрунті сприяє розвитку анаеробних мікроорганізмів. Однією з причин анаеробіозиса може бути інтенсивне споживання кисню зростаючою на початку кількістю аеробних мікроорганізмів, що окиснюють вуглеводні. У свіжозабруднених ґрунтах чисельність ґрунтових мікроорганізмів найчастіше досить висока з переважанням амоніфікаторів та бактерій, що окиснюють вуглеводні, зокрема бактерії родів *Pseudomonas*, *Rhodococcus*, *Acinetobacter*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Mycobacterium* [5]. На тлі стимуляції розвитку вуглеводнеокиснювачів відбувається пригнічення гетеротрофної мікробіоти, а за високих концентрацій нафти відзначено зниження розвитку обох груп мікроорганізмів. На більш пізніх термінах після забруднення збільшується чисельність оліготрофної мікрофлори, олігонітрофілів і мікроорганізмів, що руйнують целюлозу [6].

Найбільш чутливими до дії нафти є нітрифікуючі бактерії, а чисельність й активність мікроорганізмів, що беруть участь у процесі азотфіксації, амоніфікації і денітрифікації, навпаки збільшується. Інгібуючи або активізуючи дію ґрунтової мікробіоти, НП впливають ще на два важливі показники біологічної активності ґрунту – ферментативну активність й інтенсивність виділення CO₂. Потрапляючи в ґрунт нафта і НП можуть впливати на активність ферментів, що дає можливість використовувати ці показники поряд з інтенсивністю емісії CO₂, як діагностичну ознаку забруднення ґрунту НП.

Ферментативна активність ґрунтів обумовлюється як різною кількістю мікроорганізмів, так і їх різноманітністю і фізіологічною активністю. Мікробіологічну деградацію нафти обумовлюють два чинники: наявність складних ферментів – оксидоредуктаз, що здійснюють окисно-відновні процеси всіх типів, і наявність в клітинах мікроорганізмів пристосувань, що забезпечують поглинання гідрофобного субстрату. Деякі штами мікроорганізмів здатні продукувати біосурфактанти, які повинні бути високомолекулярними біоемульгаторами, такими як позаклітинний біоповітряний ліпополісахарид, вироблений *Acinetobacter calcoaceticus*, *Acinetobacter radioresistens* КА53 [7]. Штами *Pseudomonas aeruginosa*, що виробляють біоповітряні речовини з найкращими фізико-хімічними властивостями, антимікробною та антиадгезивною активністю, здатні руйнувати сиру нафту навіть за умов засоленості [8, 9].

Дослідження, проведені різними авторами, показують, що активність багатьох ґрунтових ферментів зростає до певного рівня концентрації вуглеводнів у ґрунті, а після його перевищення відзначено зниження. Активність мікробіологічних процесів, що протікають в ґрунті, характеризується активністю ферментів дегідрогенази і каталази. Каталаза прискорює окиснення вуглеводнів, руйнуючи перекис водню, що утворюється у процесі життєдіяльності мікроорганізмів до необхідного для цієї реакції кисню, а дегідрогеназа каталізує реакцію дегідрування – відщеплення водню від вуглеводнів і продуктів їх розкладання. Парафінові і циклопарафінові вуглеводні активізують, а ароматичні вуглеводні інгібують активність уреаз, амілази, інвертази, ксиланаз, целюлази, фосфатази, каталази і дегідрогенази [10].

Не існує жодного виду мікроорганізмів, здатного деградувати всі компоненти сирої нафти, а її повне розкладання вимагає участі консорціуму мікроорганізмів-деструкторів різних таксономічних груп. Біоочищення проходить як тривалий багатостадійний процес, в який поступово включаються різноманітні мікробні угруповання деструкторів карбонових сполук, при чому протікання у часі всього процесу та окремих стадій, домінування тих чи інших штамів мікроорганізмів визначається природно-кліматичними умовами і типом ґрунтів. Під час проведення біоремедіації нафтозабруднених ґрунтів одним із найбільш ефективних підходів є застосування біостимуляції, оскільки внесення органічних та/або неорганічних речовин (зазвичай добрив чи відходів) забезпечує нормалізацію фізико-хімічних та біологічних властивостей ґрунту, зокрема покращення водного й NPK режимів. Результати останніх досліджень стосовно цієї проблеми висвітлені у працях відомих закордонних учених [11–15].

На підставі проведеного аналізу стає очевидним, що більшість досліджень пов'язана із змінами еколого-трофічних груп мікроорганізмів після забруднення ґрунту нафтою, ферментативною активністю ґрунту та ідентифікацією бактерій і грибів, які володіють окиснювальною здатністю по відношенню до НП. Однак, поза увагою вітчизняних та закордонних учених залишається питання дослідження санітарно-бактеріологічного стану нафтозабруднених ґрунтів. Пошук публікацій за останні сім років у виданнях, які індексуються міжнародними наукометричними базами даних Scopus та Web of Science Core Collection, за такими кодами дав результати: “soil oil pollution AND sanitary AND microbial” – 0, “soil oil pollution AND sanitary” – 3, “soil oil pollution AND toxicity AND microbial” – 15. Бібліометрична мережа щодо спорідненості та відповідності ключових слів за останнім кодом, побудована та візуалізована за допомогою програмного інструменту VOSviewer (версія 1.6.15), засвідчує опосередкованість досліджень за цією проблематикою (рис. 1).

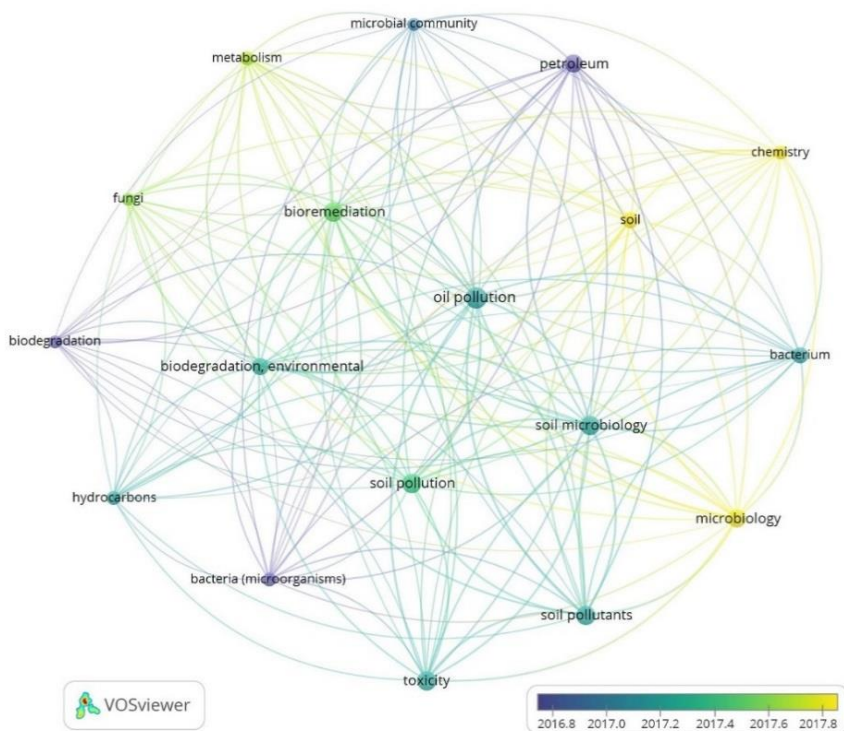


Рис. 1. Мережа зустрічальності найбільш часто використовуваних ключових слів (частота >5)

Таким чином, не вирішеними залишаються питання оцінки динаміки санітарно-мікробіологічного стану нафтозабруднених ґрунтів як індикатора змін ґрунтових еколого-трофічних груп мікроорганізмів. З позицій екологічної безпеки актуальним завданням є застосування науково обґрунтованих підходів до інтенсифікації природних процесів самоочищення ґрунтів. Підвищенню ефективності очищення сприяє внесення на спеціальних сорбентах комплексу штамів мікроорганізмів, між якими виникають симбіотичні взаємодії на основі використання метаболітів одних як субстрату для інших.

Постановка завдання. Метою статті є встановлення закономірностей зміни санітарно-мікробіологічного стану ґрунту після забруднення нафтою та визначення ефективних підходів до інтенсифікації природних процесів самоочищення ґрунтів.

Для досягнення зазначеної мети поставлено такі завдання дослідження:

- провести санітарно-бактеріологічні дослідження нафтозабрудненого ґрунту за санітарно-показовими мікроорганізмами;
- оцінити санітарно-мікробіологічний стан досліджуваних зразків ґрунту, який ідентифікує якісні зміни еколого-трофічних груп мікроорганізмів;
- обґрунтувати ефективність застосування біостимуляторів для інтенсифікації природних процесів самоочищення нафтозабруднених ґрунтів.

Методика проведення експерименту. Санітарно-показовими мікроорганізмами ґрунту є бактерії групи кишкової палички, ентерококи, *Clostridium perfringens* і термофільні мікроби. За умови повного аналізу встановлюють такі показники: загальну кількість мікробів (ЗМЧ), число бактерій групи кишкових паличок (титр БГКП), титри ентерококів, *C. perfringens* і термофільних мікроорганізмів, загальне число і процент спор, кількість актиноміцетів, грибів, аеробних целюльозних і амоніфікуючих бактерій. До категорії БГКП належать бактерії родини *Enterobacteriaceae*, що об'єднує роди *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Klebsiella*. Це грамнегативні, безспорові, оксидазонегативні палички, які ферментують глюкозу і лактозу до кислоти й газу за температури 37°C.

Дослідженню підлягали 3 зразки ґрунту: №№ 1, 2 – ґрунт, забруднений НП, до внесення біодеструктора; № 3 – через 21 добу після внесення біопрепарату «Еконадін». Відбір проб ґрунту проводили у 5 точках забрудненої нафтопродуктами ділянки на глибині 10 см. У стерильну банку брали по 200 г із кожної точки, змішували, відбирали наважку в 30 г і вносили у колбу, що містила 300 см³ стерильної води. Суміш ретельно збовтували протягом 10 хв, потім відстоювали 2–3 хв для осідання грубих частинок. Досліджувані показники визначали за різними методиками (табл. 1).

Таблиця 1

Методики проведення санітарно-бактеріологічних досліджень

Показник	Назва методики, що застосовувалася
ЗМЧ	Посів ґрунтової суспензії на МПА глибинним методом
Титр БГКП	Прямий посів ґрунтової бовтушки на середовище Ендо та на середовище Кеслера
Перфрінгенс-титр	Посів ґрунтової суспензії на середовище Вільсона-Блера
Кількість термофільних бактерій в 1 г	Поверхневий посів на МПА
Плісеневі гриби	Прямий посів ґрунтової суспензії на середовище Сабуро

Із отриманої суспензії готували серійні десятикратні розведення від 10⁻¹ до 10⁻⁶ і більше. Проби об'ємом 1 см³ із останніх двох розведень вносили на дно двох стерильних чашок Петрі, які заливали розтопленим й охолодженим до 45 °С м'ясо-пептонним агаром (МПА) об'ємом 15 см³. Після застигання середовища чашки інкубували протягом 48 год за температури 28–30°C. Із суми колоній, що виростили на двох чашках одного розведення, вираховували середнє арифметичне й визначали ЗМЧ. Під час визначення титру БГКП застосовували методику прямого посіву на середовище Ендо ґрунтової бовтушки та на середовищі Кеслера. По 1 см³ різних розведень ґрунту засівали у 9 см³ глюкозо-пептонного або лактозо-пептонного середовища. Висів на середовище Ендо робили у зв'язку з розкладом зазначених цукрів до кислоти й газу, темно-червоні колонії, що виростили, мікроскопували, ставили пробу на оксидазу й вираховували титр БГКП.

Титр ентерококів визначали шляхом посіву відповідних розведень на середовище Каліні; перфрінгенс-титр вираховували посівом розведень суспензії на середовище Вільсона-Блера; кількість грибів – на середовище Сабуро, актиноміцетів – на крохмально-аміачний агар. Для

визначення титру термофільних бактерій різні розведення суспензії ґрунту вносили у чашки Петрі, заливали розтопленим і охолодженим МПА. Посіви інкубували протягом 24 год за температури 60°C, підраховували кількість вирослих колоній і виконували перерахунок на 1 г ґрунту.

Оцінку ступеня забруднення ґрунту проводили шляхом визначення загального мікробного числа й кількісного аналізу основних індикаторних мікроорганізмів (табл. 2).

Таблиця 2

Санітарно-мікробіологічна оцінка ґрунту

Характеристика ґрунту	ЗМЧ, КУО/г	Титр БГКП	Перфрінгенс-титр	Кількість термофільних бактерій в 1 г
Чистий	$< 5 \cdot 10^5$	$\geq 1,0$	$\geq 0,01$	$10^2 - 10^3$
Помірно забруднений	$5 \cdot 10^6$	0,9–0,01	0,009–0,0001	$10^3 - 10^5$
Сильно забруднений	$> 5 \cdot 10^6$	$\leq 0,009$	$\leq 0,00009$	$10^5 - 10^7$

Виклад основного матеріалу. Найбільш активне (до 40–50%) зниження вмісту нафти у ґрунті відмічається у перші місяці після забруднення, після чого процес істотно уповільнюється. Узагальнена схема поступових перетворень нафтових вуглеводнів у ґрунті наведена на рис. 2. Основна частина легких вуглеводнів (від 20% до 40%) видаляється з поверхні ґрунтів шляхом випаровування та вимивання. Важкі вуглеводні і смолисто-асфальтенові компоненти найчастіше затримуються у верхніх горизонтах ґрунтів, тому їх деградація можлива у разі внутрішньогрунтового оброблення та частково біоаккумуляції.

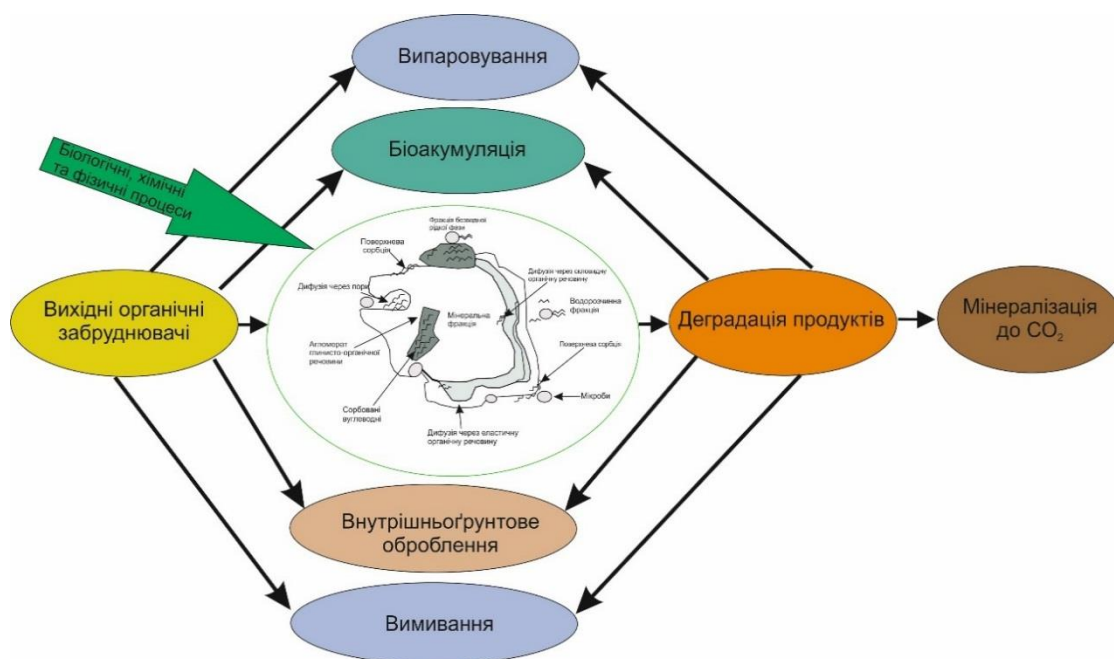


Рис. 2. Схема деградації нафти у ґрунті під впливом різних чинників

Найбільшу екологічну небезпеку становлять вуглеводні, які проникають всередину ґрунтового профілю і досягають рівня ґрунтових вод, оскільки їх міграція у водному середовищі значно вища, ніж у ґрунті. Основна частина вихідних компонентів нафти підлягає руйнуванню у результаті біологічних, хімічних та фізичних процесів. Відбуваються паралельно такі процеси: поверхнева сорбція НП, сорбція ґрунтовими часточками та агломератами глинисто-органічної речовини, дифузія через пори та органічну речовину з наступним окисненням вуглеводнів мікроорганізмами та мінералізацією до вуглекислого газу і води (див. рис. 2).

Рівень забруднення ґрунту визначали згідно з описаною вище методикою проведення експерименту. Виконані дослідження засвідчують, що зразки ґрунту після надходження нафти є сильно забрудненими за санітарно-бактеріологічними показниками (табл. 3).

Визначена динаміка пояснюється тим фактом, що стан угруповання ґрунтових мікроорганізмів змінюється не тільки залежно від початкової концентрації забруднювача, а й від часу, що пройшов з моменту забруднення. Можливе виділення трьох етапів сукцесії на підставі зміни чисельності домінантів ґрунтової мікробіоти. На першому етапі відбувається перебудова мікробіоценозів і активізація групи мікроорганізмів, що окиснюють вуглеводні. На другому етапі,

у міру зниження вмісту вуглеводнів в ґрунті, активізуються сприйнятливі до забруднення групи мікроорганізмів, життєдіяльність яких раніше була пригнічена. Третій етап – це поступове і тривале повернення мікробного угруповання до вихідного або близького до такого стану.

Таблиця 3

Результати санітарно-бактеріологічного дослідження зразків ґрунту

Показник	Зразок нафтозабрудненого ґрунту		
	№1	№2	№3
ЗМЧ, КУО/г	$9,2 \cdot 10^8$	$3,6 \cdot 10^7$	$5,1 \cdot 10^7$
Титр БГКП	0,009	0,004	0,8
Перфрінгенс-титр	0,00009	0,00009	0,009
Кількість термофільних бактерій в 1 г	$5 \cdot 10^5$	10^6	$5 \cdot 10^4$
Плісеневі гриби, КУО/г	$1,3 \cdot 10^2$	10^7	$2,5 \cdot 10^2$
Усереднений рівень забруднення	Сильно забруднений	Сильно забруднений	Помірно забруднений

З метою ініціації процесів природного самоочищення ефективно застосовувати один із способів біоремедіації – біостимуляцію. Вона передбачає внесення поживних речовин для активації діяльності нативних мікроорганізмів-нафтодеструкторів забрудненої території. Біогенні елементи (Р, К, N і т.д.) можуть бути отримані з органічних та неорганічних відходів, рослинних решток, навозу великої рогатої худоби, відходів птахівництва тощо. У такому випадку відходи підлягають ефективному способу утилізації, тобто використанню як вторинної сировини для біотехнологічних процесів, зокрема для біоремедіації нафтозабруднених ґрунтів.

Досліджено ступінь деградації нафти та нафтопродуктів за рахунок внесення у забруднену ділянку різних видів відходів. Їх об'єднано в групи: тваринні відходи (коров'ячий, свинячий, кінський, козячий, пташиний гній), рослинні відходи (шкірка картоплі, чайне листя, соєва макуха та ін.), неорганічні відходи (неорганічне добриво, пиломатеріали з колотого дерева) та інші (шлам стічних вод, відходи стічних вод пивоварної промисловості, грязьовий фільтрувальний шар процесів переробки цукрової тростини, стічні води заводу з виробництва пальмової олії).

Результати досліджень у графічному вигляді візуалізовано на рис. 3 та 4.

Графіки на рис. 3 ілюструють закономірність вищого ступеню деградації нафти за умови нижчого рівня забруднення ґрунту. Незалежно від виду біостимулятора, що використовувався, прослідковується зменшення рівня деструкції нафти у ряду концентрації нафти у ґрунті: $2\% > 4\% > 6\%$. Найбільш ефективним біостимулятором виявилось неорганічне добриво (3), а застосування лушпиння пальмового ядра (2) найменше інтенсифікує природний процес деградації нафти, коров'ячий гній (1) займає проміжне місце. Варто зауважити, що зміна фізичних властивостей ґрунту під час забруднення призводить до витіснення повітря нафтою, погіршення надходження води та поживних речовин, зміни гумусного стану, порушення аерації і створення анаеробних умов у товщі ґрунту, що викликає зміни окисно-відновних умов і є причиною гальмування розвитку живих організмів або їх загибелі. Вміст органічної речовини з розрахунку на загальний вуглець і гумус у забруднених ґрунтах зростає за рахунок вуглецю нафти, але йде процес якісної зміни бітумінозних речовин і групового складу гумусу. Найбільш сприятливим для мікробного гідролізу сполук є значення співвідношення C:N від 10 до 20, а у забрудненому НП ґрунті C:N зростає від 50 до 400 залежно від кількості привнесеного вуглецю і типу ґрунту, що призводить до погіршення азотного режиму ґрунтів. Пригнічення процесів нітрифікації відмічається за умови вмісту нафти у ґрунті на рівні 1–15%. Саме внесення комплексних мінеральних добрив сприяє покращенню азотного режиму та збільшенню вмісту рухомих форм фосфору і калію.

На рисунку 4 наведені узагальнюючі результати досліджень щодо ступеня деградації нафти для широкого спектру хімічної природи біостимуляторів, зокрема для різного початкового вмісту нафти у ґрунті.

Найбільші біостимуляційні впливи на нативні мікроорганізми-нафтодеструктори здійснюють відходи тваринного походження та неорганічні відходи, які містять необхідні для прискорення їх росту речовини. Такий підхід дозволить додатково вирішити проблему поводження з відходами і частково повернути мікроелементи в природні цикли.

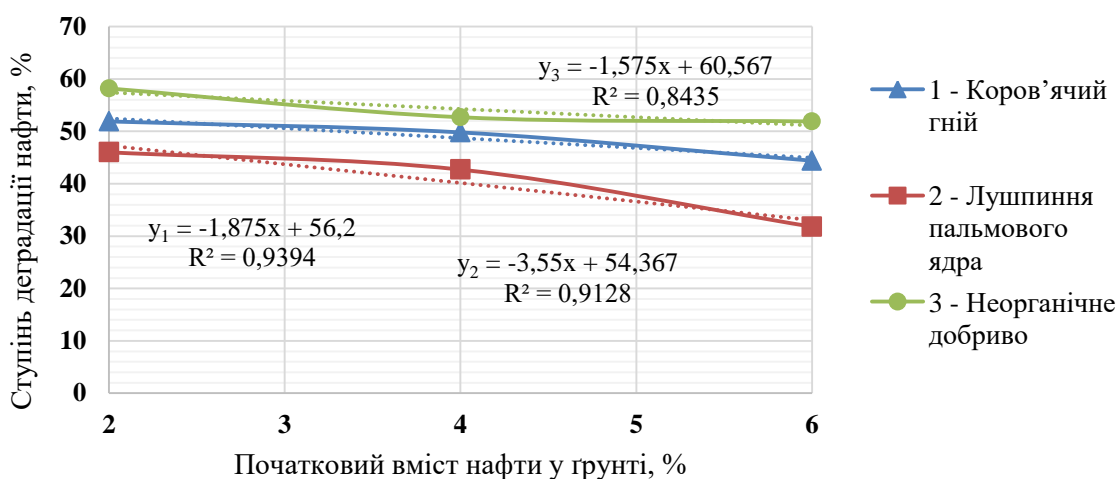


Рис. 3. Залежність ступеня деградації нафти від виду біостимулятора та початкового вмісту нафти у ґрунті

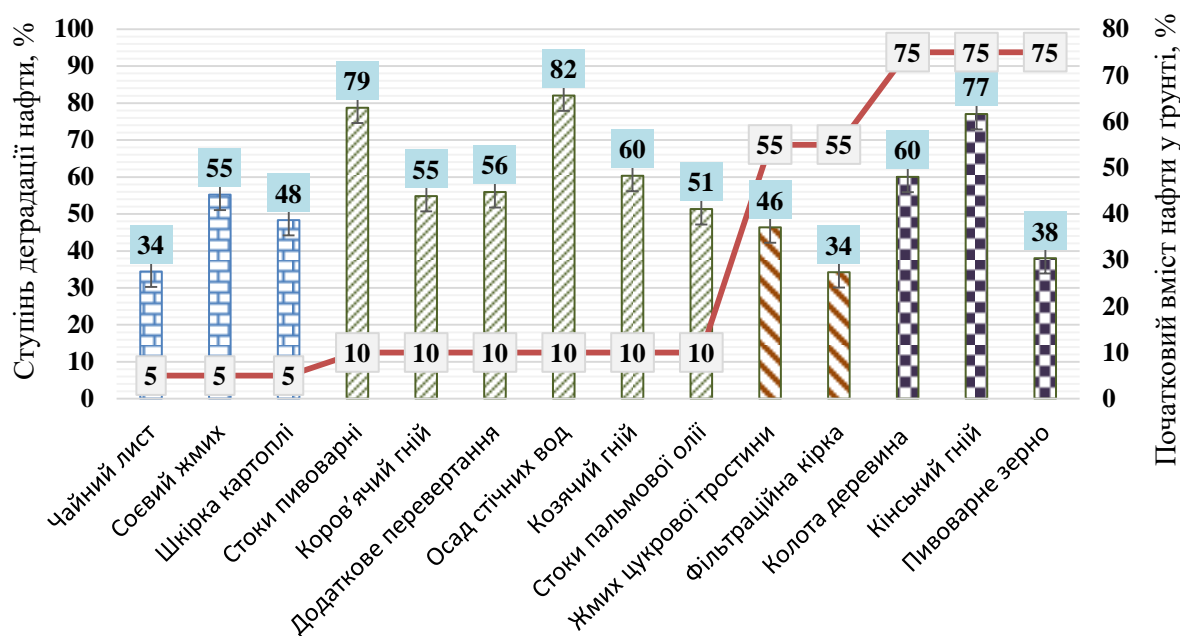


Рис. 4. Залежність ступеня деградації нафти у ґрунті від виду біостимулятора

Одним із можливих рішень проблеми очищення нафтозабруднених ґрунтів пропонується використання дигестату біогазових установок. Дигестат – високо збагачене на поживні речовини та гумус добриво [16]. Крім біодобривного ефекту, дигестат можна використовувати як органічний меліорант для покращання фізичних властивостей ґрунту, таких як утримання вологи, підтримка концентрації органічних речовин, підвищення біологічної активності і пригнічення патогенних організмів [17].

Додавання азоту з дигестатом у ґрунт ініціює багато процесів, таких як мінералізація, іммобілізація, нітрифікація і денітрифікація, а також вилуговування і випаровування, які залежать не тільки від внутрішніх властивостей дигестату (вміст і форма внесеного азоту), але і від властивостей ґрунту, погодних умов, в основному температури, опадів і технології внесення. Швидкість мінералізації і нітрифікації залежить, головним чином, від вмісту органічної речовини в ґрунті і в деякому ступені від його текстурних властивостей [18].

Склад ферментованої біомаси (дигестату) в цілому залежить від основного матеріалу органічної речовини, вмісту і форми азоту. На обсяг поживних речовин в дигестаті також впливають тривалість процесу ферментації, його параметри (температура, тиск), а також походження і склад сировини. Більш високий вміст N в дигестаті у порівнянні з компостом є наслідком ефекту концентрування N, оскільки джерела вуглеводню розкладаються до CO₂ і CH₄, а

N зберігається під час анаеробного бродіння [19]. Азот є основною поживною речовиною для рослин у формі NH_4^+ і NO_3^- і є найбільш поширеним фактором, що обмежує ріст сільськогосподарських культур.

На підставі викладеного вище сформульовані задачі для подальшого дослідження, що полягають у визначенні динаміки санітарно-бактеріологічних показників нафтозабрудненого ґрунту під час проведення біоремедіації за умови додаткового внесення біостимуляторів, зокрема анаеробного дигестату. За результатами санітарно-мікробіологічної оцінки ґрунту можна судити про ступінь та швидкість очищення ґрунту, тобто інтенсифікацію цього процесу внаслідок застосування біостимуляторів.

Висновки. Проведені дослідження засвідчують, що зразки ґрунту після надходження нафти є сильно забрудненими за санітарно-бактеріологічними показниками, а динаміка рівня забруднення ґрунту змінюється не тільки залежно від початкової концентрації забруднювача, а й від часу, що пройшов з моменту забруднення. Встановлено, що з метою ініціації процесів природного самоочищення ефективно застосовувати біостимуляцію за рахунок внесення поживних речовин для активації діяльності мікроорганізмів-нафтодеструкторів. У ролі біостимуляторів доцільно використовувати неорганічні та органічні відходи рослинного і тваринного походження, що в свою чергу зменшить їх накопичення та перетворить на перспективну вторинну сировину і дозволить частково повернути мікроелементи в природні цикли.

Експериментально встановлено залежність ступеню деградації нафти та нафтопродуктів від внесених видів відходів. Виявлено, що чим сильніше ґрунти забруднені нафтопродуктами, тим більший вміст азоту повинен міститися в біостимулюючому субстраті для підтримання співвідношення C:N в межах від 10 до 20 в забрудненому ґрунті. Доведено, що найбільш ефективним біостимулятором є неорганічне добриво, а застосування лушпиння пальмового ядра найменше інтенсифікує природний процес деградації нафти, коров'ячий гній займає проміжне місце. На підставі досліджень встановлено, що перспективним біостимулюючим субстратом є дигестат, який виступає як ефективний органічний меліорант та стимулятор біологічної активності.

Тип дигестату, залежно від сировини, тривалості процесу ферментації, його параметрів (температура, тиск), а також походження і складу сировини, що може містити різну кількість азоту, впливає на швидкість біодеструкції під час проведення біоремедіації за умови додаткового внесення біостимуляторів. Подальші дослідження у цьому напрямі дозволять підвищити ступінь біологічного очищення ґрунтів та зменшити накопичення відходів від використання біогазових установок, що буде мати подвійну екологічно обґрунтовану ефективність.

Література

- 1 Черных М. С., Садчиков А. В. Нефтедеструкция и биоремедиация. *Современные проблемы науки и образования*. 2016. № 5. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=25214>
- 2 Воеводина Т. С., Русанов А. М., Васильченко А. В. Влияние нефти на химические свойства чернозема обыкновенного Южного Предуралья. *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2015. № 10 (185). С. 157-161. URL: http://vestnik.osu.ru/2015_10/34.pdf.
- 3 Liang Y., Zhang X., Zhou, J., Li G. Long-term oil contamination increases deterministic assembly processes in soil microbes. *Ecological Applications*. 2015. Vol. 25(5). P. 1235-1243. URL: <https://doi.org/10.1890/14-1672.1>.
- 4 Borowik A., Wyszowska J., Kucharski M., Kucharski J. Implications of soil pollution with diesel oil and BP petroleum with ACTIVE technology for soil health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2019. Vol. 16(14). URL: <https://doi.org/10.3390/ijerph16142474>.
- 5 Yan L., Penttinen P., Mikkonen A., Lindström K. Bacterial community changes in response to oil contamination and perennial crop cultivation. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018. Vol. 25(15). P. 14575-14584. URL: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1635-9>.
- 6 Salam L. B., Obayori S. O., Nwaokorie F. O., Suleiman A., Mustapha R. Metagenomic insights into effects of spent engine oil perturbation on the microbial community composition and function in a tropical agricultural soil. *Environmental Science and Pollution Research*. 2017. Vol. 24(8). P. 7139–7159. URL: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8364-3>.

- 7 Uzoigwe C., Burgess J. G., Ennis C. J. et al. Bioemulsifiers are not biosurfactants and require different screening approaches. *Front Microbiology*. 2015. Vol. 6(245) [online]. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4387539/pdf/fmicb-06-00245.pdf>.
- 8 Helmy Q., Laksmono R. and Kardena E. Bioremediation of Aged Petroleum Oil Contaminated Soil: From Laboratory Scale to Full Scale Application. *Procedia Chemistry*. 2015. Vol. 14. P. 326-333.
- 9 Ebadi A. A., Sima N. A., Olamaee M. Effective bioremediation of a petroleum-polluted saline soil by a surfactant – *Pseudomonas aeruginosa* consortium. *Journal of advanced research*. 2017. Vol. 8 (6). P. 627-633. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jare.2017.06.008>.
- 10 Das P., Yang X.-P., Ma L. Analysis of biosurfactants from industrially viable *Pseudomonas* strain isolated from crude oil suggests how rhamnolipids congeners affect emulsification property and antimicrobial activity. *Frontiers in microbiology*. 2014. Vol. 5(696). URL: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00696>.
- 11 Olawepo G. K., Ogunkunle C. O., Adebisi O. O., Fatoba P. O. Enhanced Bioremediation of Brass Crude-Oil (Hydrocarbon), Using Cow Dung and Implication on Microbial Population. *Pollution*. 2018. Vol. 4(2). P. 273-280. URL: <https://doi.org/10.22059/poll.2017.240833.313>.
- 12 Urhibo V. O., Ejechi B. O. Crude oil degradation potential of bacteria isolated from oil-polluted soil and animal wastes in soil amended with animal wastes. *AIMS Environmental Science*. 2017. Vol. 4(2). P. 277-286. URL: <https://doi.org/10.3934/environsci.2017.2.277>.
- 13 Robichaud K., Lebeau M., Martineau S., Amyot M. Bioremediation of engine-oil contaminated soil using local residual organic matter. *PeerJ*. 2019. URL: <https://doi.org/10.7717/peerj.7389>.
- 14 Cuevas-Díaz M. et al. Catalase and Phosphatase Activities During Hydrocarbon Removal from Oil-Contaminated Soil Amended with Agro-Industrial By-products and Macronutrients. *Water Air Soil Pollution*. 2017. Vol. 228: 159. URL: <https://doi.org/10.1007/s11270-017-3336-2>.
- 15 Ani K. A., Ochin E. Response surface optimization and effects of agricultural wastes on total petroleum hydrocarbon degradation. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*. 2018. Vol. 7. P. 564-574. URL: <https://doi.org/10.1016/j.bjbas.2018.06.009>.
- 16 Möller K. Effects of anaerobic digestion on soil carbon and nitrogen turnover, N emissions, and soil biological activity. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 2015. Vol. 35. P. 1021-1041. URL: <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0284-3>.
- 17 Nkoa R. Agricultural benefits and environmental risks of soil fertilization with anaerobic digestates: A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 2014. Vol. 34. P. 473-492. URL: <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0196-z>.
- 18 Wysocka-Czubaszek A. Dynamics of Nitrogen Transformations in the Soil Fertilized with Digestate from Agricultural Biogas Plant. *Journal of Ecological Engineering*. 2019. Vol. 20(1). URL: <https://doi.org/10.12911/22998993/93795>.
- 19 Kuusik A., Pachel K., Kuusik A, Loigu E. Possible agricultural use of digestate. *Proceeding of the Estonian Academy of Science*. 2017. Vol. 66.1. P. 64-74. URL: <https://doi.org/10.3176/proc.2017.1.10>

*I. Ablieieva, L. Pliatsuk, I. Trunova,
O. Yakhnenko, I. Berezha
Sumy State University*

INFLUENCE OF BIOSTIMULANTS ON THE MICROBIOLOGICAL STATE OF OIL-CONTAMINATED SOILS

The application of scientifically based approaches to the intensification of natural processes of self-cleaning of soils from petroleum products is becoming increasingly important. Biocleaning is an effective, environmentally sound method of improving the environment. The purpose of the article is to establish patterns of changes in the sanitary-microbiological condition of the soil after oil pollution and to determine effective approaches to the intensification of natural processes of soil self-cleaning.

In the work, the sanitary-bacteriological research of the oil-contaminated soil on sanitary-indicative microorganisms was carried out; the sanitary-microbiological condition of the studied soil samples was assessed to identify the qualitative changes in ecological and trophic groups of microorganisms; the efficiency of biostimulants application for intensification of natural processes of self-purification of oil-contaminated soils was substantiated.

Methods of inoculation of medium were used for microbiological study, the degree of soil contamination was assessed by determining the total microbial count and performing the quantitative analysis of the main indicator microorganisms.

It was determined that soil samples after oil inflow are heavily contaminated by sanitary and bacteriological indicators. To stimulate the development of certain groups of biotransformers, it is effective to introduce special sorbents that contain a range of substances necessary to accelerate the growth of microorganisms that destroy the oil. It was found that using the digestate of biogas plants as a biostimulator allows improving the physical and water-air properties of the soil, and acts as an effective biostimulator to increase biological activity due to the content of macronutrients.

Key words: biotreatment, biostimulation, digestate, soil pollution, oil products, sanitary-microbiological assessment.

References

- 1 Chernykh M. S., Sadchikov A. V. Neftedestruktsiya i bioremediatsiya. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*. 2016. № 5. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=25214>.
- 2 Voyevodina T. S., Rusanov A. M., Vasilchenko A. V. Vliyaniye nefi na khimicheskiye svoystva chernozema obyknovennogo Yuzhnogo Preduralya. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2015. № 10 (185). S. 157-161. URL: http://vestnik.osu.ru/2015_10/34.pdf.
- 3 Liang Y., Zhang X., Zhou, J., Li G. Long-term oil contamination increases deterministic assembly processes in soil microbes. *Ecological Applications*. 2015. Vol. 25(5). P. 1235-1243. URL: <https://doi.org/10.1890/14-1672.1>.
- 4 Borowik A., Wyszowska J., Kucharski M., Kucharski J. Implications of soil pollution with diesel oil and BP petroleum with ACTIVE technology for soil health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2019. Vol. 16(14). URL: <https://doi.org/10.3390/ijerph16142474>.
- 5 Yan L., Penttinen P., Mikkonen A., Lindström K. Bacterial community changes in response to oil contamination and perennial crop cultivation. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018. Vol. 25(15). P. 14575-14584. URL: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1635-9>.
- 6 Salam L. B., Obayori S. O., Nwaokorie F. O., Suleiman A., Mustapha R. Metagenomic insights into effects of spent engine oil perturbation on the microbial community composition and function in a tropical agricultural soil. *Environmental Science and Pollution Research*. 2017. Vol. 24(8). P. 7139-7159. URL: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8364-3>.
- 7 Uzoigwe C., Burgess J. G., Ennis C. J. et al. Bioemulsifiers are not biosurfactants and require different screening approaches. *Front Microbiology*. 2015. Vol. 6(245) [online]. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4387539/pdf/fmicb-06-00245.pdf>.
- 8 Helmy Q., Laksmono R. and Kardena E. Bioremediation of Aged Petroleum Oil Contaminated Soil: From Laboratory Scale to Full Scale Application. *Procedia Chemistry*. 2015. Vol. 14. P. 326-333.
- 9 Ebadi A. A., Sima N. A., Olamaee M. Effective bioremediation of a petroleum-polluted saline soil by a surfactant – *Pseudomonas aeruginosa* consortium. *Journal of advanced research*. 2017. Vol. 8 (6). P. 627–633. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jare.2017.06.008>.
- 10 Das P., Yang X.-P., Ma L. Analysis of biosurfactants from industrially viable *Pseudomonas* strain isolated from crude oil suggests how rhamnolipids congeners affect emulsification property and antimicrobial activity. *Frontiers in microbiology*. 2014. Vol. 5(696). URL: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00696>.
- 11 Olawepo G. K., Ogunkunle C. O., Adebisi O. O., Fatoba P. O. Enhanced Bioremediation of Brass Crude-Oil (Hydrocarbon), Using Cow Dung and Implication on Microbial Population. *Pollution*. 2018. Vol. 4(2). P. 273-280. URL: <https://doi.org/10.22059/poll.2017.240833.313>.
- 12 Urhibo V. O., Ejechi B. O. Crude oil degradation potential of bacteria isolated from oil-polluted soil and animal wastes in soil amended with animal wastes. *AIMS Environmental Science*. 2017. Vol. 4(2). P. 277-286. URL: <https://doi.org/10.3934/environsci.2017.2.277>.
- 13 Robichaud K., Lebeau M., Martineau S., Amyot M. Bioremediation of engine-oil contaminated soil using local residual organic matter. *PeerJ*. 2019. URL: <https://doi.org/10.7717/peerj.7389>.
- 14 Cuevas-Díaz M. et al. Catalase and Phosphatase Activities During Hydrocarbon Removal from Oil-Contaminated Soil Amended with Agro-Industrial By-products and Macronutrients. *Water Air Soil Pollution*. 2017. Vol. 228: 159. URL: <https://doi.org/10.1007/s11270-017-3336-2>.

15 Ani K. A., Ochin E. Response surface optimization and effects of agricultural wastes on total petroleum hydrocarbon degradation. Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences. 2018. Vol. 7. P. 564-574. URL: <https://doi.org/10.1016/j.bjbas.2018.06.009>.

16 Möller K. Effects of anaerobic digestion on soil carbon and nitrogen turnover, N emissions, and soil biological activity. A review. Agronomy for Sustainable Development. 2015. Vol. 35. P. 1021-1041. URL: <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0284-3>.

17 Nkoa R. Agricultural benefits and environmental risks of soil fertilization with anaerobic digestates: A review. Agronomy for Sustainable Development. 2014. Vol. 34. P. 473-492. URL: <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0196-z>.

18 Wysocka-Czubaszek A. Dynamics of Nitrogen Transformations in the Soil Fertilized with Digestate from Agricultural Biogas Plant. Journal of Ecological Engineering. 2019. Vol. 20(1). URL: <https://doi.org/10.12911/22998993/93795>.

19 Kuusik A., Pachel K., Kuusik A., Loigu E. Possible agricultural use of digestate. Proceeding of the Estonian Academy of Science. 2017. Vol. 66.1. P. 64-74. URL: <https://doi.org/10.3176/proc.2017.1.10>.

*Т. Б. Качала, С. В. Качала,
Я. О. Адаменко, Х. Б. Караванович
Івано-Франківський національний
університет нафти і газу*

ЗАСТОСУВАННЯ ВІДХОДІВ ОЧИСНИХ СПОРУД ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ БУРОВИХ АМБАРІВ

В сьогоденні проблема нафтового забруднення ґрунтів у нашій країні мало вирішується, а роботи з очищення нафтових забруднень з допомогою мікроорганізмів не координуються, їх науковий і технологічний рівень невисокий. Таким чином, проблема забруднення нафтою та нафтопродуктами ґрунтів стоїть як ніколи гостро.

Існують механічні, термічні і фізико-хімічні методи очищення ґрунтів від нафтових забруднень, ефективні лише за певного рівня забруднення. Зазвичай, щонайменше 1% нафти в ґрунті, часто пов'язані з додатковим внесенням забруднення і забезпечують повноти очищення. Забруднення ґрунтів нафтою та нафтопродуктами — одна зі складних проблем екології і охорони навколишнього середовища. На сьогоднішній день успішно розвиваються технології біоремедіації нафтозабруднених територій, проте її рівень не допомагає локально, швидко та економічно вигідно справитись із проблемою.

Наша робота присвячена розробці ефективного методу рекультивації територій які задіяні у процесі видобутку нафти і газу. Зокрема тих ділянок які відводяться під розміщення амбарів і є одними із найзабрудненіших по закінченню видобутку корисних копалин. Розв'язання проблеми досягається за допомогою використання зміненої конструкції амбару, а також застосування сорбенту із відходів водоочисних підприємств. Зменшення забруднення ґрунтового покриву, на території об'єкту дає можливість подальшого використання території нафтошламового амбару включаючи сільськогосподарську діяльність. Розроблений спосіб може використовуватись при веденні будь-яких бурових робіт, а також у діяльності, що передбачає рекультивацію територій, які піддалися впливу забруднення через аварійні ситуації, що проявляються розливами нафти, а також ті ґрунти, які деградували через міграцію забруднюючих речовин, що є супутніми в процесі буріння.

Ключові слова: ґрунт, рекультивація, сорбент, нафтопродукти, амбар, конструкція

Постановка проблеми. Основною метою роботи є визначення рівня рекультивації території нафтогазовидобувної діяльності. Предметом дослідження виступає кількісний та якісний показники рекультивації території дослідження. Для проведення дослідження об'єктом було обрано експериментальну ділянку бурового амбару.

На сьогоднішній день є багато перспективних методів очищення забруднених нафтою ґрунтів як в економічному, так і в практичному плані є біотехнологічний підхід, що заснований на використанні різних груп мікроорганізмів та підвищує здатність до біодеградації компонентів нафти і нафтопродуктів.

Основний механізм поширення нафтового забруднення в ґрунтах – гравітаційний рух по поверхні в бік нахилу місцевості (поверхневий стік), проникнення в ґрунтові горизонти і рихлі відклади.

Ареал поширення забруднюючого потоку залежить від рельєфу, ґрунтових і гідрологічних умов місцевості і кількості пластового флюїду, що розлився. Властивості нафти (в'язкість, щільність і ін.) також мають суттєвий вплив на масштаби забруднення. При цьому в ґрунтах пластовий флюїд розділяється на нафтові компоненти, які затримуються у верхніх ґрунтових горизонтах, і мінералізовані води, більш важкі і менш в'язкі, котрі проникають в нижні горизонти ґрунту. З часом диференціація речовин посилюється. Так, відомо, що при русі нафтових компонентів по ґрунтовому профілю вниз проходить сорбція асфальтно-смолистих компонентів нафти. У нижніх же горизонтах зменшується кількість і молекулярна маса нафтових компонентів.

Характер розподілу забруднюювальних речовин в ґрунтах залежить від цілого ряду факторів, насамперед від морфологічних, структурних, генетичних особливостей конкретного ґрунтового профілю, кількості і складу флюїду, що розлився, температури повітря, часу, що минув з часу

розливу. Всі ці фактори в сукупності визначають різноманітність розподілу забруднювальних речовин по ґрунтовому профілю. Основними визначальними факторами є водно-термічний режим ґрунтів та їх механічний склад [6].

У природі постійно відбуваються процеси самоочищення ґрунтів від забруднень нафтою та нафтопродуктами. Знову ж таки їх тривалість та інтенсивність залежить насамперед від ґрунтово-кліматичних умов, сили і характеру техногенного навантаження, рівня резистентності і стійкості природних комплексів, їх мінливості, ступеня «пружності» та інших факторів. Процес самоочищення може затягуватися на десятки років. При цьому агроландшафтні комплекси, порівняно з цілиними землями, більш чутливі і вразливі до нафтозабруднення та мають значно менший потенціал самоочищення [5].

Для інтенсифікації цього процесу широко застосовують біоремедіаційні методи очищення забруднених вуглеводнями нафти ґрунтів, котрі базуються на використанні біопрепаратів, до складу яких входять адаптовані до забруднювача активні штами мікроорганізмів-деструкторів, біогенні добавки, мінеральні компоненти, сорбенти. Ефективність біодеструкції з використанням мікробіологічних препаратів залежить від цілого ряду факторів екзо- та ендогенної природи, а також від дотримання самої технології процесу біодеструкції, методичних вказівок по їх застосуванню та від послідовності проведення відновних робіт.

Контроль за інтенсивністю біодеструкції нафтозабруднень в ґрунті та ефективністю робіт по очищенню природного середовища здійснюється насамперед шляхом проведення лабораторних досліджень якісних і кількісних параметрів ґрунту та порівняльного аналізу отриманих даних протягом всього періоду проведення відновних робіт по його санації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У процесі дослідження проаналізовано існуючі конструкції бурових амбарів та методи, спрямовані на пониження рівня забруднення ґрунтового покриву та дегенерацію рослинного покриву. На даний час використовуються наступні методи: використання ґрунтоцементу, гідроізоляції, біологічної утилізації та застосування скомбінованості захисних стінок. Для більш чіткого висвітлено недоліків існуючих методів наводимо відомості про їх особливості.

Спосіб застосування ґрунтоцементу як протифільтраційного екрану амбарів-шламонакопичувачів використовують для відходів буріння та експлуатації нафтогазових свердловин [7]. Для створення гідроізоляції шламових амбарів використовують ґрунтоцемент. Ґрунтоцемент – суміш глинистого ґрунту, цементу та води. Даний ізолят є не простою механічною сумішшю, а системою, що складається з двох дуже складних за своїм складом і властивостями багатокомпонентних систем – цементу та ґрунту. Основним провідним фактором у корінному перетворенні властивостей ґрунту є цемент, який є полідисперсною й полімерною системою, яка може утворювати кам'яно видне тіло після додавання води [8].

Недоліком такого методу є його ненадійність, високий рівень ймовірності прориву стінок, а також просідання верхньої частини в процесі консервації, вихід наповнення амбару на поверхню, неможливість подальшого використання території амбару.

Інший важливий метод – гідроізоляція амбарів-накопичувачів та захоронення відходів буріння при будівництві свердловини на нафту і газ, зокрема створення бурового амбару «Протифільтраційний екран», суть якого полягає в облаштуванні амбарів-накопичувачів протифільтраційним екраном. У цьому випадку використовується композиційний матеріал на основі синтетичної тканини (полотна), модифікованої з обох сторін полімерно-бітумним в'язким з високими термопластичними та гідроізоляційними властивостями, який у вигляді полотен укладається поперек дна амбару-накопичувача. Після чого полотна композиційного матеріалу герметично з'єднуються між собою шляхом наплавлення, утворюючи при цьому міцний каркас. Внаслідок перетворення відходів буріння з напіврідкої фази на тверду здійснюється загортання країв композиційного матеріалу та шляхом наплавлення додаткових полотен утворюються суцільні герметичні ємності-сховища відходів буріння [9].

Недоліком такого методу, що полягають у ненадійності протифільтраційних екранів, а також необхідності додаткової гідроізоляції та недовговічності конструкції.

Використання комбінованих стінок. Особливістю розробки є використання під час створення нафтошлямового амбару комбінованих стінок, які складатимуться з різних типів ґрунту. Враховується тільки по черговість типів ґрунту з різною пропускною властивістю – від щільніших до найменш щільних типів ґрунтів. Для зовнішніх стінок використовуються глинисті типи ґрунтів,

для створення проміжних стінок ґрунти з середньою щільністю леси, карбонатні суглинки, для створення найактивнішого шару ізоляту різнодисперсний пісок.

Недоліком такого методу полягають у неможливості проведення рекультивації уже існуючих об'єктів, а також необхідністю використання ресурсів для стінок які не є притаманні території.

Для підтвердження ефективності нашої розробки ми запропонували розглянути найбільш поширений метод ліквідації вуглеводневого забруднення, що рекультивується способом біологічної утилізації. Він полягає в обробці масиву нафтовмістких речовин, пластових вод, берегової лінії та придонних відкладень нафтошлямових амбарів біологічними та хімічними речовинами. Вони по всьому об'єму послідовно вносять у вуглеводневу масу нафтошлямового амбару щонайменше один концентрований біокатализатор деструкції вуглеводнів, сорбент або розпушувач, біологічний катализатор асиміляції вуглеводнів і буферний стабілізатор, причому вносять в гомогенізовану масу амбару препарат вуглеводнево окислюючих мікроорганізмів [10].

Беручи до уваги існуючу технологію рекультивації, ми за допомогою порівняння продемонструємо переваги нашої розробки, створеної в процесі досліджень.

Методи та матеріали. Ґрунтуючись на проведених дослідженнях ми встановили, що значна частка нафтопродуктів які значною частиною відходів буріння потрапляє в ґрунтовий покрив шляхом проникнення через захисні стінки конструкції бурових амбарів. З метою вирішення цього роду проблем ми вдосконалили конструкцію бурового амбару. Запропонована вдосконалена конструкція нафтошлямового амбару надає можливість сповільнити процеси проникнення відходів буріння які містять нафтопродуктів крізь захисні стінки у профіль ґрунтового покриву. Окрім зниження рівня забруднення ґрунтового покриву, з'являється можливість подальшого використання поверхні нафтошлямового амбару, включаючи сільськогосподарську діяльність. Це вдосконалення конструкції може використовуватись при веденні будь-яких бурових робіт, у діяльності, що передбачає рекультивацію територій, які зазнали впливу забруднення в силу виникнення аварійних ситуацій, а також ті ґрунти, які деградували через міграцію забруднювальних речовин, що є супутніми в процесі буріння. [2, 3]

В сучасних умовах розвитку технології нафтовидобутку при експлуатації нафтових родовищ, зокрема бурінні свердловин, утворюються значні обсяги відходів, переважна кількість яких нагромаджуються в шламових амбрах. У процесі експлуатації амбари заповнюються буровими і тампонажними розчинами, пластовими водами, буровими стічними водами і шламом, продуктами випробування свердловин, матеріалами для приготування та хімічної обробки бурових і тампонажних розчинів тощо. До основних типів промивальних розчинів належать піна, вода і розчини: глинисті, природні з неглинистих порід, на нафтовій основі, емульсійні, керовані. Невід'ємними компонентами промивальної рідини є глинопорошки: бентонітовий, палигорськітовий. Також використовуються обважнювачі: регулятор рН, баритовий та гематитовий, розчин – сода каустична. Серед ПАР (поверхнево-активних речовин) застосовуються такі: різні окситильовані спирти, сульфонал,, дісолван, жиринокс, стеарокс, неонем та савенол. В додаток до того, використовують емульгатори, реагенти- стабілізатори, реагенти–розріджувачі, реагенти-піногасники, інгібітори корозії тощо. Особливо екологічно небезпечним є скид промивних рідин спеціального призначення, наприклад, на содовій основі.

Відпрацьовані бурові розчини разом із вибуреною породою утворюють буровий шлам. Він в середньому складається з породи (58%-82%), органічних речовин (12%), водорозчинних солей (до 8%) обважнювачів, глини, іноді містить нафту. Буровий шлам є забрудником через наявність в ньому органічних домішок. [3, 5]

При бурінні свердловини на середньостатистичну глибину в амбарі міститься близько 65% води, 30% шламу (вибуреної породи), 5,5% нафти, 0,5% бентоніту і 0,5% різних присадок, що забезпечують оптимальну роботу бурової установки. Вміст нафтопродуктів у шламі коливається в межах від 200 до 13870 мг/кг.

Забруднювальна здатність бурових розчинів залежить від кількості і токсикологічної характеристики хімічних реагентів, що застосовуються для їх оброблення. Під час буріння свердловин використовуються реагенти і речовини 3, 4 класу небезпеки. Вибурена порода за своїм складом нетоксична, але, диспергуючись у середовищі бурового розчину, її частинки адсорбують на своїй поверхні токсичні речовини і можуть негативно вплинути на рослинний світ, ґрунтові води. Під час буріння свердловини негативний вплив на ґрунти, поверхневі і підземні води чинить

буровий розчин, а також буровий шлам. Тому особливо гостро стоїть проблема ліквідації шламових амбарів та подальшої рекультивациі земель на території буріння свердловин. [1, 2]

Однією з актуальних проблем на сьогоднішній день є забруднення поверхневого шару ґрунту нафтопродуктами. Здебільшого, активне забруднення відбувається під час порушення геологічного середовища в процесі видобування, а також складування відходів з високою концентрацією нафти, що в процесі міграції підвищує її концентрацію у ґрунтовому покриві, унеможливаючи подальше його використання.

Беручи до уваги проблематику важливою частиною заходів є створення накопичувачів відходів, що сповільнюють процеси поширення вуглеводневого забруднення ґрунтового покриву, та дозволять подальше використання території, задіяної під час даного процесу, без негативного впливу на компоненти навколишнього середовища [6].

З метою вирішення проблеми ефективної рекультивациі бурових амбарів нами було розроблено ефективний варіант конструкції накопичувача. Та для досягнення ефекту повної рекультивованої використовували мули (відходи з очисних споруд). Використаний сорбент у сухому стані ефективно взаємодіє із вмістом амбару це стало причиною зупинитись на ньому оскільки інші види використаних нами сорбентів показали доволі низькі рівні ефективності. Запропонований нами спосіб, розроблений з врахуванням недоліків існуючих методів, має певну перевагу. Особливістю нашої розробки є використання в процесі створення нафтошлямового амбару амортизуючі стінок та особливу структуру кришки амбару. Стінки складатимуться з трьохшаровості захисного блоку внутрішній шар якого є своєрідним амортизатором, а кришка передбачає використання агроволокна. А також для підсилення біологічно відновлюваних процесів забрудників під час заповнення нафтошлямового амбару поступово додається наповнювач (мул) в пропорції 2,5:1.

За допомогою вищенаведених способів неможливо повністю рекультивувати бурові амбари чи шламосховища таким чином, щоб відновити повноцінну діяльність людини на території захоронення. Проте наблизитись до вирішення проблеми яка порушується у статті можна шляхом втілення нашої розробки із експериментального етапу у реальне використання.

Що стосується переваг запропонованого методу рекультивациі можна назвати декілька ключових, а саме: можливість використовувати при будь яких кліматичних умовах; економічна перевага, вартість запропонованого способу є порівняно нижчою ніж у існуючих аналогах; можливість подальшого використання поверхні нафтошлямового амбару; використання відходів іншого виду промисловості, що знизити навантаження на навколишнє середовище.

В основу дослідження поставлено завдання створення конструкції нафтошлямового амбару, який знижував би вплив на рослинний покрив, що призводить до дегенерації фіто сфери та унеможливає подальше використання поверхні для розвитку органічних компонентів навколишнього середовища.

Важливою перевагою цього способу є можливість застосування розробки у будь-яких параметричних і часових варіаціях, необхідних конструктору. Розміри нафтошлямових амбарів, їхній об'єм, профіль і глибина та висота обваловки визначаються на стадії робочого проектування, відповідно до конкретної ділянки будівництва свердловин з урахуванням категорії ґрунту, глибини залягання ґрунтових вод та інших характеристик.

Будівництво бурового шламового амбару розпочинається із зняття родючого шару ґрунту та складування його в тимчасові відвали; потім риття земляного котловану та складування глинистого ґрунту. Наступним етапом є побудова протифільтраційних стін. Під час створення нафтошлямового амбару необхідно використовувати амортизуючі стінки, які складатимуться з трьох типів ґрунту. У запропонованому варіанті необхідно використовувати типи гнута, які мають різні пропускні властивості, починаючи з щільних наступні найменш щільні та завершувати середньою щільністю [2-6].

Запропонована модель конструкції побудови бурового амбару дозволить максимально сповільнити процеси поширення вуглеводневого забруднення рослинного покриву. При цьому шари ґрунту, які використовуватимуться для бортів конструкції, втримуватимуть вуглеводневий забрудник та супутні хімічні речовини, поступово знижуючи рівень поширення речовин на незабруднені незадіяні в техногенній діяльності території.

Для зовнішніх стінок, які необхідно використовувати ґрунти з середньою щільністю наприклад леси, лесовані й карбонатні суглинки та супіски, для створення проміжних стінок різнодисперсний, різнотипний пісок, або типи ґрунту із вмістом піску 37%, для створення

найактивнішого шару ізоляту необхідно використовувати найбільш щільні глинисті типи ґрунтів [1, 2].

Наступним етапом у створенні та рекультивації амбарів, під час заповнення його важливим елементом для зниження рівня впливу на біосферу є поступове додавання сорбенту [1].

У даному випадку відходи очисних споруд відіграють роль природного сорбенту. Оптимальна пропорція 2,5:1 об'єму відносно вмісту забрудника, така його кількість виступатиме зв'язним елементом, абсорбентом (кількість відносно наповнювача амбара встановлено експериментальним шляхом і визначено його найбільшу ефективність). У разі додавання меншої кількості абсорбенту в експериментальній моделі спостерігалось збільшення незв'язаних фракцій вуглеводнів і прямих відходів буріння (бурових розчинів та різного типу хімічних пом'якшувачів). У випадку додавання більшої кількості сорбенту зафіксовано перевантаження нафтошлямового амбару та виявлено значну втрату робочого об'єму, що призводить до збільшення початкових розмірів споруди, а це є важливим негативним фактором не тільки з екологічної точки зору, але й з економічної. Саме такі результати досліджень з експериментальною моделлю привели до висновку, що 2,5:1 це оптимальна кількість сорбенту для досягнення максимального екологічного та економічного ефекту.

Фізико-хімічні властивості сорбенту дозволяють стимулювати рекультивацію та підвищити рівень потенційності використання території в майбутньому, знизити ризики протікання, унеможливають процеси просідання поверхні рекультивованих амбарів (максимальний можливий рівень просідання, який викликаний активним використанням території амбару, становитиме не більше 15 см), дозволяють використовувати територію амбару, як сільськогосподарський об'єкт.

Принцип облаштування розробленої екологічної модифікації нафтошлямового амбару зображено на рисунку.

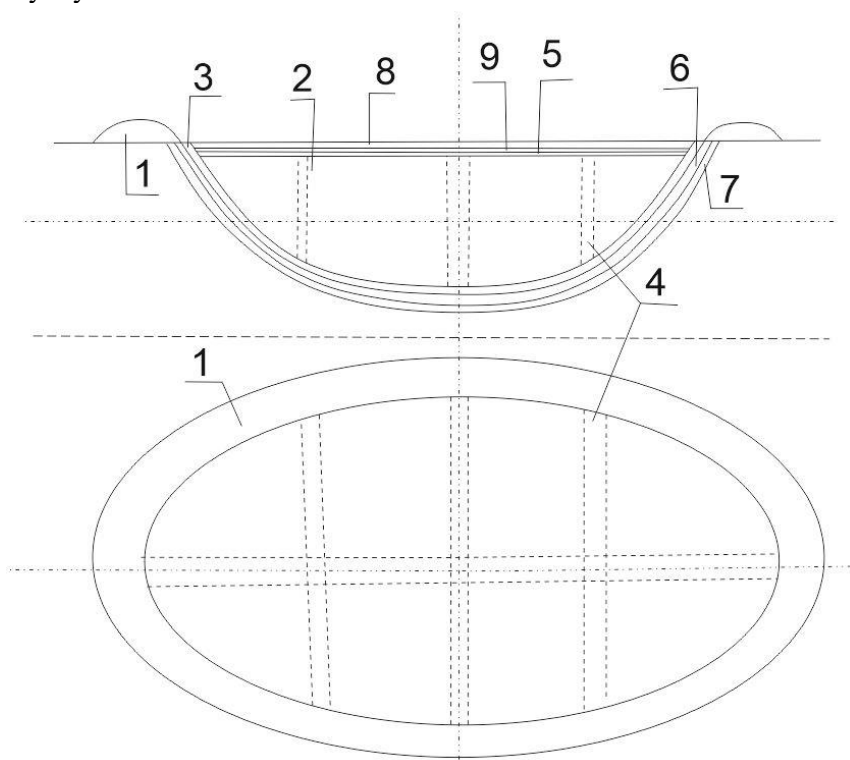


Рис. Модифікація конструкції нафтошлямового амбару (1 – борт нафтошлямового амбару; 2 – абсорбент з відходами буріння; 3 – внутрішня стінка; 4 – стабілізуючі насипи; 5 – внутрішня стінка (кришки амбару); 6 – проміжна стінка; 7 – зовнішня стінка; 8 – вилучені ґрунти зовнішня частина кришки (у процесі створення котловану); 9 – агроволокло)

Для ефективного застосування нашої розробки та досягнення ефекту рекультивації ми маємо наступні рекомендації. Для зовнішніх стінок (7) використовувати ґрунти з середньою щільністю наприклад леси, лесовані й карбонатні суглинки та супіски. Проміжні стінки (6) із різнодисперсного, різнотипного піску, або типу ґрунту із вмістом піску не менше 37%. Внутрішня стінка (3 та 5) із глинистих типів ґрунту. Для стабілізуючих насипів (4) використовувати щільні типи ґрунтів або ж певні породи які зможуть утримувати баланс тиску та зміщувати центр

найбільшого натиску наповнення амбару (ширина товщина не менше 30 см.). Агроволокно (9) щільністю 100 г/м². Кожна стінка розробленої модифікації передбачається не менше 30 см. товщини та відповідно збільшуватиметься при необхідності більш довгострокового процесу експлуатації. Кожен шар кришки повинен складати не менше 40 см. та товщину агроволокна.

Результати та обговорення. У процесі дослідження встановлено, що сорбент, який міститься у сховищах для відходів, має високі зв'язні властивості, а також сприяє рекультиваційним процесам, оскільки верхній шар ґрунту, який виступатиме кришкою амбару, буде придатний для подальшого використання.

Важливо зазначити, що нафтошламкові амбари є великою екологічною проблемою, оскільки значні території, що відведені під їх розміщення, втрачають свої функціональні властивості. Варто сказати що мули які утворені в процесі очистки стічних вод мають хороші властивості проте на разі не активно використовуються, а здебільшого накопичуються у (муловідвал) що не ефективно у плані сталого розвитку та раціонального природокористування. Саме цей аспект і став однією з причин використання відходів очисних споруд для відновлення території, яку відведено під нафтошламповий амбар.

Використання мулів дозволить не тільки рекультивувати амбари, а й зменшити території, що використовуються під (муловідвал), що є прямою економічною вигодою як для очисних компаній будь якого населеного пункту, так і для видобувної галузі. Тобто даний метод/спосіб має конкретний екологічний ефект, який створює прямий вплив на рівень екологічної безпеки територій нафтовидобутку.

Проведені дослідження підводять до висновку, що зменшивши території, задіяної під зберігання відходів і використання запропонованого нами сорбенту мулу, сприятиме поступовій рекультивації. З іншого боку, впровадження ефективної рекультивації нафтошлампових амбарів не тільки зменшить міграцію вуглеводнів, але й дозволить надалі експлуатувати території, які виділялись під будівництво такого типу конструкцій. Особливий ефект для використання поверхні амбару привносить застосування агроволокна яке працюватиме як двох ступеневий фільтр. Універсальність та простота застосування розробленої конструкції надає можливість її застосування в різних кліматичних умовах. Це, безперечно, зумовить покращення стану навколишнього середовища та підніме рівень екологічної безпеки на територіях активного нафтогазовидобутку.

Висновок. Проведені дослідження вирішує проблему міграції нафтопродуктів з потенційних джерел забруднення (бурових амбарів) у профіль ґрунту, а отже, підвищити рівень екологічної безпеки, а також розробити спосіб подальшого використання рекультивованих територій. Цього результату ми домоглися шляхом розроблення нової конструкції бурового амбару та застосування сорбенту, що є відходами водоочисних підприємств.

Розроблено конструкцію бурового амбару із додаванням сорбенту (мулів) дозволило вирішити проблему першочергового забруднення ґрунтового покриву, яке відбувається внаслідок міграції нафти, нафтопродуктів та відходів буріння з бурового амбару у профіль ґрунту.

Запропонований метод дозволяє розпочинати процеси рекультивації технічних конструкцій (бурові амбари, шламсховища) в процесі їх використання, що зумовлює прямий економічний ефект. Беручи до уваги процес, об'єми та сферу утворення сорбента, вирішується проблема масштабних нагромаджень мулів, які також призводять до деградації компонентів навколишнього середовища та підвищення рівня екологічної безпеки.

Література

- 1 Качала, Тарас Богданович. Удосконалення систем екологічного моніторингу ґрунтового покриву виснажених нафтогазових родовищ Прикарпаття (на прикладі Битків - Бабченського нафто газоконденсатного родовища) : дисертація. 2018. PhD Thesis. Івано-Франківськ (ІФНТУНГ).
- 2 Handbook management of the contaminated sites with oil products depollution and fertilization technologies Romania-Ukraine cross border area area editura risoprint cluj- napoca 2015. – 100 с.
- 3 Качала Т. Б. Безпечний розвиток природних і антропогенно-модифікованих геосистем / Качала Т.Б. // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування : науково-технічний журнал. – Івано-Франківськ : Голіней. – 2014. – №2. – С. 162-163.
- 4 Качала Т. Б. Спосіб створення екологічної модифікації нафто шламового амбару / Т. Б. Качала // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування : науково-технічний журнал. – Івано-Франківськ : Голіней, 2016. – №1. – С. 52–57.

5 Каменщиков Ф. А. Нефтяные сорбенты / Ф. А. Каменщиков, Е. И. Богомольный. Москва-Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2005. – 268 с.

6 Препарат «Еколан» для очищення середовищ від нафти та нафтопродуктів : ТУ У 24.6-30572733-005-2004. – [Чинний від 2004-07-21]. – К., 2004. – 18 с.

7 Деклараційний патент на корисну модель UA74018 U. Заявка u201204835 від 17.04.2012, Опубліковано 10.10.2012, бюл. №19, 2012 р.

8 Деклараційний патент на винахід UA 48471U. Заявка 2001085956 від 27.08.2001., Опубліковано 15.08.2002, бюл. №8 2002 р.

9 Деклараційний патент на винахід UA 79436 U. Заявка 2004032026 від 18.03.2004, Опубліковано 25.06.2007, бюл. №10 2005 р.

10 Деклараційний патент на корисну модель. Заявка u201503770, затверджений Державною службою інтелектуальної власності України, набув статусу рішення про видачу деклараційного патенту на корисну модель від 12.11.2015.

*T. Kachala, S. Kachala,
Ya. Adamenko, K. Karavanovych
Ivano-Frankivsk National Technical
University of Oil and Gas*

USING WASTE FROM TREATMENT FACILITIES TO IMPROVE DRILLING PITS RECLAMATION

At present, the problem of oil pollution of soils in our country is little solved, and work on cleaning oil pollution with the help of microorganisms is not coordinated, their scientific and technological level is low. Thus, the problem of contamination of soils with oil and petroleum products is more acute than ever.

There are mechanical, thermal and physico-chemical methods of cleaning soils from oil pollution, they are effective only at a certain level of pollution. Typically, at least 1% of the oil in the soil is often associated with additional contamination and provides complete purification. Contamination of soils with oil and petroleum products is one of the most difficult problems of ecology and environmental protection. Nowadays, technologies for bioremediation of oil-contaminated areas are being successfully developed, but their level does not help to cope with the problem locally, quickly and economically.

The article is devoted to the development of an effective method of reclamation of areas involved in oil and gas production. In particular, those areas that are allocated for the placement of pits and are one of the most polluted at the end of mining. The solution to the problem is achieved through the use of a modified pit design, as well as the use of sorbent from the wastewater treatment plants. Reduction of soil contamination on the site allows further use of the oil sludge pit, including agricultural activities. The developed method can be used in any drilling operations, as well as in activities involving the reclamation of areas exposed to pollution due to oil spills, as well as those soils that have degraded due to the migration of pollutants associated with the process of drilling.

Key words: soil, reclamation, sorbent, petroleum products, pit, construction

References

1 Kachala, Taras Bohdanovych. Udoskonalennia system ekolohichnoho monitorynhu hruntovoho pokryvu vysnazhenykh naftohazovykh rodovyshch Prykarpattia (na prykladi Bytkiv - Babchenskoho nafto hazokondensatnoho rodovyshcha) : dysertatsiia. 2018.

2 Handbook management of the contaminated sites with oil products depollution and fertilization technologies Romania-Ukraine cross border area area editura risoprint cluj-napoca 2015–100 с.

3 Kachala T. B. Bezpechnyi rozvytok pryrodnykh i antropohenno-modyfikovanykh heosystem / Kachala T.B. // Ekolohichna bezpeka ta zbalansovane resursokorystuvannia : naukovy-tekhnichnyi zhurnal. – Ivano-Frankivsk : Holinei. – 2014. – №2. – S. 162–163

4 Kachala T. B. Sposib stvorennia ekolohichnoi modyfikatsii nafto shlamovoho ambaru / T. B. Kachala // Ekolohichna bezpeka ta zbalansovane resursokorystuvannia : naukovy-tekhnichnyi zhurnal. – Ivano-Frankivsk : Holinei, 2016. – №1. – S. 52–57.

5 Kamenshchikov F. A. Neftianyie sorbenty / F. A. Kamenshchikov, Ye. I. Bogomolnyi. – Moskva–Izhevsk : NITS «Regulyarnaya i khaoticheskaya dinamika», 2005. – 268 s.

6 Preparat «Ekolan» dlia ochyshchennia seredovyshch vid nafty ta naftoproduktiv : TU U 24.6-30572733-005-2004. – [Chynnyi vid 2004-07-21]. – K., 2004. – 18 s.

7 Deklaratsiinyi patent na korysnu model UA74018 U. Zaiavka u201204835 vid 17.04.2012, Opublikovano 10.10.2012, biul. №19, 2012r.

8 Deklaratsiinyi patent na vynakhid UA 48471U. Zaiavka 2001085956 vid 27.08.2001., Opublikovano 15.08.2002, biul. №8 2002r.

9 Deklaratsiinyi patent na vynakhid UA 79436 U. Zaiavka 2004032026 vid 18.03.2004, Opublikovano 25.06.2007, biul. №10 2005r.

10 Deklaratsiinyi patent na korysnu model. Zaiavka u201503770, zatverdzhenyi Derzhavnoiu sluzhboiu intelektualnoi vlasnosti Ukrainy, nabuv statusu rishennia pro vydachu deklaratsiinoho patentu na korysnu model vid 12.11.2015

*Г. В. Кошлак, А. М. Павленко
Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу*

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ЗОЛИ ТЕС ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

В статті проаналізовано проблеми забруднення навколишнього середовища та перспективні напрямки утилізації відходів виробництва вугільних ТЕС. Визначено можливі шляхи управління твердими відходами вугільних ТЕС з метою збереження нашого навколишнього середовища. Розглянуто потенційні можливості використання золи в сільському господарстві, при проектуванні дорожнього полотна, у виробництві цегли, як складовий компонент у портландцементі. Присутність в складі золи цінних компонентів створює безсумнівні передумови для її рециклінгу. Авторами проведено дослідження хімічного складу, фізико-механічних і якісних показників золи – відходів виробництва Бурштинської ТЕС для вивчення можливості використання її в якості сировини у виробництві будівельних матеріалів. Визначено, що за хімічним складом зола-виносу Бурштинської теплової електричної станції (БуТЕС) більш ніж на 70% складається із оксидів силіцію та алюмінія. Проведена оцінка якісних характеристик золи розрахунковим шляхом з визначенням модуля основності, силікатного модуля та коефіцієнта якості. Визначено, що зола БуТЕС відноситься до кислої приховано активної. Запропоновано використовувати золу в якості активних мінеральних добавок в сировинних сумішах для отримання золобетону. З цією метою виконано дослідження реологічних характеристик розчинної суміші золоцементних пористих бетонних композицій, досліджено вплив складу золи на процеси гідратації цементних компонентів, встановлено кількісні характеристики цього впливу. Визначено міцність газобетонного масиву в залежності від виду сировинної суміші. Отримані результати дозволили розробити технології заміщення золою цементу у складі газобетону, оптимізувати його сировинний склад; визначити кінетичні характеристики процесів твердіння шляхом введення хімічних добавок NaCl та Na₂SO₄ для прискорення процесів гідратації.

Ключові слова: зола ТЕС, відходи, рециклінг, якісні характеристики золи, газобетонні суміші

Постановка проблеми. Вугілля – друге за величиною паливо в світовому енергетичному балансі, і на його частку припадає 27% світового споживання енергії. Як відомо, ТЕС, що працюють на вугіллі, формують третину забруднюючих речовин в поверхневому шарі атмосферного повітря. Викиди містять забруднювачі SO_x; NO_x; CO та летючу золу, які становлять загрозу для здоров'я людей, що проживають поблизу джерела забруднень. Зола, яка утворюється в якості побічного продукту згоряння вугілля, є одним з найпоширеніших промислових твердих відходів. Зола містить важкі метали, поліциклічні ароматичні вуглеводні, кремнезем та інші токсичні речовини [1]. Обсяги відходів золи вугільних ТПС щорічно збільшуються, а вирішення проблеми їх утилізації є актуальною у всьому світі.

В Україні працює 14 великих конденсаційних ТЕС сумарною встановленою потужністю 27,6 ГВт. З них вугільних енергоблоків – 21,8 ГВт або близько 41% потужностей об'єднаної енергосистеми України. Більшість енергоблоків ТЕС спроектовані для спалювання кам'яного вугілля вітчизняного видобутку з підсвічуванням мазутом або природним газом. У зв'язку з тим, що в Україні недостатньо власних промислових ресурсів газу, енергетична галузь надалі змушена орієнтуватися тільки на використання низькоякісного вітчизняного вугілля із підвищеною зольністю. Однією з причин підвищених показників забрудненості довкілля є використання низькоякісного вітчизняного вугілля на українських ТЕС з високими показниками зольності. ТЕС, що працюють на органічному паливі, найбільшою мірою «відповідальні» за парниковий ефект і кислотні опади, оскільки технологія виробництва електроенергії пов'язана з перетворенням практично всіх матеріальних ресурсів і переважної частини енергії палива у відходи, що викидаються у навколишнє середовище. До основних факторів техногенного впливу об'єктів теплоенергетики на рівень забруднення атмосфери можна віднести вид палива, на якому працює ТЕС, технології очищення викидів, висоту димових труб, кліматичні умови атмосферної дисперсії,

характер рельєфу місцевості. В результаті спалювання вугілля в атмосферу викидається основна частка техногенного вуглецю у вигляді CO_2 , близько 50% SO_2 , 35% NO_x та пилю. Забруднення ґрунту навколо вугільних ТЕС відбувається шляхом рознесення пиловидної золи вітром, а також при інфільтрації її компонентів через ґрунт у ґрунтові води. Не менш вагомим фактором впливу вугільних ТЕС на навколишнє середовище є викиди систем складування палива, його транспортування, пилоприготування та золовидалення. При транспортуванні й складуванні відходів відбувається пилове забруднення (рис.1).



Рис. 1. Джерела забруднення довкілля [1]

Для складування золошлакових відходів необхідно залучати великі території, які потребують значних експлуатаційних витрат. Зола завдяки своїм фізико-хімічним характеристикам є причиною утворення підвищеної запиленості повітря (рис. 1). Низька частка утилізації золошлакових відходів в нашій країні, обумовлена багатьма факторами, через що золошлаковідвали зараз є постійно діючими об'єктами забруднення навколишнього середовища. Таким чином, поводження з золою є причиною занепокоєння на майбутнє.

Питання забруднення навколишнього середовища, раціонального використання природних ресурсів, пошук інноваційних рішень удосконалення існуючих систем виробництва, переробки та утилізації відходів виробництва є актуальними проблемами сучасного світу. Одночасно присутність в складі золи цінних компонентів створює безсумнівні передумови для їх комплексної переробки, і в цьому випадку сховища повинні бути віднесені до категорії техногенних сировинних запасів відкладеного попиту. ЗолаТЕС, яка до недавнього минулого трактувалась як відходи та джерело забруднення повітря та води, насправді є ресурсним матеріалом і також підтвердила свою цінність протягом певного періоду [2].

Мета статті. Метою дослідження є визначення хімічного складу, фізико-механічних і якісних показників золи – відходів виробництва Бурштинської ТЕС для вивчення можливості використання її в якості сировини для виробництва будівельних матеріалів. Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- визначити основні характеристики золи: хімічний та фазово-мінералогічний склад, фізико-механічні властивості;
- запропонувати спосіб отримання бетону, який містить в своєму складі золошлакові відходи.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. За обсягами забруднювальних речовин теплова електроенергетика перевершує будь-яку іншу галузь промисловості, тому що ТЕС є безперервно діючими джерелами викидів в атмосферу продуктів згоряння палива та скидів стічних вод, які є причиною хімічного та термічного забруднення водоймищ. ТЕС та ТЕЦ відповідальні за 80% загального обсягу викидів в Україні оксидів сірки SO_x та 25% оксидів азоту NO_x . Тому вирішення проблеми утилізації відходів стратегічних завдань держави. До числа найбільш вагомих досліджень з проблем утилізації відходів ТЕС варто віднести наукові розробки таких провідних фахівців як М. П. Елінзона, В. Франуса, Д.Ц. Адриано, С. Гораи, Л. Барбері, В.П. Надутого, Т. Ли, Л.М. Коваліва, М. Н. Орфанової, Л.І. Дворкіна та інших.

Протягом останніх років в світі було проведено значну кількість досліджень з використання золи в різних галузях господарства [3]. В золі містяться хімічні сполуки, які цілком

можуть слугувати заміником або джерелом сировини в будівельній галузі, в технологіях проектування доріг, у виробництві кераміки, в медицині, агротехніці та інш. Заходи з утилізації золи вугільних ТЕС можна розглядати з двох сторін. Перший підхід полягає у розробці і впровадженні заходів з метою пом'якшення наслідків для навколишнього середовища. Другий – вирішення проблем накопичення відходів шляхом їх утилізації. Ось деякі з потенційних сфер використання золи:

Дорожнє будівництво. Чисельні експериментальні дослідження показали, що летюча зола може використовуватись як складовий компонент асфальтової суміші. Одним із прикладів використання золи ТЕС при проектуванні доріг є Англія та Америка, де активно використовується зола в дорожньому будівництві як стабілізатор або як наповнювача основи верхнього шару дорожніх покриттів [4,5]. На експериментальній ділянці траси А 52 було спроектовано дорожнє полотно при використанні технології рециклінгу наповнювачів та асфальту. В якості складових компонентів дорожнього покриття застосовувався цемент, пилоподібна зола ТЕС, шлак доменної печі та вапно. Результати моніторингу експериментальної ділянки траси А 52 продовж року свідчили про задовільну ефективність експлуатаційних характеристик покриття.

Асфальтобетон. Дослідження можливості застосування золи ТЕС в асфальтових сумішах почалися приблизно в середині минулого століття. Зола ТЕС використовується для приготування бітумного розчину замість певної кількості бітуму [6] з метою поліпшення його властивостей, стійкості до деформації, жорсткості, в'язкості при високих температурах і температурної чутливості.

Фітомеліорація ґрунту. Хімічний склад золи, отриманої в технологіях спалювання, різниться в залежності від складу вихідного палива. Зола може володіти кислими або лужними властивостями, що може бути корисно для буферизації рН ґрунту [7]. Недавні дослідження показують, що зола ТЕС успішно використовується для покращення деградованих ґрунтів в поєднанні з органічними добавками, такими як коров'ячий гній, стоки стічних вод. Висока концентрація в золі таких елементів, як К, Na, Zn, Ca, Mg і Fe, збільшує врожайність сільськогосподарських культур. Однак внесення золи сухого відбору, може мати тенденцію до накопичення таких елементів, як В, Мо, Se і Al, які при високих концентраціях знижують врожайність сільськогосподарських культур і, як наслідок, впливають на здоров'я тварин і людини [8,9]. Застосування летючої золи може також знизити поглинання важких металів, включаючи Cd, Cu, Cr, Fe, Mn і Zn в рослинних тканинах, що може бути пов'язано з підвищеним показником рН золи. Відомі також дослідження по використанню золи в технології компостування осаду стічних вод. В даній технології пропонується золу ТЕС, яка містить високий вміст СаО використовувати для підвищення рН компосту в якості замітника вапна. Підвищена кислотність субстрату для компостування осаду стічних вод призводить до знищення хвороботворних мікроорганізмів і зменшення доступності важких металів, збагачених мулом.

У сільському господарстві летюча зола використовується в основному для меліорації земель. Оскільки зола відрізняється сорбційними властивостями, вона є привабливим компонентом для рекультивації засоленних ґрунтів. Основними факторами, які обмежують використання золи вугільних ТЕС в сільськогосподарських районах, є важкі метали і радіоактивність.

Виробництво цегли. Цегла є одним із затребуваних будівельних матеріалів у світі. В технології виробництва цегли використовується велика кількість глини. Видобуток глини з ґрунту чинить негативний вплив на довкілля. При видобутку відкритим способом видаляються шари ґрунту разом з існуючою флорою. Наслідками таких дій є порушення екосистеми ґрунтів та зміни існуючої топографії територій. Видалення ґрунтового горизонту може призводити до перекирвання руху підземних вод, через що створюються умови для збільшення поверхневого руху вод, і, як наслідки, утворюються яри, змінюється рельєф, показники кислотності ґрунтів [10]. Крім того, випал глини здійснюється в енергоємних печах при високих температурах. Одним з найефективніших способів утилізації золи, який досить активно впроваджено у Європі та деяких країнах Азії, є виробництво цегли. Дослідження показали, що якісні характеристики летючої золи, виробленої на ТЕС, володіють високою пуццолановою активністю, низький вмістом незгорілого вуглецю. Тому зола може виступати дешевим заміником глини у складі сировинної суміші для виробництва цегли. Один з найефективніших способів утилізації золи, який досить активно впроваджено у Європі та деяких країнах Азії, пов'язаний з виробництвом цегли. Дослідження показали, що якісні характеристики летючої золи, виробленої на ТЕС, володіють високою пуццолановою активністю, низький вмістом незгорілого вуглецю. У порівнянні з

традиційними технологіями виробництва глиняної цегли, виробництво цегли з летючої золи викликає менші забруднення ртуттю, є енергоефективним і коштує приблизно на 20% менше, ніж звичайний глиняна цегла. Крім того, на сьогоднішній день проводяться дослідження по використанню суміші золи з гіпсом для виробництва цегли. При додаванні гіпсу до летючої золи і суміші вапна, алюмінати кальцію перетворюються в алюмосульфати кальцію, які підвищують міцнісні характеристики цегли. При чому твердіння виробів відбувається при температурі навколишнього середовища [11].

Портландцемент. Відходи вугільних ТЕС використовуються в технологіях виробництва бетону. Зола та шлак володіють в'язучими властивостями, що визначають можливість їх застосування при виробництві бетону. При взаємодії часточок летючої золи з водою та вільним вапном, присутнім у цементній матриці, утворюються додаткові цементуючі матеріали (пуццоланова активність летючої золи. Летюча зола використовується в бетоні насамперед через її пуццоланові та цементуючі властивості. Ці властивості сприяють збільшенню міцності і можуть покращити експлуатаційні якості свіжого та затверділого бетону. Додавання золи до бетону знижує вартість продукту, покращує його якісні характеристики, сприяє збільшенню довговічності та міцності затверділого бетону.

Методи досліджень. В дослідженнях в якості компонента сировинної суміші використовувалася зола БуТЕС з електрофільтрів та золовідвалів, яку отримували при спалюванні проектної марки вугілля «Г» Львівсько-Волинського басейну калорійністю 4950 ккал/кг, зольністю 26,7% і вологістю 11%; та інших вітчизняних марок «Г», «ГЖСШ», «Д», «ДГСШ», «Ж» з середньою нижчою теплотою згорання 4900 ккал/кг з середньою зольністю вугілля на робочу масу 25% та вологістю 10,0%. Гранулометричний склад золи-виносу, її питома поверхня визначалися відповідно до нормативних і методичних вимог ДСТУ Б В. 2.7-205:2009, ДСТУ Б В. 2.7-188:2009, ДСТУ Б В. 2.7-232-2010. Хімічний аналіз золи проводився з метою оцінки вмісту основних компонентів: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , SO_3 , Na_2O і K_2O . Втрати при прожарюванні (ВПП), FeO , TiO_2 , P_2O_5 , MnO , Cr_2O_3 визначалися відповідно до ДСТУ Б В. 2.7-72-98. Дослідження фізико-механічних і якісних показників золобетонів виконували за стандартними методиками: ГОСТ 10181.2-81; ГОСТ 10180-90, ДСТУ Б В.2.7-185: 2009, ДСТУ Б В.2.7-264: 2011, ГОСТ 26798.1-96.

Виклад основного матеріалу. Бурштинська теплова електростанція збудована розташована біля міста Бурштин (Івано-Франківська область), її проектна потужність складає 2400 МВт. З 1 липня 2002 року БуТЕС працює автономно від об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України, паралельно і під контролем УСТЕ (союз централізованого транспорту і розподілу електроенергії) Європи. ТЕС забезпечує енергопостачання трьох областей – Закарпатської і Івано-Франківської та Львівської частково, а також експорт електроенергії до Угорщини, Румунії та Словаччини.

Показники забруднення атмосферного повітря в Галицькому районі в цілому залежать від викидів Бурштинської ТЕС і становили останнім часом 75-80% загальних забруднень. Скорочення обсягів розміщення великотоннажних відходів, що утворюються внаслідок виробничої діяльності підприємства БуТЕС є одним з важливих завдань у вирішенні проблем охорони довкілля у Галицькому районі. На Бурштинській ТЕС в результаті спалювання вугілля утворюються тверді відходи (зола і шлак) в середній кількості 100,7 тис. т. в рік. Золошлаки складаються на відвали загальною площею 204,6 га. Вільний об'єм золосховища з урахуванням нарощування дамб восьмого ярусу складає близько 3,5 млн т. Тому сьогодні набувають першочергового значення дослідження пов'язані з пошуком вирішення проблеми перевантаженості золовідвалів та накопичення золошлакових відходів на даному підприємстві. З цією метою проведені комплексні дослідження відходів, які дозволили представити їх хімічного складу, фізико-механічних і якісних показників.

Аналіз гранулометричного складу золи. Гранулометричний склад золи визначався шляхом розсіву на стандартному наборі сит для інертних матеріалів, потім на контрольному ситі для цементів (№008) і додатковому (№004).

Результати досліджень приведені у табл. 1.

За результатами досліджень можна зробити висновок: більше 90% часточок золи-виносу Бурштинської ТЕС має загальну питому поверхню $4390 \text{ см}^2/\text{г}$ (не розсіяної на фракції) і відповідно до [36] її відносять до дрібнодисперсної (більше $4000 \text{ см}^2/\text{г}$). Питома поверхня пилоподібної фракції, що пройшла скрізь сито $0,04 \text{ мм}$ склала $4840 \text{ см}^2/\text{г}$.

Хімічний склад компонентів золи-виносу та золи з золовідвалу №3 Бурштинської ТЕС представлений у табл. 2, 3.

Отже, за хімічним складом зола –виносу БуТЕС більш ніж на 70% складається із оксидів силіцію та алюмінія і згідно класифікації її відносять до кислої приховано активної. Основними складовими золи ТЕС є SiO_2 та Al_2O_3 , які знаходяться в склоподібній фазі, значна частка SiO_2 – у формі кварцу, а Al_2O_3 – муліту ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}$).

Таблиця 1

Зерновий склад і питома поверхня золи-виносу

Загальна поверхня, $\text{см}^2/\text{г}$	Залишки на ситі	Зерновий склад									Питома поверхня золи, що пройшла крізь сито 0,04, $\text{см}^2/\text{г}$
		Розмір фракцій, мм									
		>5,0	2,5-5,0	1,25-2,5	0,63-1,25	0,315-0,63	0,16-0,315	0,08-0,16	0,04-0,08	<0,04	
4390	Частковий,%	-	0,13	0,05	0,04	0,29	2,32	2,9	3,84	90,43	4840
	Повний,%	-	0,13	0,15	0,24	0,48	2,80	5,82	9,5	100,00	

Таблиця 2

Середній вміст складових компонентів золи-виносу Бурштинської ТЕС

Речовина	Формула	Вміст,%
Силіцій(IV) оксид	SiO_2	52,17
Алюміній(III) оксид	Al_2O_3	16,9
Феррум(III) оксид	Fe_2O_3	7,16
Магній(II) оксид	MgO	2,15
Кальцій(II) оксид	CaO	16,0
Манган(II) оксид	MnO	0,1
Титан (IV) оксид	TiO_2	0,8
Сульфур(VI) оксид	SO_3	1,0
Фосфор(V) оксид	P_2O_5	0,02
Калій оксид	K_2O	2,0
Натрій оксид	Na_2O	0,7
Карбон вільний	$\text{C}_в$	5,6
Вода	H_2O	0,2
Втрати при прожарюванні (при $t = 950^\circ\text{C}$)	-	5,19

Таблиця 3

Середній вміст складових компонентів золи з золовідвалу №3 Бурштинської ТЕС

Речовина	Формула	Вміст,%
Силіцій(IV) оксид	SiO_2	52,08
Алюміній(III) оксид	Al_2O_3	26,58
Ферум(III) оксид	Fe_2O_3	13,0
Магній(II) оксид	MgO	2,4
Кальцій(II) оксид	CaO	4,13
Манган(II,III) оксид	Mn_3O_4	0,3
Титан (IV) оксид	TiO_2	0,84
Хром(III) оксид	Cr_2O_3	0,003
Сульфур(VI) оксид	SO_3	0,38
Фосфор(V) оксид	P_2O_5	0,23
Калій оксид	K_2O	1,5
Натрій оксид	Na_2O	0,5
Вода зв'язана	H_2O	0,2
Карбон(IV) оксид	CO_2	0,33
Втрати при прожарюванні (при $t = 950^\circ\text{C}$)	-	3,77

За даними хімічного складу золи (див. табл. 2, 3) здійснювалася оцінка якості розрахунковим шляхом з визначенням модуля основності, силікатного модуля та коефіцієнта

якості (табл. 4). Для золи-виносу БуТЕС модуль основності $M_o = 0,3$; силікатний модуль $M_c = 2,16$; коефіцієнт якості $K_y = 0,66$. Для золи з золовідвалу – модуль основності $M_o = 0,1$, силікатний модуль $M_c = 1,32$; коефіцієнт якості $K_y = 0,63$.

Золу по показнику основності відносять до понад кислих ($M_o < 0,6$). Силікатна активність проявляється через наявність у складі золи силікатних мінералів, які підвищують температуру розплаву та впливають на реологічні властивості системи.

Компоненти плавня $Al_2O_3 + \Sigma Fe_2O_3$ сприяють утворенню розплаву при нижчих температурах. Гідравлічна активність оцінюється коефіцієнтом якості. У чисельнику формули розташовані оксиди, що підвищують гідравлічну активність, в знаменнику – що знижують її. Отже, чим вище коефіцієнт якості, тим вище гідравлічна активність. Для даної проби коефіцієнт якості $K_{як} < 1$, зола має низьку гідравлічну активність. Вміст вільного кальцію оксиду в пробі досягає 1,28%. Тому її відносять до приховано-активних.

Таблиця 4

Показники якості золи

Показник	Розрахункова формула
Модуль основності, M_o	$M_o = \frac{CaO + MgO + K_2O + Na_2O}{SiO_2 + Al_2O_3}$
Модуль силікатний, M_c	$M_c = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + \Sigma Fe_2O_3}$
Коефіцієнт якості, $K_{я}$	$K_{я} = \frac{CaO + MgO + Al_2O_3}{SiO_2 + TiO_2}$

Також до складу золи входять Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , TiO_2 та ін. В зв'язку з тим, що кислоти золи можуть застосовуватися в якості активних мінеральних добавок, то їх цілком доцільно використовувати в якості основного компоненту в сировинних сумішах перед у виробництві пористих матеріалів.

Результати та обговорення. Використання золи БуТЕС для виготовлення будівельних матеріалів. Для дослідження впливу водотвердого співвідношення компонентів на процес спучування газобетону були виготовлені газобетонні суміші з водотвердим співвідношенням (ВТС) в діапазоні від 0,2 до 0,6. Оскільки спучування і набір структурної міцності газобетонним масивом істотно залежать від водотвердого співвідношення (ВТС), то на першому етапі здійснювали пошук потрібної кількості води яка забезпечить необхідні реологічні властивості розчинної суміші золоцементних пористих бетонних композицій.

При введенні добавок $NaCl$ і Na_2SO_4 в суміш можна впливати на її реологічні властивості, процеси структуроутворення і міцність матеріалу. Інтенсифікація процесів гідратації і структуроутворення в золо-цементних композиціях з добавками до складу яких входить іон Na^+ виражається в прискореному формуванні структури з порівняно ранніми термінами схоплювання масиву. В цьому випадку газобетонні суміші виготовляли на основі цементу і піску, або на основі цементу і золи Бурштинської ТЕС із введенням хімічних добавок. Спосіб приготування суміші здійснювався за схемою: проби золи і піску змішували з водою, при температурі 20 – 30 °С, додавали цемент і перемішували протягом 2 хвилин. Далі в кожену пробу вводили однакову кількість алюмінієвої суспензії із розрахунку отримання середньої щільності газобетону 700 кг/м³, перемішували ще протягом 1 хвилини і заливали в мірну ємність, де відбувалося спучування цієї суміші при температурі навколишнього середовища 20 °С.

Після повного спучування суміші контролювали її висоту у відсотках від висоти заливки. Потім виявляли оптимальну кількість води і хімічної добавки за максимальною висотою спучування. Для приготування алюмінієвої суспензії використовували алюмінієву пудру марки АСД-1 (ефективний розмір часточок 91,5 мкм). Приготування суспензії здійснювали шляхом додавання алюмінієвої пудри при постійному перемішуванні протягом 1 хвилини у водний розчин з поверхнево активною речовиною ПАВ. Отримані результати представлені у табл. 5.

Дослідження показали, що у визначеному діапазоні зі збільшенням ВТС висота спученого цементно-піщаного газобетону зростає. Для золо-цементного газобетону є оптимум ВТС, що становить 0,5. Із введенням хімічних добавок $NaCl$ і Na_2SO_4 кількість води не змінюється за винятком рецептур сумішей, в яких зазначені добавки використовуються в малих кількостях (0,5%). Зменшення ВТС у цьому випадку можливо відбувається внаслідок «розрідження» суміші через ефект пептизації тонкодисперсних частинок, що дозволяє отримати газобетон з рівномірною

пористістю із меншою кількістю води. Але також, як і в попередніх дослідях, добавки практично не впливають на процес спучування, оскільки склад золи (табл. 2, 3) дозволяє отримувати реологічні властивості суміші необхідні для технологічних режимів. Як випливає з табл. 5, результати зазначеного процесу кількісно не змінюються. Використання Бурштинської золи замість піску дозволяє збільшити висоту спучування на 70%, а з введенням хімічних добавок – додатково ще від 3 до 7% (інтенсифікація процесів газовиділення в результаті поступового утворення NaOH в обмінних реакціях, який активізує процеси газовиділення і є додатковим газоутворювачем).

Таблиця 5

Вплив ВТС на відсоток спучення бетону (%)

Суміш	ВТС				
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
Цемент+пісок	120	195	220	225	225
Цемент+зола	200	280	350	370	360
Цемент+зола+Na ₂ SO ₄ , 1%	200	290	350	376	370
Цемент+зола+Na ₂ SO ₄ , 2%	205	290	355	380	380
Цемент+зола+NaCl, 1%	210	295	370	385	380
Цемент+зола+NaCl, 2%	205	295	370	390	370

Введення хімічних добавок дозволяє скоротити терміни твердіння бетонної маси, оскільки вони забезпечують швидке зв'язування води і накопичення твердої фази з максимальною щільністю заповнення простору каркаса. На нашу думку, це відбувається внаслідок додаткового інтенсивного синтезу AFt і AFm фаз, які зв'язують велику кількість H₂O, мають високу швидкість росту й забезпечують інтенсивний набір структурної міцності.

При значеннях показника ВТС>0,5 спостерігається розшарування вихідної суміші з утворенням великих каверн діаметром до 2 см. Це відбувається як правило завдяки асинхронним процесам спучування і схоплювання газомаси. Крім того, при збільшеному ВТС подовжуються терміни спучування і схоплення газомаси, через зменшення граничної напруги зсуву і відповідно пластичної міцності пористого бетону. При введенні додаткової кількості води міцність бетону знижується, спостерігається збільшення власних деформацій і кінцевої вологості матеріалу.

Основні властивості газобетонної суміші прямо залежать від реології зола-цементного і цементно-піщаного газобетону. Під впливом фізико-хімічних процесів, що проходять при взаємодії цементу, золи БуТЕС і води, реологічні властивості таких сумішей змінюються (змінюється в'язкість і максимальне напруження зсуву, зростає пластична міцність системи). Ступінь зміни реологічних характеристик залежить від виду сировинної суміші газобетону, водотвердого співвідношення і добавок. Від швидкості структуроутворення газобетонних сумішей залежить час перебування масиву в формі. Тому дослідження реологічних характеристик таких систем є актуальним завданням. Для визначення міцності газобетону було обрано склад сумішей з найбільшим відсотком спучування (табл. 5). Отримані результати представлені на рис. 2.

Уповільненим структуроутворенням володіє класичний цементно-піщаний газобетон рис. 2 (графік 1). Про це свідчать такі характеристики як уповільнений набір конструкційної міцності, порівняно з іншими зразками, і підвищена усадка. Для даного зразка зростання міцності становить до кінця схоплювання цементу (4 години) 0,8 Па, а через 10 годин – всього 1,8 Па, в той час як для подальших технологічних процесів масив газобетону має бути 2,50 – 3,0 Па.

Для зола-цементного газобетону рис. 2 (графік 2) характерними є уповільнені темпи набору міцності, хоча через 10 годин можна здійснювати різні операції, які передбачає технологія виготовлення газобетонних конструкцій. При цьому слід зауважити, що через 1 добу міцність зола-цементного газобетону стає вище в середньому на 50–70%. Необхідно зазначити, що після перемішування всіх компонентів температура суміші становила близько 30 °С, а після закінчення спучування температура підвищилася до 60 °С. Надалі в суміші температура зростала до 70 – 80 °С і спостерігалось прискорення набору ранньої міцності. Застосування золи Бурштинської теплової станції і хімічних добавок дозволяє регулювати властивості газобетону як на стадії дозрівання масиву, так і кінцевого матеріалу.

Висновки. Технології енергогенерації з використанням вугілля найбільш впливають на навколишнє середовище. Викиди ТЕС є одним з основних джерел забруднення повітря, води і ґрунту, а золошлакові відходи потребують величезних площ земельних ділянок для складування.

Для збереження нашого довкілля необхідні додаткові дослідження для розробки заходів для зменшення техногенного впливу територій прилеглих до ТЕС. Хімічний склад, морфологія, а також властивості відходів ТЕС, залежать від якості вугілля, технології спалювання та гранулометричного складу золи.

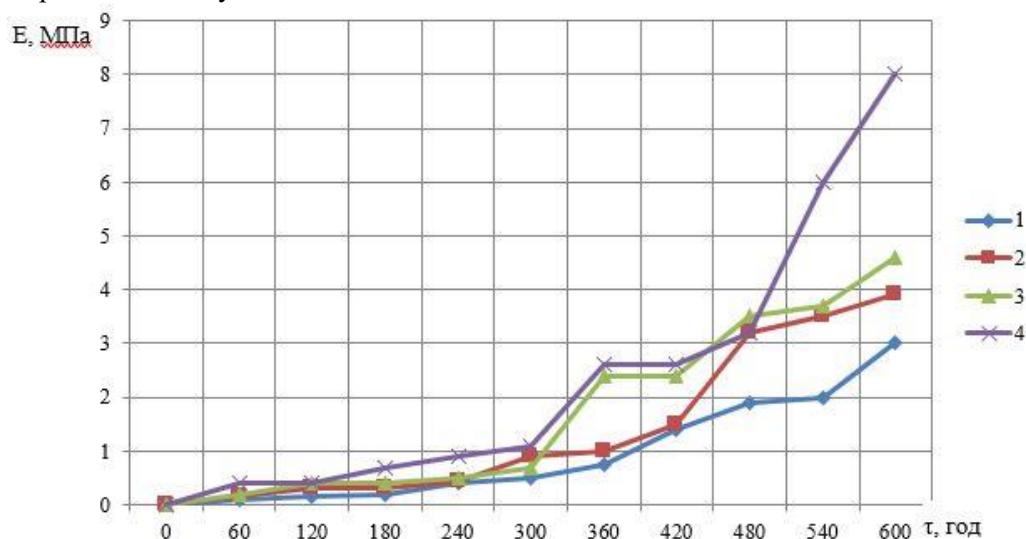


Рис. 2. Міцність газобетонного масиву в залежності від виду сировинної суміші: 1 – цементно-піщаний газобетон; 2 – цементно-зольний газобетон; 3 – цементно-зольний газобетон с добавкою Na₂SO₄ (1%); 4 – цементно-зольний газобетон з добавкою NaCl (1%)

Приклади успішного використання золи в різних галузях народного господарства свідчать про те, що існує нагальна необхідність в дослідженнях можливості використання цих відходів в технологіях рециклінгу, пов'язаних з повторним використанням золи для використання на 100%. Виконано дослідження впливу складу золи на процеси гідратації цементних компонентів, встановлено кількісні характеристики цього впливу. На основі отриманих даних розроблено пропозиції щодо часткового заміщення золою цементу у складі газобетону. Оптимізовано сировинний склад газобетону на основі золи, досліджено кінетичні характеристики процесів твердіння. Встановлено, що додавання в газобетонну суміш хімічних сполук NaCl та Na₂SO₄ прискорює процеси гідратації кальцію та твердіння.

Література

- 1 Кошляк Г.В. Зменшення техногенного впливу вугільних ТЕС на довкілля (на прикладі Бурштинської ТЕС) / Г.В. Кошляк, А.М. Павленко // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. –2017. – №2. – С. 108-118.
- 2 Nihalani S.A., Mishra Y.D., Meeruty A.R. (2020) Handling and Utilisation of Fly Ash from Thermal Power Plants. In: Ghosh S., Kumar V. (eds) Circular Economy and Fly Ash Management. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0014-5_1
- 3 Gorai S. Utilization of Fly ash for sustainable environment management / S Gorai. // Journal of materials and environmental sciences. –2018. – №9. – pp. 385-393.
- 4 López-Cuevas J., Interrial-Orejón E., Gutiérrez-Chavarría C. A. Synthesis and characterization of cordierite, mullite and cordierite-mullite ceramic materials using coal fly ash as raw material // Materials research society. 2018. V. 2. No. 62. P. 3865 – 3872.
- 5 Hassan K E, Chaddock B, Chandler J W E, Roberts C, Coley C, Badr A and Reid J M, August 2007, TRL Unpublished Project Report UPR/IE/119/07, Specification Trials and Testing of HBMs, for Waste & Resources Action Programme (WRAP), Aggregate Research Programme.
- 6 Sobolev K., Vivian I. F., Saha R. The effect of fly ash on the rheological properties of bituminous materials // Fuel. 2014. V. 116. P. 471 – 477.
- 7 Basu M. Review Potential fly-ash utilization in agriculture: A global review / M. Basu, M. Pandea, P.B.S. Bhadoriab, S.C. Mahapatra // Progress in Natural Science. –2009 –№19. – pp. 1173–1186.
- 8 S.K. Sharma, N. Kalra Effect of flyash incorporation on soil properties and productivity of crops: a review J Sci Ind Res, 65 (5) (2006), pp. 383-390.

- 9 Thetwar L. K. Studies on the effects of fly ash and plant hormones on soil metabolic activities / L. K. Thetwar, N. C. Desmukh, A. K. Jangde // *Asian J Chem.* – 2007. – №19(5). – pp.3515–3518.
- 10 Jusi A.F. Environmental impact of ball clay mining in Del Gallego / A.F. Jusi // *Camarines Sur: University of Nueva Caceres, Naga City.* – 2002. –pp. 39-63.
- 11 Ashish Kumar D. Strength and durability characteristics of bricks made using coal bottom and coal fly ash / Ashish Kumar D. Verma I K, Singh J., Sharma N. // *Advances in Concrete Construction.* – 2018. –Vol. 6–No. 4. pp. 407-422.

G. Koshlak, A. Pavlenko

*Ivano-Frankivsk National Technical
University of Oil and Gas*

PROSPECTS FOR USING ASH FROM THERMAL POWER PLANTS FOR MANUFACTURING BUILDING MATERIALS

The article analyzes the problems of environmental pollution and promising directions for the disposal of waste from the production of coal-fired thermal power plants. Possible ways of managing solid waste from coal-fired power plants have been identified in order to preserve the environment. Potential possibilities of using ash in agriculture, in designing the roadways, in manufacturing bricks, as an integral component in Portland cement are considered. The presence of valuable components in the ash creates undoubted prerequisites for its recycling. The authors studied the chemical composition, physical, mechanical and quality indicators of ash – waste products of the Burshtynska thermal power plant (TPP) to study the possibility of using it as a raw material in the production of building materials. It has been determined that according to the chemical composition, the fly ash from the Burshtynska TPP consists of more than 70% of silicium and aluminum oxides. The quality characteristics of ash were assessed by means of calculation with determining the basicity modulus, silicate modulus and quality factor. It was determined that ash from the Burshtynska TPP belonged to acidic, latently active ash. It is proposed to use ash as active mineral additives in raw mixes to obtain ash concrete. For this purpose, the rheological characteristics of a mortar mixture of ash-cement porous concrete compositions was studied, the influence of ash composition on the hydration processes of cement components was investigated, and the quantitative characteristics of this effect were established. The strength of aerated concrete massif was determined depending on the type of raw mixture. The results obtained made it possible to develop technologies for replacing cement with ash in the composition of aerated concrete, to optimize its raw material composition, and determine the kinetic characteristics of hardening processes by introducing chemical additives NaCl and Na₂SO₄ in order to accelerate hydration processes.

Key words: TPP ash, waste, recycling, quality characteristics of ash, aerated concrete mixtures

References

- 1 Koshlak H.V. Zmenshennia tekhnohennoho vplyvu vuhilnykh TES na dovkillia (na prykladi Burshtynskoi TES) / H.V. Koshlak, A.M. Pavlenko // *Ekolohichna bezpeka ta zbalansovane resursokorystuvannia.* –2017. – №2. – S. 108-118.
- 2 Nihalani S.A., Mishra Y.D., Meeruty A.R. (2020) Handling and Utilisation of Fly Ash from Thermal Power Plants. In: Ghosh S., Kumar V. (eds) *Circular Economy and Fly Ash Management.* Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0014-5_1
- 3 Gorai S. Utilization of Fly ash for sustainable environment management / S Gorai. // *Journal of materials and environmental sciences.* –2018. – №9. – pp. 385-393.
- 4 López-Cuevas J., Interrial-Orejón E., Gutiérrez-Chavarría C. A. Synthesis and characterization of cordierite, mullite and cordierite-mullite ceramic materials using coal fly ash as raw material // *Materials research society.* 2018. V. 2. No. 62. P. 3865 – 3872.
- 5 Hassan K E, Chaddock B, Chandler J W E, Roberts C, Coley C, Badr A and Reid J M, August 2007, TRL Unpublished Project Report UPR/IE/119/07, Specification Trials and Testing of HBMs, for Waste & Resources Action Programme (WRAP), Aggregate Research Programme.
- 6 Sobolev K., Vivian I. F., Saha R. The effect of fly ash on the rheological properties of bituminous materials // *Fuel.* 2014. V. 116. P. 471 – 477.

- 7 Basu M. Review Potential fly-ash utilization in agriculture: A global review / M. Basu, M. Pande, P.B.S. Bhadoriab, S.C. Mahapatra // Progress in Natural Science. –2009 –№19. – pp. 1173–1186.
- 8 S.K. Sharma, N. Kalra Effect of flyash incorporation on soil properties and productivity of crops: a review J Sci Ind Res, 65 (5) (2006), pp. 383-390.
- 9 Thetwar L. K. Studies on the effects of fly ash and plant hormones on soil metabolic activities / L. K. Thetwar, N. C. Desmukh, A. K. Jangde // Asian J Chem. – 2007. – №19(5). – pp.3515–3518.
- 10 Jusi A.F. Environmental impact of ball clay mining in Del Gallego / A.F. Jusi // Camarines Sur: University of Nueva Caceres, Naga City. – 2002. –pp. 39-63.
- 11 Ashish Kumar D. Strength and durability characteristics of bricks made using coal bottom and coal fly ash / Ashish Kumar D. Verma1a K, Singh1 J., Sharma N. // Advances in Concrete Construction. – 2018. –Vol. 6–No. 4. pp. 407-422.

Л. Ю. Главацька
Вінницький національний
технічний університет

АНАЛІЗ СИСТЕМИ ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТА ЕЛЕКТРОННОГО ОБЛАДНАННЯ В УКРАЇНІ

Проаналізовано сучасний стан системи поводження з відходами електричного та електронного обладнання в Україні. Здійснено оцінку кількості утворених ВЕЕО в Україні шляхом аналізу ринку електроніки та статистичних даних щодо утворення відходів у промисловому і комерційному секторах. Головним компонентом ВЕЕО в Україні є пластик (30%), а також мідь (20%) і залізо (8%). Щорічно в Україні утворюється близько 28 тис. тонн ВЕЕО (технологічне обладнання – 60%, акумулятори і батареї – 21%, побутові та офісні прилади – 13%, компоненти електричного обладнання – 4%, люмінесцентні лампи – 2%). Ці дані, ймовірно, є заниженими у зв'язку із відсутністю системи моніторингу за ВЕЕО у побутовому секторі. 128 підприємств України можуть збирати окремі типи ВЕЕО, які містять у своєму складі небезпечні сполуки (батареї, люмінесцентні лампи тощо) 3 з них 22 мають ліцензію на утилізацію цих відходів. Всі інші ВЕЕО не охоплені. 2 області не мають жодного підприємства, яке б могло долучитися до поводження з ВЕЕО. Існуючі підприємства не можуть переробляти належним чином той обсяг відходів, який уже накопичився та буде продовжувати зростати. Таким чином, Україні потрібне прийняття відповідного законодавства на загальнодержавному рівні, створення пунктів прийому ВЕЕО, сприяння та контроль за поводженням з ВЕЕО підприємствами, а також створення ефективної системи моніторингу потоків ВЕЕО. Необхідно інформувати населення про шкоду ВЕЕО для навколишнього середовища та в подальшому і на здоров'я людей. Провести компанію по популяризації роздільного збору сміття та необхідність відокремлення електротехнічних приладів від твердих побутових відходів.

Ключові слова: відходи електричного та електронного обладнання, електронні відходи, навколишнє середовище, поводження з відходами, утилізація електронних відходів, пункт прийому електронних та електричних відходів.

Постановка проблеми. Відходи електричного та електронного обладнання (ВЕЕО, електронні відходи) – відносно новий тип відходів, утворений через зростання ринку електронної та електричної техніки. Проблема утилізації та переробки ВЕЕО з кожним роком набуває критичного характеру і стає все більш актуальною для всіх країн світу. Незважаючи на те, що ці відходи містять як токсичні компоненти, так і цінні складові, вони все одно потрапляють на сміттєзвалища, що призводить до негативних екологічних наслідків. Так, згідно [1–5] ВЕЕО зазвичай містять токсичні отруйні речовини, такі як свинець, ртуть, миш'як та інші важкі метали, які можуть просочуватися у ґрунт та підземні води. На звалищах США 70% важких металів припадає саме на електронні відходи [6]. Крім того, пластик електронних відходів містить різні допоміжні речовини (пігменти, ретарданти, стабілізатори, пластифікатори) [7], які є джерелом багатьох токсичних речовин.

Загальна генерація ВЕЕО складає близько 42 млн. тонн/рік [8]. Незважаючи на те, що Європа та США раніше були відповідальні за більшість цих відходів, в даний час Китай, Латинська Америка та інші зростаючі економіки в сукупності генерують більше електронних відходів [9].

Електронні відходи стабільно експортуються із розвинутих країн у країни, що розвиваються, часто із порушенням законодавства. Наприклад, в США, за оцінками, таким чином експортується 50-80% відходів, зібраних для переробки [6]. Дотримання заборони на експорт залишається основною проблемою виконання Базельської конвенції. Особливо великі кількості електронних відходів нелегально потрапляють у Китай через Гонконг [10]. Лі та інші [6] вивчають та досліджують транспортування ВЕЕО та нелегальну глобальну торгівлю електронними відходами. В Україні також існує проблема нелегального ввезення старої техніки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема ефективного поводження з ВЕЕО в Україні розглядається на загальнодержавному рівні. Розробляються програми та плани дій, з урахуванням закордонного досвіду. В ЄС, Японії, Пд. Кореї та інших країнах існують приклади ефективних фінансових інструментів поводження з електронними відходами [11–13], зокрема

розширена відповідальність виробників, яка забезпечує оплату збирання і утилізації ВЕЕО. Незважаючи на це, стратегії поводження з ВЕЕО в Україні до цих пір немає. У 2016 році було розроблено проект Закону України "Про відходи електричного та електронного обладнання", який ще досі не прийнятий. Згідно концепції сталого розвитку має бути вдосконалена законодавча база у сфері поводження з електронними та електричними відходами, а також встановлена мета – створення сучасної інфраструктури, що має забезпечити скорочення обсягів відходів на 20%.

В 2021 році в Україні стартував перший соціальний еко-просвітницький проект з культури поводження та збору електронних відходів E-waste Ukraine (повідомляє Укрінформі ГО Let's Do It GREEN Ukraine). Проект покликаний подолати один з найгостріших викликів сучасності – організувати системний масовий збір електронних відходів та впровадити культуру свідомого споживання та поводження з найактуальнішим видом відходів сьогодення [14].

Постановка завдання. ВЕЕО з часом не розкладаються, а накопичуються у навколишньому середовищі, забруднюючи його токсичними речовинами. Через велику шкоду довкіллю, яка може бути викликана неправильними поводженням з такими відходами, їх дослідження є актуальною задачею.

Метою даної роботи є дослідження поводження з відходами електричного та електронного обладнання в Україні та аналіз підприємств і організацій, задіяних у цій сфері.

Виклад основного матеріалу. Проведено ґрунтовний аналіз літератури, присвяченої ВЕЕО. У сфері поводження з відходами в Україні задіяний значний виробничий, науково-технічний, підприємницький потенціал. У цій сфері налічується більше 1500 підприємств. Оскільки законодавством України не передбачене ліцензування поводження з ВЕЕО як окремою категорією відходів, то для проведення дослідження було проаналізовано перелік ліцензіатів на провадження господарської діяльності з поводження з небезпечними відходами, сформований Міністерством екології та природних ресурсів України [15], адже багато ВЕЕО також відносяться до категорії небезпечних відходів (наприклад, люмінесцентні лампи, відпрацьовані хімічні джерела струму тощо). Згідно законодавства України [16] ліцензія видається на необмежений строк. Аналізувались всі організації, які займаються поводженням з ВЕЕО, тобто їх збиранням, перевезенням, зберіганням, обробленням (переробленням, сортуванням), утилізацією, видаленням, знешкодженням і захороненням. Також здійснено оцінку кількості утворених ВЕЕО в Україні шляхом аналізу ринку електроніки та статистичних даних щодо утворення відходів у промисловому і комерційному секторах.

Ринок електронної техніки в Україні, після економічного спаду 2014 року, останніми роками демонструє стабільне зростання (рис. 1). Це призводить до збільшення кількості ВЕЕО.

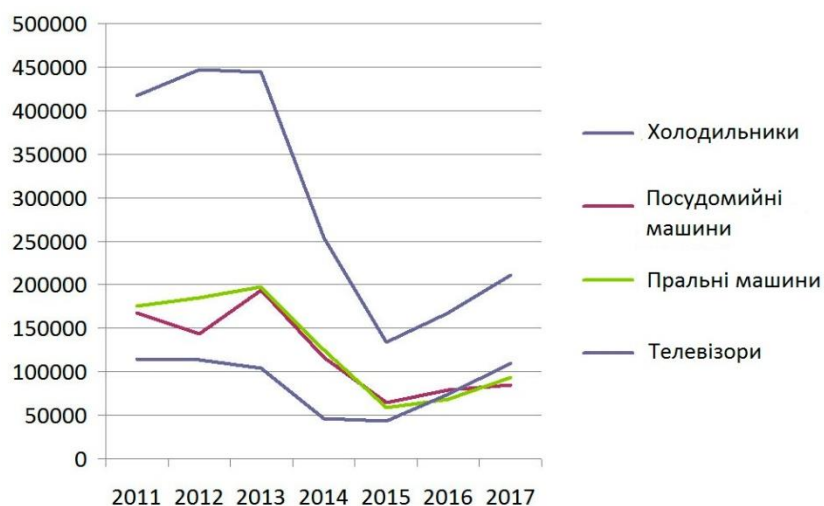


Рис. 1. Продажі деяких видів побутової техніки в Україні, од.

Аналіз показує, що головним компонентом ВЕЕО в Україні є пластик (30%), а також мідь (20%) і залізо (8%). Вміст інших цінних металів менший: олово – 4%, нікель, алюміній, свинець – по 2%, цинк – 1%, срібло – 0,2%, золото – 0,1%. Оскільки ВЕЕО є дуже різноманітними і містять також цінні компоненти, для їх утилізації потрібні спеціальні, часто дорогі технології. Це призводить до необхідності створення нових, високотехнологічних підприємств, що в сучасних українських умовах є складною задачею.

Сьогодні в Україну з ЄС потрапляє значна частина ВЕЕО, в тому числі близько 14-18% – нелегально. У 2017 році згідно офіційної статистики в Україні було утворено 28225,5 т ВЕЕО (табл. 1).

Таблиця 1

Маси ВЕЕО, утворені в Україні у 2017 році

ВЕЕО	Джерело утворення відходів	Маса, тонн	Утилізовано, тонн
Залишки тонера	Відходи виробництва друкованої продукції	0,1	-
Проводи і кабелі	Відходи виробництва гумових і пластикових виробів; Відходи виробництва електричного обладнання	695,2	42,8
Відпрацьовані електроди	Відходи виробництва металів; Відходи виробництва електричного обладнання	2,9	-
Мідні провідники	Відходи виробництва машин та обладнання	0,2	-
Електроізоляційні матеріали	Відходи виробництва машин та обладнання Відходи виробництва електричного обладнання	208,7	13,0
радіатори	Відходи виробництва машин та обладнання	1,5	-
Спеціалізоване технологічне обладнання	Відходи виробництва машин та обладнання Побутові відходи	16506,6	418,8
Електродетонатори	Відходи виробництва машин та обладнання	0,1	-
Електричні побутові прилади	Комерційні відходи Побутові відходи Відходи виробництва машин та обладнання	3637,5	1,2
Електронні компоненти	Відходи виробництва офісного обладнання	34,8	-
Офісне обладнання	Відходи виробництва офісного обладнання	20,3	-
Акумулятори і батареї, їх компоненти	Відходи виробництва електричного обладнання; Відходи виробництва і експлуатації автомобілів	5934,8	34400,6
Компактні батарейки	Побутові відходи; Відходи виробництва електричного обладнання	7,2	-
Електричні апарати	Відходи виробництва електричного обладнання	0,6	-
Люмінесцентні лампи	Побутові відходи Відходи виробництва телерадіообладнання	588,5	429,1
Кінескопи	Відходи виробництва телерадіообладнання	2,3	17,7
Брухт побутової радіоапаратури	Відходи виробництва телерадіообладнання Побутові відходи	1,1	-
Телевізійні і радіопередавальні пристрої	Відходи виробництва телерадіообладнання	0,6	-
Медичне обладнання	Відходи виробництва медичних приладів Побутові відходи; Відходи медичних установ	292,3	73,9
Вимірювальні прилади	Відходи виробництва вимірювальних приладів Побутові відходи	0,1	-
Трансформатори і конденсатори	Побутові відходи	208,4	3,0
Електромагнітне обладнання	Побутові відходи	9,4	-
Наукове обладнання	Побутові відходи	72,3	-
Всього		28225,5	35400,1

Узагальнюючи отримані дані, можна виділити таку структуру електронних відходів в Україні:

- технологічне обладнання – 60%;
- акумулятори і батареї – 21%;
- побутові та офісні прилади – 13%;
- компоненти електричного обладнання – 4%;
- люмінесцентні лампи – 2%.

Дані табл. 1, ймовірно, є заниженими у зв'язку із відсутністю системи моніторингу за ВЕЕО у побутовому секторі. Це підтверджується і порашованим показником 0,7 кг ВЕЕО/рік на 1 людину, що значно менше, ніж у інших країнах (наприклад, у Швеції 17,5 кг/рік [13]). Таким чином, велика кількість використаної техніки залишається необлікованою. Крім того, багато використаної техніки ввозиться в Україну нелегально. Відсутність системи роздільного збирання ВЕЕО і пунктів прийому цих відходів не дозволяє у повній мірі оцінити потоки електронних відходів у побутовому секторі.

Кількість утилізованих ВЕЕО в Україні за 2017 рік склала 35400 тонн (див. табл. 1), що перевищує кількість утворених відходів. Цей показник, ймовірно, досягнутий за рахунок утилізації промислових акумуляторів, накопичених за попередні роки. Без врахування цієї категорії, кількість утилізованих електронних відходів була близько 1000 тонн, що складає лише 4,5% від утвореної кількості.

Результати досліджень підприємств, що із 219 підприємств, які отримали ліцензію на поводження з небезпечними відходами, 128 можуть працювати з окремими типами ВЕЕО, які містять у своєму складі небезпечні сполуки (батареї, люмінесцентні лампи тощо). Всі інші ВЕЕО не охоплені.

22 області України мають підприємства-ліцензіати (табл. 2), лише Волинська та Чернігівська області не мають жодного підприємства, яке б могло долучитися до поводження з ВЕЕО.

Таблиця 2

Організації, які працюють у сфері поводження з небезпечними відходами і можуть працювати із окремими типами ВЕЕО

Область	Кількість організацій	Область	Кількість організацій
Київська	27	Вінницька	4
Донецька	13	Івано-Франківська	4
Черкаська	9	Житомирська	4
Запорізька	8	Миколаївська	3
Дніпропетровська	8	Сумська	2
Львівська	7	Чернівецька	2
Луганська	7	Тернопільська	2
Хмельницька	6	Херсонська	1
Полтавська	5	Закарпатська	1
Харківська	5	Рівненська	1
Кіровоградська	5	Волинська	0
Одеська	4	Чернігівська	0

22 підприємства мають необхідні потужності та ліцензію для утилізації ВЕЕО, але лише 4 з них активно працюють (одне – у м. Одеса, три – у Київській області). Вони здійснюють збирання, зберігання, оброблення, видалення і знешкодження електронних відходів, які відносяться до небезпечних (ртуть і її сполуки, відпрацьовані батареї свинцевих акумуляторів (цілі чи розламані); відходи і брухт електричних та електронних вузлів, що містять акумуляторні або інші батареї).

Таким чином, найбільше підприємств, які мають ліцензію на поводження із небезпечними відходами, тобто можуть збирати (утилізувати) окремі типи ВЕЕО, знаходиться у Київській і Донецькій областях (21% і 10% від загальної кількості відповідно). Є області у яких відсутні такі підприємства, або їх недостатня кількість (Волинська, Чернігівська, Рівненська, Закарпатська, Херсонська області). Цей факт, а також відсутність функціонуючої системи поводження з ВЕЕО, призводить до того, що ці відходи та їх небезпечні компоненти потрапляють на сміттєзвалища, де завдають значної шкоди довкіллю, а їх цінні ресурси втрачаються.

Враховуючи площу території та чисельність населення, в Україні дуже мало підприємств з сфери поводження з електронними відходами. Крім того, лише невелика кількість цих організацій здійснюють утилізацію таких відходів. Більше того, значна частина ВЕЕО залишається неохопленою, що становить значну загрозу екологічній безпеці України.

Висновки. Поводження з відходами електричного та електронного обладнання в Україні перебуває поки що у примітивному стані. Відсутня відповідна законодавча та інфраструктурна база. За офіційними даними щорічно в Україні утворюється близько 28 тис. тонн електронних відходів. Однак ця кількість не враховує побутові відходи домогосподарств, оскільки подібна статистика не ведеться. Оцінювання потоків електронних відходів як окремої категорії не

проводиться. Кількість підприємств, які можуть утилізувати відходи такого типу, є малою. Вони не можуть переробляти належним чином той обсяг відходів, який уже накопичився та буде продовжувати зростати. 2 області не мають жодного підприємства, які могли б бути задіяні у сфері поводження з ВЕЕО. Таким чином, Україні потрібне прийняття відповідного законодавства на загальнодержавному рівні, створення пунктів прийому ВЕЕО, сприяння та контроль за поводженням з ВЕЕО підприємствами, а також створення ефективної системи моніторингу потоків ВЕЕО. Крім того, необхідним завданням є інформування населення про шкоду від неправильного поводження з електронними відходами та недопущення надходження таких відходів у довкілля.

Література

- 1 Bigum M., Petersen C., Christensen T., Scheutz C., WEEE and portable batteries in residual household waste: Quantification and characterisation of misplaced waste, *Waste Management*, vol. 33(11), pp 2372-2380, 2013.
- 2 Salhofer S., Tesar M., Assessment of removal of components containing hazardous substances from small WEEE in Austria, *Journal of hazardous materials*, vol. 186(2-3), pp 1481-1488, 2011.
- 3 Oguchi M., Sakanakura H., Terazono A., Toxic metals in WEEE: Characterization and substance flow analysis in waste treatment processes, *Science of the total environment*, vol. 463, pp 1124-1132, 2013.
- 4 Ishchenko V., Pohrebennyk V., Borowik B., Falat P., Shaikhanova A., Toxic substances in hazardous household waste, *Proceedings of International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2018*, vol. 18(4.2), pp 223-230, 2018.
- 5 Ishchenko V., Vasylykivskyi I., Environmental Pollution with Heavy Metals: Case Study of the Household Waste. In *Sustainable Production: Novel Trends in Energy, Environment and Material Systems*, Springer, pp 161-175, 2020.
- 6 Lee D., Offenhuber D., Duarte F., Biderman A., Ratti C., Monitour: Tracking global routes of electronic waste, *Waste Management*, vol. 72, pp 362-370, 2018.
- 7 Dimitrakakis E., Janz A., Bilitewski B., Gidakos E., Small WEEE: Determining recyclables and hazardous substances in plastics, *Journal of Hazardous Materials, USA*, vol. 161/issue 2-3, pp 913-919, 2009.
- 8 Balde C.P., Wang F., Kuehr R., Huisman J., The global e-waste monitor: quantities, flows and resources, Germany, 2014.
- 9 Robinson B.H., E-waste: an assessment of global production and environmental impacts, *Science of the Total Environment*, vol. 408(2), pp 183-191, 2009.
- 10 Lu C., Zhang L., Zhong Y., Ren W., Tobias M., Mu Z., Xue B., An overview of e-waste management in China. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, vol. 17(1), pp 1-12, 2015.
- 11 Gregory J.R., Kirchain R.E., A comparison of North American electronics recycling systems, *Proceedings of the 2007 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*, pp. 227-232, 2007.
- 12 Kahhat R., Kim J., Xu M., Allenby B., Williams E., Zhang P., Exploring e-waste management systems in the United States, *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 52(7), pp 955-964, 2008.
- 13 Bernstad A., Jansen J.I.C., Aspegren H., Property-close source separation of hazardous waste and waste electrical and electronic equipment – A Swedish case study, *Waste Management, USA*, vol. 31/issue 3, pp 536-543, 2011.
- 14 Українське національне інформаційне агентство «Укрінформ» [Веб-сайт]. Київ, 2015-2021. URL: <https://www.ukrinform.ua> (дата звернення: 1.05.2020).
- 15 Licensing Registry (hazardous waste management). Retrieved from: <https://menr.gov.ua/content/perelik-licenziativ-na-provadhennya-gospodarskoi-diyalnosti-z-povodzhennya-z-nebezpechnimi-vidhodami.html>.
- 16 Act of the Government of Ukraine on approval of Licensing conditions for hazardous waste management, Ukraine, No. 446, 13.07.2016.

*L. Hlavatska**Vinnitsia National Technical University*

ANALYSING THE TREATMENT OF WASTE ELECTRICAL AND ELECTRONIC EQUIPMENT IN UKRAINE

The article analyzes the treatment of waste electrical and electronic equipment (WEEE) in Ukraine. The amount of established WEEE in Ukraine is assessed by analyzing the electronics market and statistics on waste generation in the industrial and commercial sectors. The main component of WEEE in Ukraine is plastic (30%), as well as copper (20%) and iron (8%). About 28 thousand tons of WEEE (technological equipment – 60%, accumulators and batteries – 21%, household and office appliances – 13%, components of electrical equipment – 4%, fluorescent lamps – 2%) are created in Ukraine annually. These data may be underestimated due to the lack of WEEE monitoring system in the household sector. 128 Ukrainian enterprises can collect certain types of WEEE that contain hazardous compounds (batteries, fluorescent lamps, etc.). 22 of them are licensed to use these wastes. All other WEEE is not covered. 2 oblasts do not have any enterprises that could help to treat WEEE. Existing businesses cannot properly recycle waste that has already accumulated and will continue to grow. Thus, Ukraine needs the adoption of relevant legislation at the national level, the creation of WEEE reception points, assistance and control over the treatment of WEEE by enterprises, as well as the creation of an effective system for monitoring WEEE flows. It is necessary to inform the population about the harm of WEEE to the environment and further to human health and to carry out a campaign to promote separate garbage collection and the need to separate electrical appliances from solid waste.

Key words: waste electrical and electronic equipment, electronic waste, environment, waste treatment, utilization of electronic waste, electronic and electrical waste collection point.

References

- 1 Bigum M., Petersen C., Christensen T., Scheutz C., WEEE and portable batteries in residual household waste: Quantification and characterisation of misplaced waste, *Waste Management*, vol. 33(11), pp 2372-2380, 2013.
- 2 Salhofer S., Tesar M., Assessment of removal of components containing hazardous substances from small WEEE in Austria, *Journal of hazardous materials*, vol. 186(2-3), pp 1481-1488, 2011.
- 3 Oguchi M., Sakanakura H., Terazono A., Toxic metals in WEEE: Characterization and substance flow analysis in waste treatment processes, *Science of the total environment*, vol. 463, pp 1124-1132, 2013.
- 4 Ishchenko V., Pohrebennyk V., Borowik B., Falat P., Shaikhanova A., Toxic substances in hazardous household waste, *Proceedings of International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2018*, vol. 18(4.2), pp 223-230, 2018.
- 5 Ishchenko V., Vasylykivskyi I., Environmental Pollution with Heavy Metals: Case Study of the Household Waste. In *Sustainable Production: Novel Trends in Energy, Environment and Material Systems*, Springer, pp 161-175, 2020.
- 6 Lee D., Offenhuber D., Duarte F., Biderman A., Ratti C., Monitour: Tracking global routes of electronic waste, *Waste Management*, vol. 72, pp 362-370, 2018.
- 7 Dimitrakakis E., Janz A., Bilitewski B., Gidakos E., Small WEEE: Determining recyclables and hazardous substances in plastics, *Journal of Hazardous Materials, USA*, vol. 161/issue 2-3, pp 913-919, 2009.
- 8 Balde C.P., Wang F., Kuehr R., Huisman J., *The global e-waste monitor: quantities, flows and resources, Germany*, 2014.
- 9 Robinson B.H., E-waste: an assessment of global production and environmental impacts, *Science of the Total Environment*, vol. 408(2), pp 183-191, 2009.
- 10 Lu C., Zhang L., Zhong Y., Ren W., Tobias M., Mu Z., Xue B., An overview of e-waste management in China. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, vol. 17(1), pp 1-12, 2015.
- 11 Gregory J.R., Kirchain R.E., A comparison of North American electronics recycling systems, *Proceedings of the 2007 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*, pp. 227-232, 2007.

12 Kahhat R., Kim J., Xu M., Allenby B., Williams E., Zhang P., Exploring e-waste management systems in the United States, *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 52(7), pp 955-964, 2008.

13 Bernstad A., Jansen J.I.C., Aspegren H., Property-close source separation of hazardous waste and waste electrical and electronic equipment – A Swedish case study, *Waste Management, USA*, vol. 31/issue 3, pp 536-543, 2011.

14 Ukrainian National News Agency "Ukrinform". Retrieved from: <https://www.ukrinform.ua>

15 Licensing Registry (hazardous waste management). Retrieved from: <https://menr.gov.ua/content/perelik-licenziativ-na-provadhennya-gospodarskoi-diyalnosti-z-povodzhennya-z-nebezpechnimi-vidhodami.html>.

16 Act of the Government of Ukraine on approval of Licensing conditions for hazardous waste management, Ukraine, No. 446, 13.07.2016.

УДК: 502 : 504 : 678.4

DOI: 10.31471/2415-3184-2021-1(23)-109-114

*М. М. Орфанова, Т. М. Яцишин,
Т. А. Бондарчук
Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу*

АНАЛІЗ НАПРЯМКІВ УТИЛІЗАЦІЇ ГУМОВИХ ВІДХОДІВ

Продукція виробництва гумотехнічних виробів широко використовується в усіх галузях народного господарства. У процесі виробництва утворюються невулканізовані та вулканізовані гумові відходи, частина з яких повертається назад у виробничий процес для виробництва товарів широкого вжитку. Також у процесі експлуатації гумові вироби втрачають свої споживчі властивості і переходять у розряд відходів. Для виробництва гумотехнічних виробів використовується природний та синтетичний каучук та різноманітні добавки, що вимагає оптимізації методів подальшої утилізації гумових відходів. Аналіз напрямків утилізації гумових відходів показав, що при обґрунтуванні напрямку їх утилізації необхідно враховувати вміст каучуку та присутність різних добавок. Встановлено, що саме шини є найбільш масовим відходом, утилізація яких найбільш практично поширена в Україні. В той же час обсяги їх утилізації залишаються низькими. Проблема утилізації непромислових гумових відходів ускладнюється відсутністю дієвої системи роздільного збору відходів, яка пов'язано з відсутністю відповідної нормативно-законодавчої та правової бази, а також практичних механізмів реалізації роздільного збору відходів у різних типах населених пунктів.

Проведено аналіз методів утилізації гумових відходів, визначені їх переваги та недоліки. Проаналізовано стан утилізації гумових відходів в Україні та визначенні ключові проблеми.

Результати досліджень свідчать про проблему збору гумових виробів, які втратили свою споживчу властивість. Така ситуація пов'язана з відсутністю дієвих механізмів у роздільному зборі відходів. Пропонується організація стаціонарних пунктів збору відходів у населених пунктах міського типу та пересувних пунктів у великих містах та сільських населених пунктах.

Ключові слова: гумові відходи; методи утилізації; каучук; регенерат; шини; управління відходами.

Постановка проблеми. Гумові відходи являють собою досить широкий спектр відходів від виробництва гумотехнічних виробів до гумових виробів, у т.ч. предметів побутового користування, які втратили свої споживчі властивості.

Виробництво гумотехнічних виробів представлено гумоазбестовою та шинною промисловістю, асортимент продукції яких перевищує 50 тисяч різноманітних виробів. Основні підприємства з виробництва гумотехнічних виробів знаходяться у Львові (ТзОВ «Завод гумових виробів»), Луцьку (ВАТ «Завод «ПОЛІМЕР»»), Білій Церкві (ПрАТ «Росава», ТОВ «Інтер-ГТВ», ТОВ ВФ «РУБІКОН», ПрАТ «Білоцерківський завод гумотехнічних виробів»), Києві (ТОВ «КІІВГУМА», ТзОВ «Резинпромсервіс», Запоріжжі (ТзОВ «Запорізький завод гумотехнічних виробів»), Дніпрі (ТзОВ НВП «ТЕХСЕРВІС») та Бердянську (Бердянський завод гумотехнічних виробів ПрАТ «БЕРТІ»). Також в Україні діють 6 шиноремонтних заводів: Запорізький ШРЗ, Івано-Франківський ШРЗ, Миколаївський ШРЗ, Броворський ШРЗ (Київська область), Гніванський ШРЗ (Вінницька область), ТОВ «ПРОФІЛЬПЛАСТ» (Львівська область).

Основною сировиною для виробництва продукції є природний та синтетичний каучук, вміст якого у гумовій суміші може досягати 98%. Саме каучук впливає на якість гумових виробів та їх фізико-механічні властивості. Також для покращення властивостей гуми, стійкості до впливу природних факторів, збільшення терміну використання гумотехнічних виробів та зниження їх собівартості використовують різноманітні добавки: пом'якшувачі, пластифікатори, активатори, наповнювачі, антиоксиданти, барвники та інші речовини. До основних добавок належать сірка, оксиди цинку, кадмію, магнію та свинцю каніфоль, дибутилфталат, оцтова, бензойна, бурштинова, саліцилова, молочна, та щавлева кислоти, карбонат амонію, гідрокарбонат натрію [1].

За даними Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України щорічно утворюється до 3 тис.т гумових відходів [2]. Це незначний відсоток відходів у загальному обсязі відходів, але більшість цих відходів не утилізується.

Тому актуальним є оптимізація напрямків поводження з гумовими відходами.

Мета досліджень. Метою роботи є аналіз сучасних напрямків утилізації гумових відходів та рівня їх впровадження на підприємствах України, визначення основних проблем, пов'язаних із

утилізацією гумових відходів в Україні, та обґрунтування оптимальних напрямків поводження з гумовими відходами.

Аналіз досліджень та публікацій. Для утилізації відходів гуми важливим є процес вулканізації, тому гумові відходи класифікуються на два види – гумові невулканізовані відходи і гумові вулканізовані відходи (гумотканні та гумометалеві відходи, шини) [3, 4]. Оскільки основним компонентом гуми є каучук, то його вміст у гумових невулканізованих відходах може досягати 90%, а у гумових вулканізованих відходах – 50%. Тому невулканізовані гумові відходи можуть бути поверненні назад у виробничий процес без значної їх обробки. Як правило, до 60% таких відходів використовують у виробництві товарів широкого вжитку. Що стосується вулканізованих гумових відходів, то їх використовують не більше 30%.

Оскільки відходи мають різний каучук та різні наповнювачі, що впливає на подальшу їх утилізацію, і тому необхідно розділяти відходи за їх видами. В той же час залишається низький рівень утилізації відходів [2, 5, 6]. Саме з цими відходами щорічно втрачаються мільйони тон каучуку.

Найбільш поширеним видом гумових відходів є шини, які утилізують на шиноремонтних заводах. Проте значний обсяг даних відходів від звичайних мешканців так і залишається неутілізованими [7]. Термін розкладання шин понад 120 років, а хімічні їх компоненти є небезпечними для природних об'єктів.

Виклад основного матеріалу. Основною фізичною властивістю вулканізованих гумових відходів є їх еластичність, що ускладнює процес їх подрібнення. Тому для утилізації гумових відходів використовують фізичні та фізико-хімічні методи [3]. До фізичних методів відноситься різні способи подрібнення, спалювання та піроліз. До фізико-хімічних методів – регенерація, озонне руйнування. Саме на цих методах розробляються різні способи утилізації відходів, кожний з яких має свої переваги та недоліки.

Фізичні методи утилізації гумових відходів. До фізико-механічних методів належить різні методи подрібнення гуми: криогенне та механічне подрібнення, бародеструкція, а до термічних методів належать – спалювання та піроліз.

Подрібнення – основний напрямок утилізації гумових відходів, який дозволяє зберегти фізико-технічні властивості гуми і не приводить до забруднення атмосферного повітря. Проте механічне подрібнення та бародеструкція приводить до інтенсивного зносу механічних деталей подрібнювачів, а криогенне подрібнення вимагає використання холодагенту (як правило, це рідкий азот), що збільшує собівартість продукту [3, 4, 8, 9]. Також метод криогенного подрібнення дозволяє відокремлювати металевий корд в одну стадію. Продуктом подрібнення є гумова крихта різного розміру та гумовий порошок.

Теплотворна здатність гуми становить 32-34 ГДж/кг, що дозволяє спалювати гумові відходи з метою отримання енергії [4]. Проте під час спалювання утворюються небезпечні канцерогенні органічні речовини, що вимагає додаткового очищення викидів.

Процес піролізу може проводитись у трьох температурних режимах: 400-500°C, 600-800°C і 900-1200°C. На кожному з цих етапів можна одержати готову продукцію або сировину для інших галузей промисловості (відповідно) [4, 9]: гумове масло, яке можна використовувати як пом'якшувач та як добавка до гумових сумішей; паливо (рідкі вуглеводні) і твердий осад (вуглецевий залишок), який можна використовувати в якості сажі в гумовотехнічному виробництві; сажа, шинний кокс з високою адсорбційною здатністю і горючий газ.

Як і всі методи, кожний з фізичних методів має свої як переваги, так і недоліки (табл.).

Фізико-хімічні методи утилізації гумових відходів. Фізико-хімічні методи можуть бути застосовані як для отримання регенерату, так і для подрібнення гумових відходів.

Регенерат отримують з гумової крихти. Завдяки своїм властивостям регенерат дозволяє замінити частину каучуку в гумовій суміші, покращуючи фізико-технічні характеристики гуми. Введення регенерату в суміш дозволяє також знизити енерговитрати на виробництво гумотехнічних виробів. Отже використання регенерату зменшує собівартість готової продукції. До основних методів регенерації належать паровий, який є найменш поширеним, водонейтральний і термомеханічний, який дозволяє отримати найбільш якісний регенерат (див. табл.).

Новий метод подрібнення – озонне руйнування – розроблено у Харківському фізико-технічному інституті. Озонне руйнування використовується для подрібнення вулканізованої гуми в озонемісному середовищі, що дозволяє отримувати високоякісну гумову крихту [11]. Даний метод також дозволяє відокремлювати металевий та тканинний корд в одну стадію.

SWOT-аналіз фізичних та фізико-хімічних методів утилізації гумових відходів

Назва методу	Переваги	Недоліки
Фізичні методи		
Подрібнення (в цілому)	Широкий спектр використання гумової крихти	Складність подрібнення вулканізованих гумових відходів
Кріогенне подрібнення	Отримання чистої крихти . Отримання гумового порошку тонкого помелу до 100–150 мкм. Зниження енерговитрат в 1,5–2 рази порівняно з механічним подрібненням.	Висока вартість холодоагенту. Складні системи охолодження. Рекуперація відпрацьованого озону. Обмеження сфери використання крихти через її гладку поверхню.
Механічне подрібнення	Зберігається активна поверхня гумового порошку. Можлива переробка шин з металевим кордом і текстильним, а також комбінованих шин. Низький рівень енерговитрат.	Абразивний знос механічних деталей подрібнювачів. Низька продуктивність. Висока собівартість гумової крихти.
Бародеструкція	Компактність обладнання. Невисока енергоємність.	Подрібнення металокорду приводить частого зношення механічних деталей подрібнювачів.
Спалювання	Низька вартість отримання енергії	Значне забруднення атмосферного повітря, що вимагає додаткової очистки
Піроліз	Одержання гумового масла, паливо та сажі	Необхідність додаткового очищення одержаних в процесі утилізації продуктів перед їх використанням
Високотемпературний піроліз	Одержання сажі, шинного коксу з високою адсорбційною здатністю, горючого газу	Температура до 1200°C
Фізико-хімічні методи		
Паровий метод регенерації гуми	Температура процесу девулканізації до 185°C	Подача пару під тиском 1 МПа. Отримання неоднорідного за пластичністю регенерату через відсутність перемішування девулканізованої маси
Термомеханічний метод регенерації гуми	Регенерат характеризується більшою однорідністю та пластичністю	Температура процесу девулканізації до 210°C.
Водонейтральний метод регенерації гуми	Температура процесу девулканізації до 185°C. Час девулканізації можна зменшити до 5 годин Безперервне перемішування сприяє кращому набряканню гуми. Використання смол хвойної деревини сприяє руйнуванню залишків текстильних волокон	Необхідність використання води у значних об'ємах, яку необхідно відокремлювати та очищати після процесу девулканізації
Озонне руйнування	Висока якість гумової крихти. Простота технічного відокремлення гуми від інших матеріалів	Зміна властивостей гумової крихти через її окиснення.

Проблема утилізації гумових відходів, які втратили свої споживчі властивості. Особливо актуальним дане питання є для гумових відходів у складі ТПВ, медичних відходів, спортивних виробів, які втратили свої властивості, гумових комплектуючих різноманітної техніки. Всі ці види відходів потрапляють на полігони побутових відходів.

Останнім часом спостерігається урізноманітнення складових ТПВ. Тому все більш актуальним стає запровадження роздільного збирання ТПВ шляхом створення стаціонарних та пересувних пунктів приймання/закупівлі відходів як вторинної сировини [12].

Не менш актуальним стає інформаційне та логістичне забезпечення сфери управління відходами.

Висновки. Проведений аналіз існуючих методів утилізації гумових відходів свідчить про необхідність обґрунтованого підходу до їх вибору, базуючись на еколого-економічній ефективності. Важливим є врахування не тільки виду гуми у складі гумових відходів, що буде обмежувати групу методів утилізації, а також врахування рівня негативного впливу на атмосферне повітря. Не менш важливим є економічність самого процесу утилізації відходів. Тому, до питання утилізації гумових відходів необхідно підходити окремо до кожного їх виду.

Роздільне збирання ТПВ можливо вирішити при розширенні мережі стаціонарних пунктів приймання/закупівлі відходів як вторинної сировини та організації пересувних пунктів, що дозволить значно зменшити обсяги нагромадження відходів на полігонах. Різноманітний склад побутових відходів вимагає організації інформаційного продукту про юридичні або фізичні, що займаються збиранням, транспортуванням, переробкою та утилізацією відходів. У свою чергу процес управління відходами має базуватись на принципах логістики.

Література

- 1 Речовини для виробництва гуми. URL: <https://www.systopt.com.ua/article-rechovyny-dlya-vyrobnytva-gumu>
- 2 Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2018 році. URL: <https://mepr.gov.ua/news/35937.html>.
- 3 Классификация резиновых отходов и способов их переработки. URL: <https://msd.com.ua/pererabotka-otkhodov-proizvodstva/klassifikaciya-rezinovykh-otkhodov-i-sposobov-ix-pererabotki/>.
- 4 Гумово-технічні вироби. URL: <http://olnova.com.ua/gumovo-tehnichni-virobi/>.
- 5 Мельниченко Г. М., Миленка М. М., Різничук Н. І., Цап'юк Л. М. Структура утворення та стан поводження з відходами в Івано-Франківській області (інформаційно-аналітичний огляд). *Екологічні науки*. Київ, 2020. № 2(29). Т. 1. С. 170-174.
- 6 М. Karpash, A. Voronych, T. Yatsysyn, M. Orfanova. Analysis of the system of municipal solid waste management Ivano-Frankivsk region (Ukraine). *Scientific Bulletin of North University Center of Vaia Mare*. 2020. Series D. Volume XXXIII No/2. P.39-48.
- 7 Сербінова Л. А. Дослідження проблем поводження з відходами зношених автомобільних шин в Україні. *Проблем охорони праці в Україні*. 2019. № 35(1). С. 15-19.
- 8 Ali Fazli, Denis Rodrigue. Waste Rubber Recycling: A Review on the Evolution and Properties of Thermoplastic Elastomers. *Materials*. 2020. 13(3)/ 782. DOI:10.3390/ma13030782. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1944/13/3/782/htm>
- 9 Долинская Р. М., Прокопчук Н. Р. Рециклинг отходов резинотехнических изделий (обзор). *Полимерные материалы и технологии*. 2020. Т.6. № 1. С. 6-24. DOI: 10.32864/poimmattech-2020-6-1-6-24.
- 10 Junqing Xu, Jiaxue Y, Jianglin X., Chenliang Suna, Wenzhi Hea, Juwen Huanga, Guangming Li. High-value utilization of waste tires: A review with focus on modified carbon black from pyrolysis. *Science of The Total Environment*. 2020. Volume. 742. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140235>.
- 11 Переробка вторинних матеріалів.
- 12 URL: http://streamozone.com.ua/media_publications_secondary_materials_ua.html.
- 13 Орфанова М. М., Яцишин Т. М. Удосконалення системи сортування ТПВ як шлях до підвищення їх ресурсного потенціалу. *Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології* : матеріали Національного форуму, 8–10 жовтня 2020 р. Івано-Франківськ : Центр екологічної освіти та інформації, 2020. С. 99 -101.

*M. Orfanova, T. Yatsyshyn,
T. Bondarchuk
Ivano-Frankivsk National Technical
University of Oil and Gas*

ANALYSIS OF RUBBER WASTE DISPOSAL DIRECTIONS

Rubber products are widely used in all sectors of the economy. Unvulcanized and vulcanized rubber waste is generated during production. Part of the waste is returned to the production process for the production of consumer goods. During operation, rubber products lose their consumer properties and become waste. Natural and synthetic rubber and various additives are used for the production of rubber products. This requires optimization of rubber waste disposal methods. The analysis of rubber waste disposal directions has showed that it is necessary to take into account the rubber content and the presence of various additives when justifying their disposal direction. It has been established that tires are the most popular waste. These wastes are disposed in Ukraine. At the same time, the level of their disposal remains low. The problem of disposal of non-industrial rubber waste is complicated by the lack of an effective system of separate waste collection. This is due to the lack of appropriate regulatory and legal framework, practical mechanisms for the implementation of separate waste collection in different types of settlements.

The methods of rubber waste disposal are analyzed. Their advantages and disadvantages are identified. The state of rubber waste disposal in Ukraine is analyzed and the key problems are identified.

Studies results indicate a problem of collecting rubber products that have lost their consumer properties. This is due to the lack of effective mechanisms for separate waste collection. The organization of stationary waste collection points in urban settlements and mobile points in large cities and rural settlements is proposed.

Key words: rubber waste; disposal methods; rubber; regenerate; tires; waste management.

References

- 1 Rechovyny dlia vyrobnytstva humy. URL: <https://www.systopt.com.ua/article-rechovyny-dlya-vyrobnytstva-gumy>
- 2 Natsionalna dopovid pro stan navkolyshnioho pryrodnoho seredovyscha v Ukraini u 2018 rotsi. URL: <https://mepr.gov.ua/news/35937.html>.
- 3 Klassifikatsiya rezinovyih othodov i sposobov ih pererabotki. URL: <https://msd.com.ua/pererabotka-otxodov-proizvodstva/klassifikaciya-rezinovyx-otxodov-i-sposobov-ix-pererabotki/>.
- 4 Humovo-tehnichni vyroby. URL: <http://olnova.com.ua/gumovo-tehnichni-virobi/>.
- 5 Melnychenko H. M., Mylenka M. M., Riznychuk N. I., Tsapiuk L. M. Struktura utvorennia ta stan povodzhennia z vidkhodamy v Ivano-Frankivskii oblasti (informatsiino-analitychnyi ohliad). *Ekolohichni nauky*. Kyiv, 2020. № 2(29). T. 1. C. 170-174.
- 6 M. Karpash, A. Voronych, T. Yatsyshyn, M. Orfanova. Analysis of the system of municipal solid waste management Ivano-Frankivsk region (Ukraine). *Scientific Bulletin of North University Center of Baia Mare*. 2020. Series D. Volume XXXIII No/2. P.39-48.
- 7 Serbinova L. A. Doslidzhennia problem povodzhennia z vidkhodamy znoshenykh avtomobilnykh shyn v Ukraini. *Problem okhorony pratsi v Ukraini*. 2019. № 35(1). C. 15-19.
- 8 Ali Fazli, Denis Rodrigue. Waste Rubber Recycling: A Review on the Evolution and Properties of Thermoplastic Elastomers. *Materials*. 2020. 13(3). 782. DOI:10.3390/ma13030782. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1944/13/3/782/htm>
- 9 Dolinskaya R. M., Prokopchuk N. R. Retsikling othodov rezinotehnicheskikh izdeliy (obzor). *Polimernye materialy i tehnologii*. 2020. T.6. № 1. C. 6-24.
- 10 Junqing Xu, Jiaxue Y, Jianglin X., Chenliang Suna, Wenzhi Hea, Juwen Huang, Guangming Li. High-value utilization of waste tires: A review with focus on modified carbon black from pyrolysis. *Science of The Total Environment*. 2020. Volume. 742. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140235>.
- 11 Pererobka vtorynnykh materialiv.
- 12 URL: http://streamozone.com.ua/media_publications_secondary_materials_ua.html.

13 Orfanova M. M., Yatsyshyn T. M. Udoskonalennia systemy sortuvannia TPV yak shliakh do pidvyshchennia yikh resursnoho potentsialu. *Povodzhennia z vidkhodamy v Ukraini: zakonodavstvo, ekonomika, tekhnolohii* : materialy Natsionalnoho forumu, 8–10 zhovtnia 2020 r. Ivano-Frankivsk : Tsentr ekolohichnoi osvity ta informatsii, 2020. С. 99 -101.

*В. М. Чупа, О. М. Карнаш,
А. В. Яворський, П. М. Райтер
Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу*

ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ СТАЛИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УТИЛІЗАЦІЇ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

Проведено огляд існуючих технологій утилізації твердих побутових відходів методами термічного знешкодження сміття з перспективою використання теплової енергії для промисловості і комунальних потреб населення. Викладено способи термічної утилізації відходів від звичайного спалювання до найсучаснішої технології утворення стабільного сухого залишку. Здійснено аналіз нормативно-правової бази поводження з відходами в країнах Європейського Союзу та в Україні.

Термічне знешкодження (спалювання) є найбільш ефективним способом боротьби з екологічними загрозами твердих побутових відходів (ТПВ). Він дає можливість знизити обсяги відходів, які складуються на полігонах, у десятки разів. Сміттєспалювальні заводи вирішують декілька завдань, які сприяють нормалізації стану довкілля. По-перше, в них переробляється і знищується та велика кількість сміття, яку щодня залишає після себе сучасне місто. По-друге, вони виробляють теплову енергію. І, по-третє, вони значно знижують обсяг залишків ТПВ, які вивозяться на полігони.

Рекомендовано використовувати термічно оброблені тверді побутові відходи в якості паливної сировини для промислових підприємств, що дозволить скоротити обсяги токсичних відходів та, як наслідок, ступінь їх впливу на навколишнє природне середовище.

Перспективним способом термічної утилізації твердих побутових відходів є технологія утворення сухого стабільного залишку (ССЗ), з подальшим використанням отриманої паливної сировини для потреб промисловості, як альтернатива викопному паливі. За допомогою технології ССЗ виключено утворення найбільш небезпечних побічних продуктів – діоксанів та фуранів, при 100% утилізації ТПВ.

Ключові слова: тверді побутові відходи, термічне знешкодження, сміттєспалювання, методи термічної утилізації

Постановка проблеми. Проблема твердих побутових відходів (ТПВ) надзвичайно актуальна, оскільки в Україні спостерігається стала тенденція до збільшення обсягів утворення твердих побутових відходів, що вивозяться і захоронюється на сміттєзвалищах і полігонах. В свою чергу це призводить до утворення величезних звалищ ТПВ поблизу території великих міст.

Основним законом ЄС у сфері управління відходами є «Рамкова директива ЄС про відходи», яка поширюється на всі види відходів та встановлює так звану ієрархію відходів, правила управління з відходами, їх кваліфіковане збирання, утилізацію та переробку [1].

В останні роки у всіх країнах спостерігається інтерес до нових екологічно безпечних і безвідходних технологій термічного знешкодження побутових відходів з утворенням горючих газів. Універсального методу поводження з ТПВ, який би задовольняв сучасні екологічні та економічні вимоги, немає. Найбільш прийнятним є комбінований метод, який передбачає використання відходів як джерела енергії та вторинної сировини [1-3].

Метою статті є огляд вітчизняних та закордонних публікацій з питань утилізації твердих побутових відходів методом термічного знешкодження, та отримання теплової енергії під час процесу спалювання, розглянути та оцінити найефективніші методи термічної утилізації твердих побутових відходів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням методів термічної утилізації твердих побутових відходів присвячено чимало робіт українських науковців. Так, питання екологічних та правових аспектів утилізації ТПВ, а також європейського досвіду термічного знешкодження відходів глибоко розкриті в публікаціях Петрука М. П., Козій О. І., Вахули О. М., Яцюк Р. А. Проблемами утилізації відходів, рециклінгу та їх економічними аспектами займаються Ігнатенко О.П., Лимаренко В.О., Міщенко В.С., Гінайло В.О., Виговська В.П. Дослідження питань правового регулювання поводження з побутовими відходами проводилися такими вченими, як Міщенко В.С., Байцар Р.І., Зерук В.А.

Викладення основного матеріалу. Одна з гострих проблем сьогодношньої України - утилізація промислових і побутових відходів. Згідно зі статистикою, на кожного жителя країни припадає близько 300 тонн накопичених відходів. Всього функціонує близько 35 тис. полігонів з утилізації відходів (сміттєзвалищ), площа яких перевищує 12 тис. гектарів [15].

Розв'язання проблеми накопичення твердих побутових відходів пов'язане з необхідністю кардинальної зміни підходів до санітарного очищення наших міст і сіл, підвищення відповідальності населення і підприємств у поводженні з відходами, використанням досвіду розвинених країн в їх утилізації.

В Україні в різний час працювало 5 сміттєспалювальних заводів (Київ, Дніпро, Харків, Рівне та окупований сьогодні Севастополь), з яких на даний час діє лише завод «Енергія» в Києві. Сьогодні, на підприємстві гостро стоїть питання впровадження хімічного очищення димових газів [15].

Подібні проблеми притаманні для всіх сміттєспалювальних виробництв. Сучасні технології очищення димових газів дозволяють повністю нейтралізувати негативну дію цих речовин. Тому в розвинених країнах не існує обмежень по розташуванню сміттєспалювальних заводів. Є безліч прикладів розміщення таких підприємств навіть в центрі міст - прикладами є Токіо, Цюрих, або Ліон. Найяскравіший приклад - завод «Шпіттеллау» у Відні, який розміщений в центрі австрійської столиці (рис. 1) [14].



Рис. 1. Загальний вигляд заводу Шпіттеллау (Відень) [14]

Світовий досвід пропонує три основні шляхи у сфері поводження з твердими побутовими відходами, а саме:

- полігонне захоронення (з метою запобігання шкідливого впливу на довкілля);
- очищення твердих побутових відходів від шкідливих компонентів сортування ТПВ та їх утилізація з метою добування ресурсоцінних компонентів.
- утилізація твердих побутових відходів шляхом їх термічного знешкодження (спалювання).

Загальноприйнятий метод розміщення як небезпечних, так і твердих побутових відходів (ТПВ) – полігонне поховання. За оцінками фахівців, в європейських країнах щорічно утворюється 24 млн. т. небезпечних відходів, з них 75 % захоронюється. За даних умов полігонне поховання вважається найменш доцільним для відходів, які можна піддавати рециклінгу (переробка відходів для повторного використання), утилізувати чи використати для одержання альтернативних видів палива. У ЄС найпоширенішим є сміттєспалювання, яке виникло як спосіб знешкодження ТПВ і згодом перетворилося на енергетичну індустрію, оскільки за тепловим еквівалентом 1 тонна ТПВ прирівнюється до 0,5 тонни вугілля [4].

Спалювання ТПВ дозволяє значно знизити їх обсяг і вагу; перетворити речовини (у тому числі й небезпечні) в інертні тверді. До недоліків відносяться високі енергозатрати процесу, забруднення довкілля шкідливими газоподібними викидами, а також накопичення продуктів спалювання у виді зол і шлаків. Проблемами утилізації шлаків сміттєспалювання та використання їх для одержання будівельних матеріалів займалися науковці НУ «Львівська політехніка» та Технічного університету Сержі Понтуаза (Франція) [4-6].

Альтернативою спалюванню за температур 700–800°C за кордоном сьогодні інтенсивно ведуться науково-технічні розробки зі створення процесів і агрегатів високотемпературної переробки (1350...1600°C) – піролізу [6].

Для багатьох країн світу гостро стоїть проблема утилізації відходів. Це стосується як економічно розвинених країн, так і країн що розвиваються. Для вирішення питання утилізації відходів в Україні в 2017 р. розроблена Національна стратегія з управління відходами, що передбачає план до 2030 р. Даною Стратегією планувалось зменшення кількості захоронення твердих побутових відходів на сміттєвих полігонах з 95% (у 2016 році) до 50% у 2023 році і до 30% у 2030 році. Проте реальні показники не відповідають заданому плану: ця кількість у 2018 р. скоротилась лише на 1,2% [7].

Теперішній склад ТПВ істотно змінився у порівнянні з минулими роками. У побутових відходах істотно зменшився вміст металу і скляної тари, проте з використанням сучасних видів упаковки до 40-45% зріс обсяг пластику і полімерних матеріалів, а також паперу. А це вуглецева сировина, горіння якої відбувається з виділенням теплової енергії, тому технології сміттєспалювання широко використовуються для знешкодження ТПВ.

Сміттєспалювальні заводи знайшли широке застосування в країнах з високою густрою населення (ФРН, Японія, Швейцарія, Бельгія та ін.), в більшості розвинених країн переважає термічний спосіб знешкодження ТПВ (так, в Японії спалюється 82% сміття, в США – 81%, в Данії – 78%) (рис. 2). Для прикладу можна розглянути сміттєспалювальний заводу Завдяки застосуванню найкращих доступних технологій, якими вважаються спалювання сміття в печах на механічних колошникових решітках і печах з вихровим киплячим шаром з багатоступеневою системою газоочищення, проблеми екологічної безпечної експлуатації сміттєспалювальних заводів практично вирішені [8].

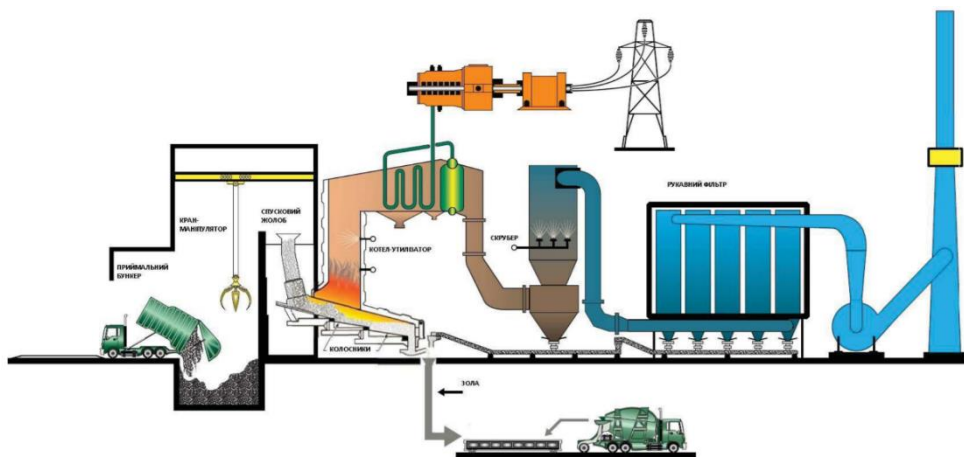


Рис. 2. Загальна принципова схема

Нові технології термічного знешкодження включають газифікацію, піроліз і плазмову газифікацію. Ці технології відрізняються ускладненими технологічними процесами і меншою мірою перевірені в промисловому масштабі.

Для будь-якого процесу термічного знешкодження відходів характерні три стадії, які перекриваються, але можуть бути розділені в просторі і часі [4].

- сушіння і дегазація (видалення летких речовин при 100-300°C);
- піроліз і газифікація (розклад органічних речовин без доступу кисню при 250-700°C з утворенням синтез-газу (H_2 і CO), смол і обугленого залишку);
- окислення горючих газів (синтез-газу) при 800-1450°C.

Ці технології поділяються на дві основні категорії: звичайне спалювання і нові методи термічного знешкодження. Звичайне спалювання включає масове спалювання та спалювання в киплячому шарі, що використовують тепер у всьому світі.

Найбільш поширеним масовим спалюванням є одностадійне спалювання на похилих або рухомих колошникових решітках [9]. В установці для масового спалювання необхідна мінімальна попередня обробка ТПВ (рис. 3). Як правило, з потоку вилучаються великогабаритні і негорючі матеріали.

При одностадійному спалюванні відходи спалюються без надлишку кисню, що спричиняє їх неповне згоряння і утворення піролітичного газу, який у верхній частині камери згоряння сполучається з надлишковим повітрям і згоряє повністю. За цією технологією відходи довгий час перебувають на решітках, що спричиняє хорошу якість шлаку (з меншою кількістю незгорілого вуглецю). Звичайні установки мають енергоефективність 14-27%, якщо енергія перетворюється в електроенергію, вони складаються з кількох модулів зі спільною інфраструктурою [12].

Двостадійне спалювання полягає в спалюванні на другій стадії відхідних газів в середовищі з надлишком кисню і подаванні тепла в котелутилізатор.

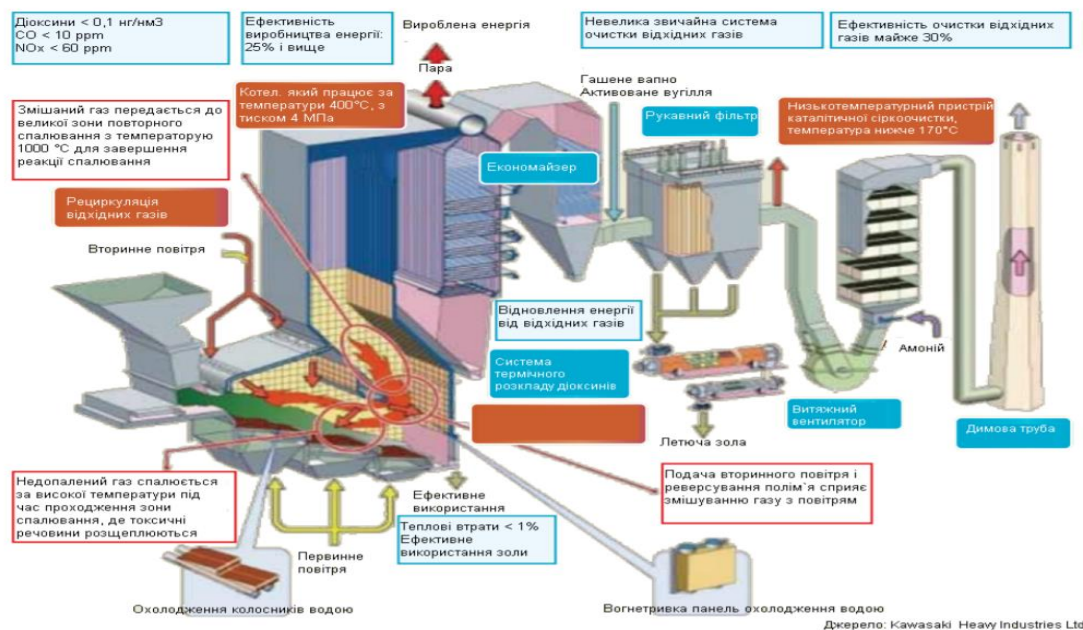


Рис. 3. Технологія одностадійного спалювання із колосниковими решітками [12]

Спалювання в киплячому шарі передбачає подрібнення, сортування відходів та вилучення металу для отримання більш однорідного твердого палива (рис. 4). Це паливо далі подається в камеру згоряння, де шар інертного матеріалу (піску) підтримується у зваженому стані на колошниковій решітці за рахунок продування повітря знизу. З 450 установок в Європі в 30 використовується технологія киплячого шару, причому разом з ТПВ спалюють осаді стічних вод, сортовані органічні відходи та деревну стружку. Одним з недоліків технології є утворення значної кількості леткої золи.

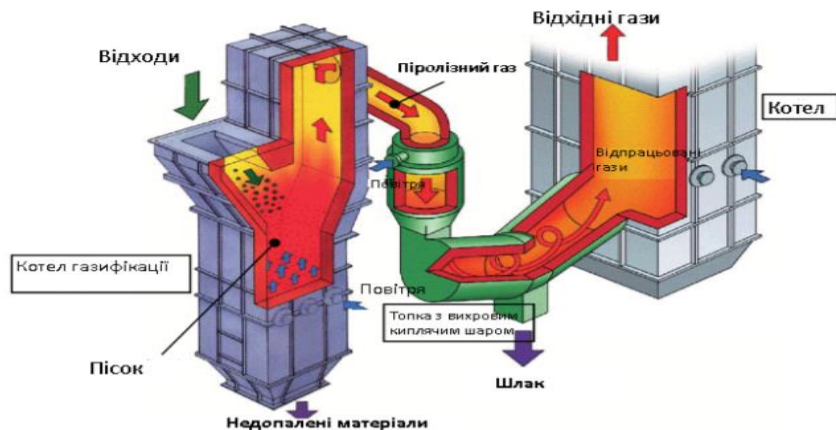


Рис. 4. Технологія спалювання ТПВ у киплячому шарі [12]

Таким чином, установки для звичайного спалювання ТПВ характеризуються утворенням шкідливих викидів, кількість яких з кожним роком поступово зменшується за рахунок використання систем знешкодження атмосферних викидів. Ці системи базуються на сухому, напівсхому та мокрому очищенні відхідних газів [12].

В розвинених країнах практично відмовились від звичайного одностадійного спалювання – на заміну йому прийшли двостадійні процеси, один з яких виключає утворення діоксинів та фуранів і забезпечує гарантоване знешкодження небезпечних відходів при високих температурах [10].

Піроліз – це процес розкладання органічних речовин без доступу кисню за порівняно низьких температур 450–800°C. Такий процес є енергетично вигіднішим, ніж просте спалювання. Результатом піролізу є отримання горючого газу і твердого залишку. Потім той та інші продукти без будь-якої додаткової обробки спалюються у печі. Частина піролізних газів після конденсації може бути виведена із системи і конвертована в рідке паливо (рис. 5).

Піроліз має ті самі недоліки, що і пряме спалювання відходів. Піролізний газ необхідно очищувати від кислих газів типу хлористого водню (HCl), внаслідок чого цей процес стає досить дорогим через застосування спеціального устаткування і використання каустичної або кальцинованої соди. При цьому також не можна уникнути забруднення довкілля важкими металами.

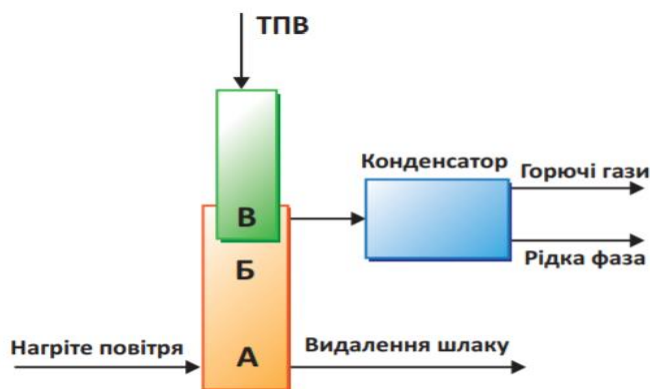


Рис. 5. Технологічна схема піролізу ТПВ [13]

Високотемпературний піроліз – один з найперспективніших напрямів перероблення твердих побутових відходів з погляду як екологічної безпеки, так і отримання вторинних корисних продуктів: синтез-газу, рідкого палива, металів та інших матеріалів, які можна широко застосовувати в народному господарстві (рис. 6). Високотемпературна газифікація дає можливість економічно вигідно і технічно відносно просто переробляти тверді побутові відходи без їх попередньої підготовки, тобто сортування, сушіння та ін. [11].

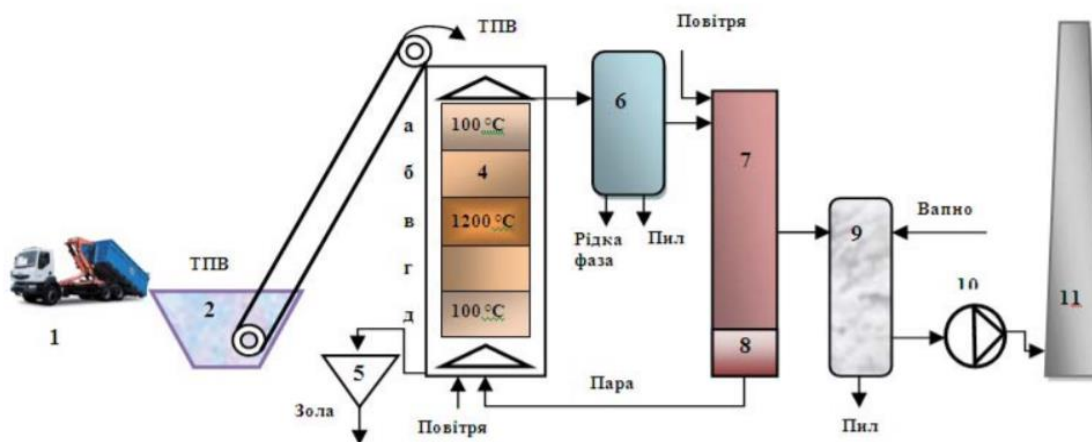


Рис. 6. Технологічна схема утилізації ТПВ методом високотемпературного піролізу [13]

Основними компонентами піролізного газу є водень, оксид вуглецю, метан. Теплота згоряння цієї суміші в залежності складу відходів і організації процесу складає 6680-10450 кДж/м³. Частина енергії одержуваного газу використовується для підігріву повітря, що подається в зону

згоряння реактора. Інша енергія передається споживачеві у вигляді газоподібного палива або у вигляді теплоносіїв. Піролізний газ має переваги над природним, тому що не містить сполук сірки й азоту. Однак у зв'язку з низькою теплоотою згоряння, труднощами акумуляції і збереження піролізного газу його неможливо збирати і транспортувати на значну відстань, внаслідок чого споживач газу повинний знаходитися не далі 3 км від піролізної установки.

На перспективу такий комплекс зможе вирішити проблему утилізації відходів обласного центру та області. Реалізація таких проектів дає змогу покращити не лише ситуацію в сфері поводження з відходами, але й створити додаткові робочі місця.

Звичайним елементом таких заводів стають парогазові установки або газові турбіни для високоефективного виробництва електро- та теплової енергії.

Піролізна установка в єдиному комплексі з підприємством промислового сортування дозволяє добитись безвідходної переробки сміття (залишок складає 3-5% від початкового обсягу сміття). При цьому виробляється технічний вуглець і рідке паливо. Енергія використовується для роботи того ж підприємства.

Складним завданням при експлуатації таких заводів є, поряд з очищенням газів, що відходять, утилізація або захоронення токсичної золи (до 30% від сухої маси ТПВ), що залишаються після спалювання.

Найбільш повна деструкція продуктів, що містяться в ТПВ, відбувається в процесі високотемпературного піролізу або газифікування за температури 1650-1930°C в розплаві мінеральної суміші з добавками металів або за температури до 1700°C в розплаві солей чи лугів за наявності каталізаторів (MSOP-технологія). Зазначені способи забезпечують перероблення ТПВ практично будь-якого складу, тому що за такої температури повністю руйнуються всі діоксини, фурани і біфеніли. У результаті отримують синтез-газ – суміш водню, метану, чадного газу, діоксиду вуглецю, водяної пари, оксидів азоту і сірки та твердий залишок, що його видаляють з реактора через спеціальну витіснювальну систему. Синтез-газ після очищення від домішок можна використовувати безпосередньо як паливо, як сировину у хімічній промисловості або для синтезу рідких вуглеводнів (метанол, бензин).

Цей метод утилізування ТПВ є найбільш перспективним для України, оскільки дозволяє одночасно вирішувати три важливих проблеми сьогодення, що стосуються:

- 1) екологічної безпеки, оскільки у перспективі дозволить відмовитися від звалищ та полігонів ТПВ у їх сьогоdnішньому вигляді;
- 2) енергетичної безпеки, оскільки дозволить частково покривати дефіцит рідких та газоподібних вуглеводнів в енергетиці;
- 3) часткового покриття дефіциту вуглеводневої сировини, що очікується невдовзі у хімічній промисловості.

Однією з найбільш сучасних способів поводження з відходами є механіко-біологічний спосіб, який дає змогу повної комплексної утилізації ТПВ щоденного утворення, накопичені застарілі відходи полігонів, промислових відходів та ін. Крім того, ця технологія дає можливість повністю утилізувати всі 100% ТПВ, які постачаються, та отримувати наступні продукти [13]:

1. RDF (Refuse-Derived Fuel), (CC3 - сухий стабільний залишок) - альтернативне паливо з теплотворною здатністю в три рази більше, ніж бурого вугілля, в кількості не менше 50% від загального обсягу ТПВ;
2. Вода - очищена, придатна для використання в сільському господарстві (зрошення), обслуговуванні потреб заводу тощо, в кількості близько 30% від вступника ТПВ.
3. Вторинна сировина: метали, скло, щебінь, в кількості близько 20% від вступника ТПВ.

Принципова схема наведена на рис. 7. За цією технологією ТПВ переробляються механіко-біологічним способом.

За технологією виділяється суха фракція ТПВ після біологічної сушки на автоматичній лінії та розділяються матеріали для повторного використання. Більше 50% ТПВ перетворюється таким чином у високоякісне вторинне паливо, так звану суху фракцію, яка використовується на підприємствах, що виробляють цемент, гіпс і інші будівельні матеріали, а також електростанціях для виробництва енергії [13].

ТПВ попередньо подрібнюються, що дозволяє в подальшому спростити процес сортування. Заповнення попереднього подрібнювача виконується автоматично краном з комп'ютерним управлінням. Контроль роботи заводського обладнання здійснюється з єдиного диспетчерського пункту одним черговим диспетчером.

Біологічна сушка ТПВ важлива операція подальшої переробки ТПВ. Для розділення та сортування ТПВ необхідно висушити. Наступним етапом є механічна обробка ТПВ. Висушені відходи транспортуються конвеєром до сепараторних агрегатів. Розподіл матеріалів відбувається для частинок різних розмірів на сортувальних пневматичних столах і повітряних сепараторах. Легкі матеріали, такі як папір, дерево, пластмаси, текстиль відокремлюються потоками повітря від важких інертних речовин, таких як скло, кераміка, каміння, метал. Деякі потоки матеріалів для більш ефективного поділу по щільності сепаруються в ще більш вузькі категорії крупності. Це виконується за допомогою віброгрохота. Конструкція подрібнювачів відрізняється високим ККД, довговічністю, а також низькими витратами на технічне обслуговування.

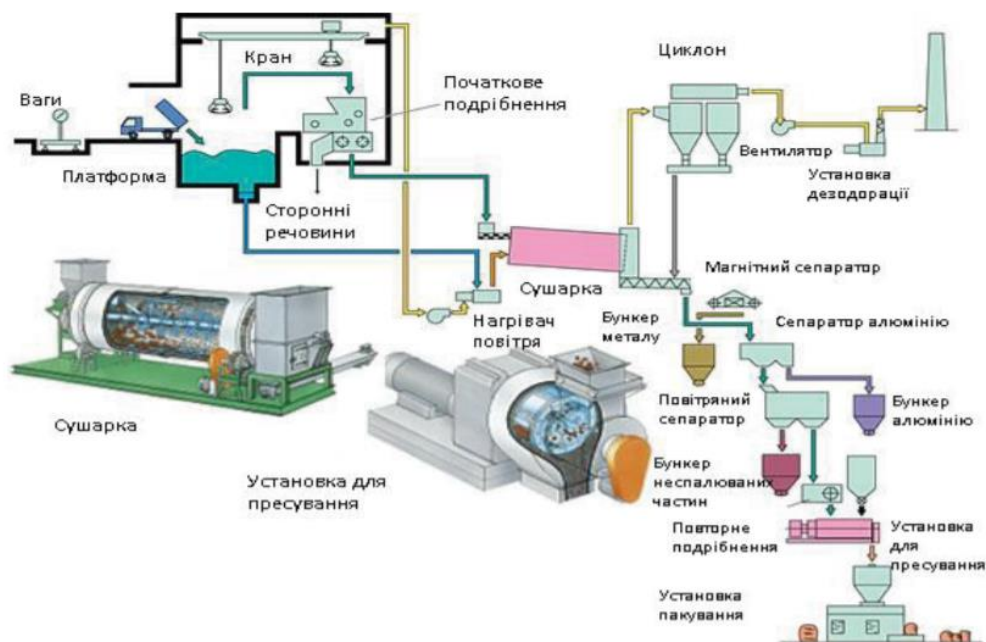


Рис. 7. Принципова схема установки для утворення альтернативного палива з ТПВ – сухого стабільного залишку (ССЗ) [13]

У комплексній комбінації різних матеріалів найчастіше зустрічаються композиційні матеріали, які не піддаються вищенаведеній технології поділу. До них відносяться насамперед використані батарейки і хлорвміщуючі синтетичні матеріали. Як при спалюванні так і розміщенні на звалищі в необробленому вигляді ці матеріали завдають шкоди навколишньому середовищу, тому вони мають бути вилучені вручну і утилізовані за допомогою спеціальних методів. Протягом транспортування сухих відходів виділяється пил. У комплексі з переробки ТПВ цей пил відсмоктується, фільтрується і підмішується до сухої фракції. Після завершення цих біологічних і механічних процесів корисні матеріали, такі як пластмаси, папір і дерево комплектуються в високоякісне паливо ССЗ. У пресах-грануляторах суха фракція переробляється в пухку масу або гранулюється, після чого вантажиться на автомобілі і транспортується для енергетичної утилізації в промислових енергетичних установках. Наприклад, ТЕС на бурому вугіллі. Одержане паливо ефективно застосовується в печах цементної промисловості [13].

Висновки. На основі існуючих технологій та методів термічної утилізації твердих побутових відходів слід зазначити, що найбільш оптимальним методом термічної переробки сміття для умов України є технологія сухого стабільного залишку (ССЗ).

Технологія утворення сухого стабільного залишку є на даний час найбільш екологічно чистим методом термічної утилізації твердих побутових відходів. Це зумовлено тим, що вище зазначена технологія передбачує не пряме спалювання сміття, а утворення із відходів паливної сировини, яка може використовуватись як альтернатива звичайній паливній сировині (нафтопродуктам, бурому вугіллю, і тд).

Література

1 Директива 2008/98/ЄС про відходи. Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_942#Text

- 2 Директива 1999/98/ЄС про захоронення відходів. Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_942#Text
- 3 Директива 2000/76/ЄС про спалювання відходів. Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_942#Text
- 4 Козій, О.І. Термічне знешкодження твердих побутових відходів: європейський досвід [Текст] / О.І Козій, М.П. Петрук, О.М. Вахула // Комунальне господарство міст - Харків, 2015. - 120(1). - С. 122-125.
- 5 Петрук М.П., Козій О.І. Утилізація та економічна безпека шлаків сміттєспалювальних заводів/ Тези Міжнародної конференції «Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» – Львів.- 2009. – с.77.
- 6 Petruk M., Lefevre A., Duval R, Luhowiak W., Sobol C. Proprietes physicochimiques des systemes cimentaires composes de chaux et d" additifs mineraux/Revue francaise de genie civil. 2/2003.- 14р.
- 7 Проблема сміття: від Європи до України Режим доступу <https://www.csi.org.ua/news/problema-smitty-a-vid-yevropy-do-ukrayiny/>
- 8 Екологічні та правові аспекти утилізації твердих побутових відходів / М. П. Петрук, О. І. Козій, О. М. Вахула, Р. А. Яцюк // Наше право. - 2017. - № 3. - С. 178. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nashp_2017_3_32
- 9 Тугов, А.Н. Опыт использования твердых коммунальных отходов в энергетике (обзор) [Текст] / А.Н.Тугов // Теплоэнергетика. - 2015.- № 12.- С. 13–22.
- 10 Потапов Н.И., Юдин А.Г. Наилучшие доступные технологии в области сжигания отходов/ Экологическая экспертиза, 2012,- с. 57-73.
- 11 Падалко О.В. Плазменная газификация отходов – правильный выбор/ ТБО, 2009.- № 6.- с. 38-45.
- 12 Incineration (Heat recovery) Plant Режим доступу. https://global.kawasaki.com/en/industrial_equipment/environment_recycling/waste/heat.html
- 13 «Кращі з доступних технологій для житлово-комунального господарства України». Керівництво з відбору технологій/Під редакцією С. Єрмілова. – К.: «Поліграф плюс», 2016. – 134 с.: іл.
- 14 «Як сміттєспалювальний завод у Відні став туристичною принадою – Україні на замітку» Режим доступу <https://ecotown.com.ua/news/YAk-smittyepalyuvalnyy-zavod-u-Vidni-stav-turystychnoyu-prynadoyu-Ukrayini-na-zamitku-/>
- 15 «Чи потрібні Україні сміттєспалювальні заводи?» Режим доступу <https://pay.vn.ua/articles/1114>

V. Chupa, O. Karpash,

A. Yavorskyi, P. Raiter

Ivano-Frankivsk National

Technical University of Oil and Gas

OVERVIEW OF THE CURRENT STATE OF SUSTAINABLE TECHNOLOGIES FOR ENERGY UTILIZATION OF SOLID WASTE

The review of existing technologies of solid waste disposal by methods of thermal disposal of garbage with the prospect of using thermal energy for industry and communal needs of the population is carried out. Methods of thermal disposal of waste from conventional incineration to the most modern technology of forming a stable dry residue are described. The regulatory framework for waste management in the European Union and in Ukraine is analyzed.

Thermal disposal (incineration) is the most effective way to combat the environmental threats of solid waste (SW). It makes it possible to reduce the amount of waste stored at landfills by dozens of times. Incinerators solve several problems that contribute to the normalization of the environment. Firstly, they process and destroy the large amount of garbage that the modern city leaves behind every day. Secondly, they produce thermal energy. And, thirdly, they significantly reduce the amount of solid waste that is transported to landfills.

It is recommended to use heat-treated solid waste as a fuel for industrial enterprises, which will reduce the amount of toxic waste and, as a consequence, the degree of their impact on the environment.

A promising method of thermal disposal of solid waste is the technology of formation of dry stable residue (DSR), with the subsequent use of the obtained fuel for industrial needs as an alternative to fossil fuels. With the help of DSR technology the formation of the most dangerous by-products – dioxanes and furans – is excluded with 100% disposal of solid waste.

Key words: solid waste, thermal disposal, incineration, methods of thermal disposal

References

- 1 Dyrektyva 2008/98/JeS pro vidkhody. Rezhym dostupu: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_942#Text
- 2 Dyrektyva 1999/98/JeS pro zakhoronennia vidkhodiv. Rezhym dostupu: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_942#Text
- 3 Dyrektyva 2000/76/ YeS pro spaliuvannia vidkhodiv. Rezhym dostupu: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_942#Text
- 4 Kozii, O.I. Termichne zneshkodzhennia tverdykh pobutovykh vidkhodiv: yevropeyskyi dosvid [Tekst] / O.I Kozii, M.P. Petruk, O.M. Vakhula // Komunalne hospodarstvo mist - Kharkiv, 2015. - 120(1). - S. 122-125.
- 5 Petruk M.P., Kozii O.I. Utylizatsiia ta ekonomichna bezpeka shlakiv smittiespaliuvalnykh zavodiv/ Tezy Mizhnarodnoi konferentsii «Zakhyst navkolyshnoho seredovyscha. Enerhooshchadnist. Zbalansovane pryrodokorystuvannia» – Lviv.- 2009. – s.77.
- 6 Petruk M., Lefevre A., Duval R, Luhowiak W., Sobol C. Proprietes physicochimiques des systemes cimentaires composes de chaux et d’’ additifs mineraux/Revue francaise de genie civil. 2/2003.- 14 p.
- 7 Problema smittia: vid Yevropy do Ukrainy Rezhym dostupu <https://www.csi.org.ua/news/problema-smittia-vid-yevropy-do-ukrainy/>
- 8 Ekolohichni ta pravovi aspekty utylizatsii tverdykh pobutovykh vidkhodiv / M. P. Petruk, O. I. Kozii, O. M. Vakhula, R. A. Yatsiuk // Nashe pravo. - 2017. - № 3. - S. 178. - Rezhym dostupu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nashp_2017_3_32
- 9 Tuhov, A.N. Opyt ispolzovanyia tverdykh kommunalnykh otkhodov v enerhetike (obzor) [Tekst] / A.N.Tuhov // Teploenerhetika. - 2015.- № 12.- S. 13–22.
- 10 Potapov N.Y., Yudin A.H. Nailuchshyie dostupnyie tekhnologii v oblasti szhyganiia otkhodov/ Ekologicheskaiia ekspertiza, 2012,- s. 57-73.
- 11 Padalko O.V. Plazmennaia gazyfikatsiia otkhodov – pravilnyi vybor/ TBO, 2009.- № 6.- s. 38-45.
- 12 Incineration (Heat recovery) Plant Rezhym dostupu. https://global.kawasaki.com/en/industrial_equipment/environment_recycling/waste/heat.html
- 13 «Krashchi z dostupnykh tekhnolohii dlia zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy». Kerivnytstvo z vidboru tekhnolohii/Pid redaktsiieiu S. Yermilova. – K.: «Polihraf plus», 2016. – 134 s.: il.
- 14 «Yak smittiespaliuvalnyi zavod u Vidni stav turystychnoiu prynadoiu – Ukraini na zamitku» Rezhym dostupu <https://ecotown.com.ua/news/YAk-smittiespalyuvalnyy-zavod-u-Vidni-stav-turystychnoyu-prynadoiu-Ukrayini-na-zamitku-/>
- 15 «Chy potrebnii Ukraini smittiespaliuvalni zavody?» Rezhym dostupu <https://pay.vn.ua/articles/1114>

ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ТУРИСТИЧНО-РЕКРЕАЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

УДК 502.3:379.85

DOI: 10.31471/2415-3184-2021-1(23)-124-134

Я. С. Коробейнікова

*Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу*

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТЕРИТОРІЙ ТУРИСТИЧНИХ ДЕСТИНАЦІЙ: ВИЗНАЧЕННЯ, МЕХАНІЗМИ ТА ПРОБЛЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

В статті узагальнено та систематизовано механізми забезпечення екологічної безпеки територій туристичних дестинацій, які функціонують в Україні. Актуальні дослідження у цій сфері стосуються розроблення теоретичних основ забезпечення сталості територій туристичних дестинацій, окремі публікації стосуються оцінки обсягів ресурсокористування, в першу чергу, земельних ресурсів в туристичній діяльності. Відсутні узагальнені висновки щодо особливостей застосування діючих механізмів забезпечення екологічної безпеки територій туристичних дестинацій. У статті проаналізовано основні екологічні проблеми розвитку туристичної інфраструктури та туристичної галузі загалом, що зумовлює необхідність обґрунтувати комплекс механізмів для забезпечення екологічної безпеки територій прибуття туристів. В статті систематизовано регулювальні, економічні, контролюючі та добровільні механізми, застосування яких дозволить забезпечити екологічну безпеку туристичних дестинацій. Регулюювальні механізми дозволяють зменшувати впливи на дестинації від туристичної діяльності шляхом встановлення та регулювання пропускнуго потенціалу території, встановлення лімітів та границь діяльності підприємств, що надають послуги туристам, через процедуру проведення оцінки впливів на довкілля туристичної діяльності, моніторинг стану довкілля та сталості територій. Економічні механізми забезпечення екологічної безпеки туристичних дестинацій: матеріальне стимулювання суб'єктів туризму, фінансова підтримка проектів, спрямованих на реалізацію екопроектів в туризмі, збалансованій податковій політиці та процедурах субсидування проектів збалансованого туризму. Основні контролюючі механізми забезпечення екологічної безпеки туристичних дестинацій полягають в реалізації дій щодо контролю діяльності суб'єктів туризму у площині виконання ними природоохоронного законодавства. Основні добровільні механізми забезпечення екологічної безпеки туристичних дестинацій: впровадження екологічного менеджменту в структуру загального управління, навчання туристів та місцевих жителів. Таким чином, застосування комплексу механізмів дозволить забезпечити екологічну безпеку територій туристичних дестинацій.

Ключові слова: екологічна безпека, туристичні дестинації, екологічні впливи, рекреаційне навантаження, механізми забезпечення екологічної безпеки.

Постановка проблеми. Сучасний туризм – це господарська сфера, яка розвивається більш швидкими темпами, ніж галузі виробничої сфери у постіндустріальному суспільстві. За прогнозами фахівців темпи зростання галузі туризму будуть залишатися високими, хоча глобальні і регіональні структури туризму змінюються з роками (в останні роки із-за тероризму, розвитку різноманітних захворювань, стихійних явищ, пандемії, в тому числі і covid-19 тощо). Програмні документи ООН та Світової туристичної організації вказують на важливість урахування екологічних аспектів розвитку туристичної діяльності в місцях прибуття туристів. Багаточисельні приклади в різних куточках світу показують руйнівні наслідки планування туристичних об'єктів без їх ретельного екологічного обґрунтування. Якість навколишнього середовища є необхідною умовою для розвитку туризму та є цінним природним ресурсом туризму.

Відомо, що частка деградації довкілля в результаті туристичної діяльності становить 5–7%, у світовому вимірі [1]. У регіонах, де туризм є галуззю спеціалізації, ці цифри значно більші. У 2019 році було здійснено більше 1500 млн міжнародних поїздок. Ці ж дані вказують, що зростання туризму відбувається за рахунок країн, що розвиваються [2]. Зі зростанням обсягів надання туристичних послуг, розширенням туристичної інфраструктури, екологічна ситуація на територіях в зв'язку з їх туристичним використанням може досягти загрозливого стану. В країнах зі слабким регулюванням ринкової економіки розвиток туризму може стати реальною загрозою для якості довкілля.

Динаміка розвитку туризму, наприклад, в Івано-Франківській області за останні роки показує зростання до 25% щорічно з 2015 до 2018 рр. та стабілізувалась на рівні 2.2 млн. осіб у 2018 році [3]. Хоча 2020 рік був провальний щодо туризму в регіоні, як і в світі через проблему COVID-19, після карантину очікується бум прибуттів в туристичні дестинації, де можна відновити здоров'я екологічно чистим довкіллям гір та екологічним харчуванням [4]. Тому подальший розвиток туризму взагалі можливий тільки на шляху його екологізації та знаходження балансу між економічним а соціальним розвитком з урахуванням екологічних чинників.

Актуальні наукові публікації у цій сфері стосуються, головним чином, формуванню концепцій, понятійного апарату та загальних принципів збалансованого розвитку туризму, тобто є дуже загальні та не конкретні, часом суперечливі. Практично не вирішеною проблемою в розвитку концепції стійкого розвитку туризму є розроблення механізмів (засобів) реалізації принципів збалансованості на практиці, в першу чергу екологічної складової сталого розвитку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На даний час сформовано науковий напрям щодо екологічної безпеки природних та природно-техногенних систем різного рівня. В працях Качинського А.Б., Рудька Г.І., Гошовського С.В., Шмандія В.М., Руденко С.В., Шкіци Л.Є., Данилишина Б.М., Косовцева В.О., Бінько І.Ф, Шестопалова В.М., Мальованого М.С. та ін. викладено науково-методичні підходи щодо забезпечення екологічної безпеки в природних та техногенно-природних системах, а також прикладні аспекти забезпечення екологічної безпеки. Розробляються методологічні та прикладні механізми досліджень техногенно змінених екосистем та забезпечення їх екологічної безпеки [5-11]. Менш дослідженими є питання управління екологічною безпекою в умовах техногенного навантаження, яке не носить вираженого екстремального характеру, наприклад, території туристичних дестинацій.

Екологічні аспекти розвитку туристичної сфери розглядаються фахівцями у контексті сталого розвитку туризму. Питання сталого розвитку туризму залишається актуальним у порядку денному світових зібрань з питань охорони навколишнього середовища та розвитку туризму. В Україні розроблена «Стратегія сталого розвитку туризму і курортів» [12]. Наукові публікації останніх років присвячені обґрунтуванню наукових засад збалансованого розвитку туризму, окремих аспектів забезпечення збалансованого розвитку туристичних регіонів [13-15]. У даних публікаціях визначені складові сталого розвитку туризму, окреслені основні екологічні проблеми, пов'язані з розширенням туристичної діяльності, особливості екологічних аспектів розвитку туризму в гірських туристичних дестинаціях. Акцентується, що забезпечення сталого розвитку територій рекреаційного призначення здійснюється через встановлення і підтримання рівноваги між збереженням природних, історико-культурних ресурсів, економічними інтересами і соціальними потребами та розвитком галузі туризму. У методичному посібнику автором викладені основні поняття та принципи сталого (збалансованого) розвитку туризму, характеризуються екологічні, економічні та соціальні аспекти його розвитку [16].

Дослідження екологічних аспектів розвитку туризму визначається науковою спільнотою як доволі новий напрям досліджень. У світовій науковій спільноті такі дослідження здійснювалися в рамках програми ООН з навколишнього середовища (UNEP). Найбільш відомі та цитовані праці, які висвітлюють екологічні наслідки туризму та його вплив на довкілля в цілому Голдена А. «Environment and Tourism» та Davies T., Cahill S., «Environmental Implications of the Tourism Industry» [17,18]. Доволі ґрунтовною є праця про основні напрями впливу туризму та готельної індустрії на довкілля «Environmental Effects of Tourism» [19], проте, як відомо, туристична діяльність не обмежується функціонуванням тільки готельного господарства. Більш детально у науковій літературі висвітлено проблеми відходів туристичних дестинацій та поводження з ними. У праці індійських авторів Nair S., Jayakumar C. розглядаються особливості управління відходами у межах територій розвитку сільського туризму. Автори наголошують на проблемі співвідношення розвитку сільського туризму та планування поводження з відходами у сільських населених

пунктах [20]. У праці Khajuria A, Yamamoto Y., Morioka T., обґрунтовано чинники, що впливають на обсяг утворення відходів на прикладі населених пунктів Японії [21]. Для нас є цінними праці румунського вченого Mihai F. про туризм як джерело утворення відходів в міських та сільських туристичних дестинаціях через територіальну близькість до України та подібність проблем пострадянського розвитку [22]. Аналіз впливу туризму на обсяг утворення відходів здійснено у статті групи авторів Mateu-Sbert J., Ricci-Cabello I., Villalonga-Olives E., Cabeza-Irigoyen E., дослідження досвіду країн ЄС у сфері поводження з відходами в межах територій розвитку туризму проводили Ezeah C., Fazakerley J., Byrne T. [23, 24]. Регіональні аспекти впливів туризму на довкілля висвітлені у працях Peterson C., Bashir S., Goswami S., Mitev T., Spasovski O. та стосуються окремих популярних дестинацій світу, які активно розвиваються, таких як Індонезія (о.Балі), країни Адріатичного узбережжя, Індія [25 – 27]. Українських авторів, які висвітлюють екологічні наслідки туристичної діяльності, доволі небагато і ці статті мають загальний характер. Окремі аспекти забезпечення екологічної безпеки у розвитку індустрії туризму, як складової її збалансованого розвитку, викладені у працях Воробйової О. А., Голод А. П., Караван Ю. В., Кучинської І. В. [28-31].

Постановка завдання. Деградація природних територій розвитку туризму викликала необхідність впровадження в туристичну практику системних заходів захисту природи. Оскільки туристична галузь має головним чином сезонний характер, кількість туристів на визначеній території в розпал сезону в декілька разів більша в порівнянні з «мертвим сезоном». Така ситуація приводить до нерівномірності антропогенного навантаження на екосистеми. Окремі дослідження наслідків туристичної діяльності для екосистем територій прибуття туристів були проведені щодо розрахунків обсягів та способів поводження з відходами туристичних дестинацій Івано-Франківської області [32]. Розраховані середні обсяги водоспоживання (водовідведення), споживання електроенергії в розрізі одного туриста в залежності від типу закладу розміщення [33]. Запропоновано при плануванні туристичних дестинацій проводити впровадження технологій екологічного менеджменту в практику рекреаційного природокористування [34]. Питання узагальнення та комплексного застосування механізмів забезпечення екологічної безпеки територій туристичних дестинацій продовжує бути актуальним.

Мета досліджень: обґрунтувати та систематизувати комплекс механізмів забезпечення екологічної безпеки територій туристичних дестинацій,

Об'єкт дослідження – туристичні дестинації як складні природно-техногенні системи екологічних досліджень. *Предмет дослідження* – механізми забезпечення екологічної безпеки територій туристичних дестинацій.

Виклад основного матеріалу. Антропогенний вплив на екосистеми характерний у всіх секторах туріндустрії і видах туризму та спостерігається в переважній більшості туристичних дестинацій. Саме туристичні дестинації різного ієрархічного рівня є об'єктами екологічних досліджень. Термін «туристична дестнація» у практиці туризмознавчих досліджень появився не так давно. Найбільш відомі праці Лейпера, Купера, Флетчера, в яких дано визначення туристичних дестинацій та їх систематизація. В більш загальному вигляді туристичною дестинацією вважають територію прибуття та місцезнаходження туристів. За визначенням Н.Лейпера туристична дестинація – це деяке місце прибуття туристів та розглядається як географічна категорія [35]. Всесвітня туристична організація дає таке визначення туристичній дестинації: «дестинація – це фізичний простір, в якому турист перебуває не менше доби. Він містить туристичні продукти, такі як послуги та атракції, а також туристичні ресурси в межах хоча б однієї доби перебування. Цей простір має фізичні та адміністративні межі, які визначають форму його управління, імідж та репутацію, що впливають на його конкурентоздатність на туристичному ринку». Слід відзначити ґрунтовні праці вітчизняних вчених у даній галузі Т. Ткаченко, Л. Дядечко, А. Головчан, С. Мельниченко, Ю. Леонтьєвої, Ю. Мальцевої та ін. [36-40]. У праці Матрищенко Н. С. туристська дестинації представлена як «центр (територія) зі всілякими зручностями, засобами обслуговування і послугами для забезпечення всіляких потреб туристів». На його думку, зараз дестинації – це географічна територія, що має певні межі, яка може залучати і задовольняти потреби досить широкої групи туристів [41].

Туристичну дестинацію в більшості сучасних трактувань розглядають як економічну та соціально-економічну систему, як об'єкт інтегрованого управління. В її межах функціонують та об'єднуються всі елементи для надання послуг туристу. Туристична дестинація виникає саме як географічна одиниця, як територія, маршрут або приурочений до певної місцевості об'єкт, що є

місцем туристичного інтересу ("туристичним напрямом"), інші складові, такі як елементи туристичної інфраструктури, слід вважати "надбудовними", поступово розкривають суть туристської дестинації в ході її еволюційного розвитку. Таким чином, туристична дестинація визначається як економіко-географічна категорія, де базою її функціонування виступає територіальний ресурс з можливими проблемами природовикористання, в тому числі і екологічними. Незважаючи на доволі широке та деталізоване трактування поняття туристичної дестинації, поза увагою залишаються екологічні аспекти її оптимального функціонування. Туристична дестинація, в контексті її збалансованого розвитку, є природно-техногенною системою туристично-рекреаційного типу, зумовлена спеціалізацією туристичної діяльності та чинниками впливу на довкілля, що визначатимуть її екологічну безпеку.

В контексті українського природоохоронного законодавства екологічна безпека туристичних дестинацій – це такий стан навколишнього природного середовища територій прибуття туристів, при якому забезпечується попередження погіршення екологічної обстановки та виникнення небезпеки здоров'я людей. Об'єкти туристичної інфраструктури можна характеризувати як техногенні об'єкти, які можуть негативно впливати на довкілля територій прибуття туристів. Очевидно, що ці об'єкти не завдають значної шкоди навколишньому середовищу, проте, у випадку зростання попиту на екологічно чисте довкілля територій прибуття необхідність застосування механізмів забезпечення екологічної безпеки в туристичних дестинаціях стає необхідним елементом управління цими територіями.

Впливи на довкілля туристичних дестинацій зростають з розвитком галузі та постає необхідність узагальнити та систематизувати механізми реалізації забезпечення екологічної безпеки в межах територій туристичної діяльності.

Регульовальні механізми застосовують для зменшення впливів на дестинації шляхом регулювання пропускнуго потенціалу території, встановлення лімітів та границь діяльності підприємств, що надають послуги туристам через встановлення екологічних нормативів гранично допустимих викидів та скидів у довкілля, а також процедури проведення оцінки впливів на довкілля туристичної діяльності. Регулювання кількості туристів на території – важливий фактор збалансованого розвитку територій туристичного використання. Територіальні громади та природоохоронні структури, в межах яких розвивається туризм, можуть регулювати потоки туристів, а також пропонувати альтернативні варіанти проходження маршрутів та оптимізувати туристичні потоки кількісно. Фактор надмірної кількості туристів («overtourism») необхідно враховувати при плануванні населених пунктів рекреаційного призначення. Це дозволить вирішувати проблему овертуризму, яка актуалізувалась в останні роки в багатьох туристичних дестинаціях. Наприклад, 60% всієї готельної інфраструктури Івано-Франківської області розташовані в межах однієї Яремчанської територіальної громади.

Згідно закону України «Про оцінку впливу на довкілля» об'єкти туризму і рекреації належать до другої категорії об'єктів та проєктованої діяльності, які можуть мати значний вплив на довкілля. Процедура ОВД здійснюється на великих туристичних об'єктах та інфраструктурних проєктах, а також проєктах загальної інфраструктури [39]. Проте, поза увагою залишаються менші об'єкти (наприклад готельні комплекси до 50 номерів), які при значній концентрації на території можуть чинити суттєвий вплив на довкілля.

Екологічні нормативи є єдиними та обов'язковими для всіх об'єктів, в тому числі і туристичних підприємств, що здійснюють викиди та скиди. Згідно закону України «Про охорону навколишнього природного середовища» у разі необхідності для рекреаційних територій можуть встановлюватися більш суворі норми гранично-допустимих концентрацій забруднюючих речовин та інших шкідливих впливів на навколишнє середовище [40]. Встановлення лімітів та границь щодо впливів на довкілля об'єктів туристичної галузі розглядається як дієвий механізм забезпечення екологічної безпеки туристичних дестинацій, які науково обґрунтовуються та контролюються.

Основні економічні механізми забезпечення екологічної безпеки туристичних дестинацій полягають в матеріальному стимулюванні, грошових винагородах, фінансовій підтримці екологічних проєктів, збалансованій податковій політиці та процедурах субсидування екопроєктів, пов'язаних з туризмом, а також система штрафів щодо порушення природоохоронного законодавства. Туристичні еко-податки та платежі – це такі податки, які платять туристи і ці суми направляються для вирішення екологічних проблем територій. Така практика розповсюджена у найбільш екологічно вразливих туристичних дестинаціях світу, наприклад, т.зв. податок на

занурення туриста (заняття дайвінгом) на Балеарських островах і становить приблизно 2 Є. В Україні з економічних механізмів найбільш поширена практика накладання штрафів за порушення природоохоронного законодавства, проте застосування такого механізму щодо суб'єктів туризму доволі обмежене.

Основні контролюючі механізми забезпечення екологічної безпеки туристичних дестинацій полягають в реалізації дій щодо контролю діяльності суб'єктів туризму у площині екологічної безпеки територій туристичних дестинацій. Проведення екологічного аудиту – це важливий інструмент управління, який полягає в систематичній, задокументованій періодичній і об'єктивній оцінці організації щодо відповідності системи управління, обладнання завданням підтримання безпеки навколишнього середовища та екологічній політиці підприємств.

В системі моніторингу довкілля можуть здійснюватися спостереження за екологічними параметрами забруднення та показниками – індикаторами збалансованого розвитку територій. На першому етапі необхідно провести інвентаризацію основних туристичних ресурсів, визначення об'єктів моніторингу, вибір оціночних параметрів, режиму спостережень. В процесі прогнозування стану середовища туристичних дестинацій визначають можливі негативні тенденції його розвитку в різних аспектах, наприклад, підвищення функціональної небезпеки туристично-рекреаційного обладнання, погіршення екологічного стану територій туристичних дестинацій, зниження атрактивності туристичних об'єктів, тощо. В сукупності ці процеси можуть привести до деградації туристичних дестинацій, зменшити потік туристів. Результати прогнозування можуть бути фактографічною основою для розробки заходів управління станом довкілля територій прибуття туристів. Державна система моніторингу України не виділяє моніторинг туристичних дестинацій в окрему підсистему, як особливо важливу у природоохоронній діяльності, проте, національні парки, як складові територій прибуття туристів в тій чи іншій мірі проводять спостереження екологічних показників.

Основні добровільні механізми забезпечення екологічної безпеки туристичних дестинацій базуються на процедурах, є добровільними для всіх учасників туристичного процесу: суб'єктів туризму, туристів, місцевого населення, місцевих органів управління тощо. Це впровадження екологічного менеджменту в структуру загального управління підприємствами туризму, навчання туристів та місцевих жителів. Професійний екологічний менеджмент на підприємствах туристичної галузі, особливо закладів гостинності, наприклад, передбачає як правило, заходи щодо енергоощадності, зменшення водоспоживання, мінімізація відходів, використання екологічно чистих матеріалів. Проте, на сьогодні, це «історія» більше про підвищення престижу готелю, позиціонування його як дружнього до довкілля, в меншій мірі – для зменшення плати за використання ресурсів.

Сертифікація – це процес оцінки та моніторингу, який письмово підтверджує, що комерційна діяльність, продукт, процес, сервіс чи система управління відповідає визначеним вимогам. У практиці екологічної сертифікації закладів туризму існує біля 30 систем екологічного маркування, найбільш популярні серед них – «Green Key», «Green Way», розроблені для закладів розміщення, «Blue Flag» – для пляжів пристаней. В Україні розроблена методика добровільної екологічної сертифікації садиб сільського туризму «Зелена садиба». Процедури сертифікацій суб'єктів туризму, в тому числі і екологічна сертифікація є добровільною. Екологічна сертифікація розглядається готельєрами більше як іміджева процедура, а наявність екологічного сертифікату – маркетинговий хід.

В системі освіти та просвіти навчання туристів та місцевих жителів може відбуватись у різних формах. Це реалізація просвітницьких програм, соціальні реклами, друкована продукція, робота волонтерів та ін. Особливої актуальності ця діяльність набуває в процесі організації екологічних турів, коли відбувається відвідування природних, природно-заповідних територій.

На основі проаналізованих засобів у галузі охорони середовищ, що можуть бути застосовані в межах територій прибуття туристів, пропонуємо їх класифікувати на регульовальні, економічні, контролюючі та додаткові механізми забезпечення екологічної безпеки туристичних дестинацій (рис.).

Таким чином, проаналізовані механізми забезпечення екологічної безпеки територій туристичних дестинацій в більшості мають нормативно-правове підґрунтя та процедури забезпечення. Їх комплексне застосування дозволить мінімізувати впливи об'єктів туристичної інфраструктури та потоків туристів на довкілля туристичних дестинацій. Проблема полягає в

тому, що на сьогодні туризм в Україні не розглядається як потенційно шкідлива для довкілля галузь та не є об'єктом уваги фахівців з охорони навколишнього середовища.

Застосування на практиці комплексу механізмів дотримання екологічної безпеки територій прибуття туристів є частиною системи управління туристичними дестинаціями. Управління туристичними дестинаціями розглядають як практичну діяльність в галузі регулювання туристичних дестинацій у відповідності з потребами господарства та туриста на базі об'єктивних законів природи та соціально-економічного розвитку. Успішність реалізації управлінських заходів з точки зору екологічної сталості визначається ефективним функціонуванням туристичних дестинацій, а саме позитивною динамікою розвитку туристичної галузі та суміжних галузей, уникнення овертуризму, сприятливим екологічним станом територій туристичних дестинацій та безпечним використанням туристичних ресурсів.

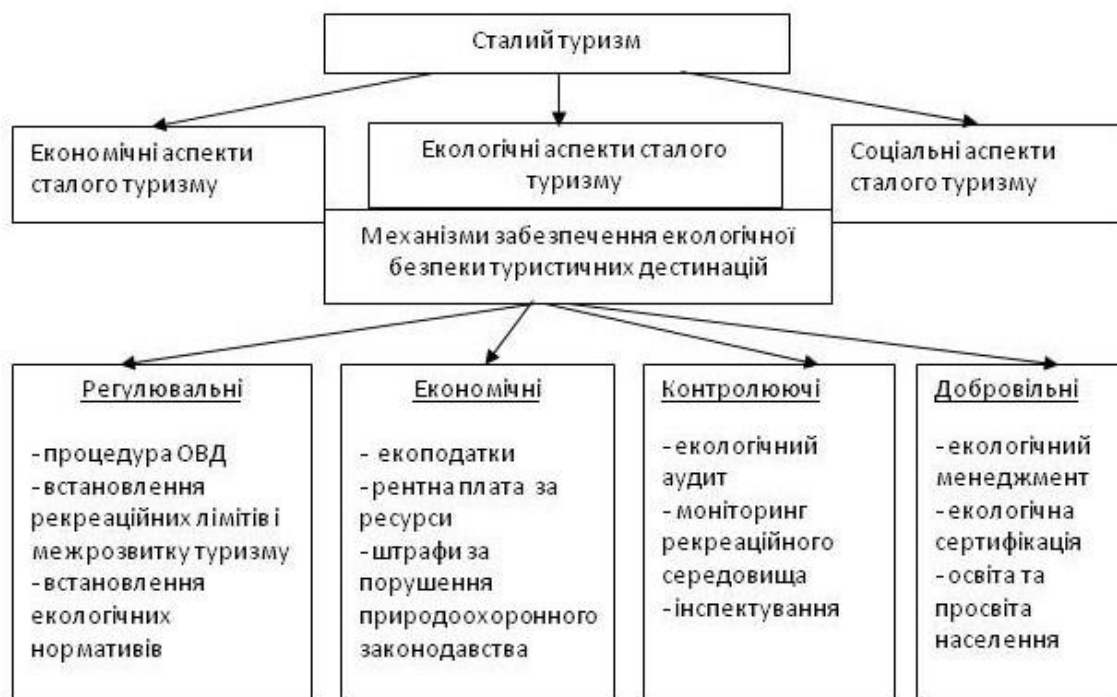


Рис. Механізми забезпечення екологічної безпеки територій туристичних дестинацій

Висновки. Серед викликів, які постали перед туристичною сферою в Україні проблема забезпечення належного екологічного стану територій туристичних дестинацій – одна з пріоритетних. Сприятливий екологічний стан територій прибуття розглядається як рівноцінний з іншими чинник розвитку галузі та як цінний туристичний ресурс, попит на який буде зростати в умовах екологічних криз та пандемій .

На основі аналізу наукових публікацій у статті зроблений висновок, що проблема екологічних наслідків туристичної діяльності розглядається в контексті сталого розвитку туризму та територій прибуття. В статті узагальнена інформація про екологічні наслідки туристичної діяльності в Україні, які проведені вченими, а також автором в колаборації з іншими науковцями та самостійно, що дозволило обґрунтувати комплекс механізмів, для забезпечити екологічної безпеки територій прибуття туристів. В статті розглядаються механізми (інструментарій): регульовальні, економічні, контролюючі та добровільні, застосування яких дозволить забезпечити екологічну безпеку туристичних дестинацій.

Наукові дослідження щодо впливів техногенного навантаження на екосистеми туристичних дестинацій є перспективним науковим напрямком в галузі екологічної безпеки. Перспективними також вважаємо удосконалення існуючих алгоритмів, в тому числі і нормативно-правового характеру, для забезпечення належного екологічного стану територій прибуття туристів, а також їх застосування в окремих туристичних секторах.

Література

- 1 Holden, A. *Environment and Tourism*, 3 – ТН, New York: Routledge, 2016.- 302 p.
- 2 UN WTO: *Tourism Industry 2019*. [Електронний ресурс].-2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.reportlinker.com/report/search?dates=1y&keywords=Tourism%20Industry%202019&mode=public> (дата звернення 6.02.2021).
- 3 Відділ туризму управління міжнародного співробітництва, євроінтеграції, туризму і інвестицій Івано-Франківської облдержадміністрації [Електронний ресурс].-2019. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.if.gov.ua/news/27916> (дата звернення 15.11.2020).
- 4 Пандемія COVID-19 та її наслідки для туризму в Україні. Видання НТОУ. [Електронний ресурс].-Режим доступу до ресурсу: www.ntoukraine.org/assets/files/EBRD-COVID19-Report-UKR.pdf (дата звернення 6.02.2021).
- 5 Качинський А.Б. Екологічна безпека України: системний аналіз перспектив покращення.– К.: НІСД, 2001.– 312с.
- 6 Качинський А.Б., Хміль Т.А. Екологічна безпека України: аналіз, оцінка та державна політика. – К.: НІСД, 1997. – 127 с.
- 7 Екологічна безпека техноприродних геосистем у зв'язку з катастрофічним розвитком геологічних процесів /С.В. Гошовський, Г.І. Рудько, Б.М. Преснер – К.: ЗАТ “НІЧЛАВА”, 2002.– 624 с.
- 8 Косовцев В.О., Білько І.Ф. Національна безпека України: проблеми та шляхи реалізації пріоритетних національних інтересів. – К.: НІСД, 1996. – 61 с.
- 9 Дорогунцов С.И., Ральчук А.Н. Управление техногенно-экологической безопасностью в контексте парадигмы устойчивого развития: концепция системно-динамического решения. – К.: Наукова думка, 2002. – 200 с.
- 10 Шкіца Л., Яцишин Т., Лях М., Сидоренко О., Інноваційні підходи до формування екологічної безпеки на об'єктах видобутку нафти та газу. ІОР Conf. Сер. : Матер. Наук. Інж. 749, 012009. 2020. doi: 10.1088 / 1757-899X / 749/1/012009
- 11 Шмандій В.М. Управління екологічною безпекою на регіональному рівні(теоретичні та практичні аспекти). Автореферат дис... д-технічн. наук. – Х., 2004. –36 с.
- 12 Стратегія сталого розвитку туризму і курортів в Україні на період до 2026 року. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/168-2017-%D1%80#Text> (дата звернення 15.02.2021)
- 13 Воробійов О.А. Проблеми природокористування та сталого розвитку в рекреаційно-туристичній сфері: монографія /О.А.Воробійов, І.М.Дишловський, С.К. Харічков.- Одеса: ШПРЕЕД НАН України,2005.- 374 с.
- 14 Ткаченко Т.І. Сталий розвиток туризму: теорія, методологія, реалії бізнесу: монографія. 2 вид. випр. допов. – К:КНТУ, 2009. – 463 с.
- 15 Корж Н.В. Формування системи економічної безпеки індустрії туризму як складової стійкого розвитку туризму в Україні [Електронний ресурс] / Н.В. Корж, О.В. Заноско // Економіка. Управління. Інновації. – Житомир, 2011. – №2(6). – Режим доступу: http://tourlib.net/statti_ukr/korzhh.htm (дата звернення 1.02.2021).
- 16 Автор . Стратегія сталого розвитку туризму: навчальний посібник.– Івано–Франківськ: ІФНТУНГ, 2016. – 257 с.
- 17 Holden, A. *Environment and Tourism*, New York: Routledge. 2006. 92 p.
- 18 Davies, T., and Cahill, S. *Environmental Implications of the Tourism Industry*. Washington, DC. 2000. 49 p.
- 19 Ghulam Rabbany, Md., Afrin, S., Rahman, A., Islam, F., and Hoque, F. *Environmental Effects of Tourism*. American Journal of Environment, Energy and Power Research. 2013. Vol. 1, No. 7. pp. 117-130.
- 20 Nair, Shibu, & Jayakumar, C. *A Handbook on Waste Management in Rural Tourism Areas – A Zero Waste Approach*. United Nations Development Programme. 2008. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.pgsi.org/pdf/Handbook-on-Zero-Waste-UNDP-82672211.pdf> (дата звернення 1.02.2021).
- 21 Khajuria, A., Yamamoto, Y., and Morioka, T. *Estimation of municipal solid waste generation and landfill area in Asian developing countries*, Journal of Environmental Biology. 2010, 31(5), pp. 649–654.

- 22 Mihai F. Tourism implications for local waste management. Case study: Neamț County, Romania. *Present Environment and Sustainable Development*. 2013. Vol. 7 (1). pp. 214-221.
- 23 Mateu-Sbert J., Ricci-Cabello I., Villalonga-Olives E., Cabeza-Irigoyen E. The Impact of Tourism is Municipal Solid Waste Generation: The Case of Menorca Island (Spain). *Waste Management*. 2013. 33. pp. 2589-2593.
- 24 Ezeah C., Fazakerley J. and Byrne T. Tourism Waste Management in the European Union: Lessons Learned from Four Popular EU Tourist Destinations. *American Journal of Climate Change*. 2015. 4. p. 431-445.
- 25 Peterson, C. Assessment of Solid Waste Management Practices and Its Vulnerability to Climate Risks in Maldives Tourism Sector, Report submitted to Ministry of Tourism, Arts and Culture. 2013, 19 p.
- 26 Bashir, S, and Goswami, S *Tourism induced challenges in municipal solid waste management in hill towns: Case of Pahalgam*. *Procedia Environmental Sciences*. 2016, 35, pp. 77-89.
- 27 Mitev, T., and Spasovski, O. *Calculation of necessary landfill area and analysis of deposition by layers for the newly selected location for the communal solid waste landfill*. *Engineering, Ecology and Materials in the Processing Industry*, 09-11 March 2011, Jahorina, Bosnia and Herzegovina. 2011. pp. 1012-1016.
- 28 Воробйова О. А. Екологічна безпека як складова сталого розвитку рекреаційно-туристичних територій. Сталій розвиток та екологічна безпека суспільства в економічних трансформаціях : матеріали Третьої Всеукр. наук.-практ. конф. (Бахчисарай, 15-16 вер. 2011 р.). Сімферополь : Фенікс, 2011. С. 46-48.
- 29 Голод А. П., Новосад З. П. Екологічна безпека туризму в регіоні: суть та шляхи забезпечення. *Науковий вісник НЛТУ. Львів : РВВ НЛТУ України*, 2012. Вип. 22.3. С. 84-88.
- 30 Караван Ю.В. Екологічні аспекти сталого розвитку туризму: Збірник матеріалів міжнародної науково-практичної конференції «Стратегія розвитку туризму у 21 ст. у контексті вирішення глобальних проблем сучасності. Львів 28.5.2014 р.- Львів:ЛПЕТ,2014.- С.265-271.
- 31 Кучинська І.В. Туризм в умовах глобальної екологічної кризи:сучасні виклики і перспективи розвитку: збірник матеріалів міжнародної науково-практичної конференції «Стратегія розвитку туризму у 21 ст. у контексті вирішення глобальних проблем сучасності». Львів, 28.05.2014 р.- Львів:ЛПЕТ,2014.- С.291-301.
- 32 Murava J, Автор The analysis of the waste problem in tourist destination on the example of Carpathian region in Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*. Volume 17, Issue 2, Apr, 2016, P. 43–51.
- 33 Автор Екологічні впливи закладів гостинності на довкілля. Матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції — Екологічна безпека об'єктів туристично-рекреаційного комплексу. – Львів : ЛДУБЖД, 2019. – С. 150 – 153.
- 34 Автор, Юрас Ю.І. Проблеми туристичного ресурсокористування в гірських об'єднаних територіальних громадах Івано-Франківської області // Екологічна безпека і збалансоване ресурсокористування: Науково-технічний журнал. – 2019. – С. 111–119.
- 35 Leiper, N. *Tourism Management*. 3d ed. / N. Leiper. – Sydney: Pearson Education Australia, 2004. – 326 p.
- 36 Головчан А.І. Теоретико-методологічні підходи до визначення сутності туристичних дестинацій та управління ними [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.nbu.gov.ua/2009_27/24.pdf (дата звернення 11.02.2021).
- 37 Дядечко Л.П. Економіка туристичного бізнесу: навч. пос./ Л.П. Дядечко. – Донецьк: ДонДУЕТ, 2006. – 224 с.
- 38 Мельниченко С.В. Управлінський механізм розвитку туристичної дестинації [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: http://www.nbu.gov.ua/portal/Soc_Gum/Tiru/2009_27/24.pdf. (дата звернення 11.02.2021).
- 39 Леонтьева Ю.Ю., Тимощенкова О.А. региональная туристическая дестинация и ее социально-экономическое развитие [Електронний ресурс].- Режим доступу до ресурсу: <http://cyberleninka.ru/article/n/regionalnaya-turistskaya-destinatsiya-i-eyo-sotsialno-ekonomicheskoe-razvitiye#ixzz3UXOORTK5> (дата звернення 11.02.2021).
- 40 Мальцева Ю.Н., Влащенко Н.Н. Подходы к определению туристической дестинации [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: http://eprints.kname.edu.ua/view/year/2011.type.html#group_conference=5Fitem (дата звернення 11.02.2021).

41 Матрышенко Н.С. Кластерный подход к пространственному развитию туристских дестинаций региона (на примере Приморского края) /Н.С. Матрышенко.- Экономические науки. – 2010. – №1. – С.143-147.

Ya. Korobeinykova

*Ivano-Frankivsk National
Technical University of Oil and Gas*

ENVIRONMENTAL SAFETY OF TERRITORIES OF TOURISM DESTINATIONS: DEFINITIONS, MECHANISMS, AND CHALLENGES

The article summarizes and systematizes the mechanisms for ensuring environmental safety of the territories of different tourism destinations in Ukraine. The relevant studies in this area refer to the development of theoretical foundations for ensuring sustainability of the territories of tourism destinations and some publications deal with the assessment of the volume of resource usage (primarily land resources in tourism activities). There are no generalized conclusions regarding the peculiarities of using the available mechanisms for ensuring environmental safety of the territories of tourism destinations. The article analyzes the main environmental problems of the development of tourism infrastructure and tourism industry in general, which makes it necessary to substantiate a set of mechanisms for ensuring the environmental safety of tourism territories. Furthermore, it systematizes the regulatory, economic, control, and voluntary mechanisms, the utilization of which will ensure the environmental safety of tourism destinations. The regulatory mechanisms make it possible to reduce the impacts of tourism activities on various destinations by establishing and regulating the capacity of a territory, as well as by setting the limits and boundaries for the activities of the enterprises providing tourism services, with the help of assessing the impacts of tourism activities on the environment and monitoring the state of the environment and sustainability of territories. The economic mechanisms for ensuring environmental safety of tourism destinations include the following: financial stimulation of tourism entities, financial support of the projects aimed at implementing the eco-projects in tourism, balanced tax policy, and procedures for subsidizing the balanced tourism projects. The main control mechanisms for ensuring environmental safety of tourism destinations consist in the implementation of the actions to control the activities of tourism entities based on their compliance with environmental legislation. The major voluntary mechanisms for ensuring environmental safety of tourism destinations include the following: introduction of environmental management into the general management structure and training of tourists and local residents. Thus, using the set of mechanisms will ensure environmental safety of the territories of tourism destinations.

Key words: environmental safety, tourism destinations, environmental impacts, recreational load, mechanisms for ensuring environmental safety.

References

- 1 Holden, A. Environment and Tourism, 3 – th , New York: Routledge, 2016.- 302 p.
- 2 UN WTO: Tourism Industry 2019. [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu do resursu: <https://www.reportlinker.com/report/search?dates=1y&keywords=Tourism%20Industry%202019&mode=public> (accessed on 6.02.2021).
- 3 Viddil turyzmu Upravlinnia zovnishnikh ekonomichnykh zviazkiv i turyzmu Ivano-Frankivskoi oblasti. – 2020. – [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu do resursu: <http://www.if.gov.ua/news/27916> (accessed on 15.11.2020)
- 4 Pandemiia COVID-19 ta yii naslidky dlia turyzmu v Ukraini. Vydannia NTOU. – 2020. – [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu do resursu: www.ntoukraine.org/assets/files/EBRD-COVID19-Report-UKR.pdf (accessed on 6.02.2021).
- 5 Kachynskiy A.B. Ekolohichna bezpeka Ukrainy: systemnyi analiz perspektyv pokrashchennia. K.: NICD, 2001.– 312c.
- 6 Kachynskiy A.B., Khmil T.A. Ekolohichna bezpeka Ukrainy: analiz, otsinka ta derzhavna polityka. – K.: NICD, 1997. – 127 c.
- 7 Ekolohichna bezpeka tekhnopryrodnykh heosystem u zviazku z katastrofichnym rozvytkom heolohichnykh protsesiv / S.V. Hoshovskiy, H.I. Rudko, B.M. Presner – K.: ZAT “NICH LAVA”, 2002.– 624 s.

- 8 Kosovtsev V.O., Binko I.F. Natsionalna bezpeka Ukrainy: problemy ta shlyakhy realizatsii priorytetnykh natsionalnykh interesiv. – K.: NISD, 1996. – 61 s.
- 9 Dorogunczov S.Y., Ralchuk A.N. Upravlenie tekhnogenno-ekologicheskoi bezopasnostiu v kontekste paradigmy ustoychivogo razvitiia: kontseptsiiia sistemno-dinamicheskogo resheniia. – K.: Naukova dumka, 2002. – 200 s.
- 10 Shkitsa L., Yatsyshyn T., Liakh M., Sydorenko O., Innovatsiini pidkhody do formuvannia ekolohichnoi bezpeky na ob'iektakh vydobutku nafty ta hazu. IOP Conf. Ser. : Mater. Nauk. Inzh. 749, 012009 (2020). doi: 10.1088 / 1757-899X / 749/1/012009
- 11 Shmandii V.M. Upravlinnia ekolohichnoiu bezpekoiu na rehionalnomu rivni (teoretychni ta praktychni aspekty). Avtoreferat dys... d-tekhnichn. nauk. – Kh., 2004. – 36 s.
- 12 Stratehiia staloho rozvytku turyzmu i kurortiv v Ukraini.- Rezhym dostupu do resursu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/168-2017-%D1%80#Text> (accessed on 15.02.2021).
- 13 Vorobiov O.A. Problemy pryrodokorystuvannia ta staloho rozvytku v rekreaciino-turystychnii sferi: monohrafiia /O.A.Vorobiov, I.M.Dyshlovskyyi, S.K. Kharichkov.- Odesa: ShPREED NAN Ukrainy,2005.- 374 s.
- 14 Tkachenko T.I. Stalyi rozvytok turyzmu: teoriia, metodolohiia, realii biznesu: monohrafiia. 2 vyd. vypr. dopov. – K:KNTU, 2009.-463 s.
- 15 Korzh N.V. Formuvannia systemy ekonomichnoi bezpeky industrii turyzmu yak skladovoi stiikoho rozvytku turyzmu v Ukraini [Elektronnyi resurs] / N.V. Korzh, O.V. Zanosko // Ekonomika. Upravlinnia. Innovacii. – Zhytomyr, 2011. – #2(6). – Rezhym dostupu do resursu: http://tourlib.net/statti_ukr/korzh.htm (accessed on 6.02.2021).
- 16 Korobeinykova Ya.S. Stratehiia staloho rozvytku turyzmu: navchalnyi posibnyk.– Ivano-Frankivsk: IFNTUNG, 2016. – 257 s.
- 17 Holden, A. Environment and Tourism, New York: Routledge. 2006. 92 p.
- 18 Davies, T., and Cahill, S. (2000) Environmental Implications of the Tourism Industry. Washington, DC. 49 p.
- 19 Ghulam Rabbany, Md., Afrin, S., Rahman, A., Islam, F., and Hoque, F. Environmental Effects of Tourism. *American Journal of Environment, Energy and Power Research*. 2013, Vol. 1, No. 7. pp. 117-130.
- 20 Nair, Shibu, & Jayakumar, C.. A Handbook on Waste Management in Rural Tourism Areas – A Zero Waste Approach. United Nations Development Programme. 2008. Retrieved from: <http://www.pgsi.org/pdf/Handbook-on-Zero-Waste-UNDP-82672211.pdf> (accessed on 6.02.2021).
- 21 Khajuria A., Yamamoto Y.,Morioka T. *Estimation of municipal solid waste generation and landfill area in Asian developing countries*, Journal of Environmental Biology, 2010, 31(5), pp. 649–654.
- 22 Mihai F. Tourism implications for local waste management. Case study: Neamț County, Romania. Present Environment and Sustainable Development. 2013, Vol. 7 (1). pp. 214-221.
- 23 Mateu-Sbert J., Ricci-Cabello I., Villalonga-Olives E., Cabeza-Irigoyen E. The Impact of Tourism is Municipal Solid Waste Generation: The Case of Menorca Island (Spain). *Waste Management*. 2013., 33. pp. 2589-2593.
- 24 Ezeah C., Fazakerley J., Byrne T. Tourism Waste Management in the European Union: Lessons Learned from Four Popular EU Tourist Destinations. *American Journal of Climate Change*. 2015, 4. p. 431-445.
- 25 Peterson C. Assessment of Solid Waste Management Practices and Its Vulnerability to Climate Risks in Maldives Tourism Sector, Report submitted to Ministry of Tourism, Arts and Culture. 2013. 19 p.
- 26 Bashir S. Goswami S *Tourism induced challenges in municipal solid waste management in hill towns: Case of Pahalgam*. *Procedia Environmental Sciences*. 2016, 35, pp. 77-89.
- 27 Mitev T., Spasovski O. *Calculation of necessary landfill area and analysis of deposition by layers for the newly selected location for the communal solid waste landfill*. Engineering, Ecology and Materials in the Processing Industry, 09-11 March 2011, Jahorina, Bosnia and Herzegovina. 2011. pp. 1012-1016.
- 28 Vorobiova O.A. Ecological safety as a part of sustainable development of tourist and recreation areas. Stalyi rozvytok ta ekolohichna bezpeka suspilstva v ekonomichnykh transformatsiiah: materialy tretioi Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii [Sustainable development and ecological safety of society in the process of economic transformations:Proceedings of the 3rd Allukrainian science-and-practical conference]. Feniks, Simferopol, 2011. S.46-48.

29 Holod A.P., Novosad Z.P. Ecological safety of tourism in the region: nature and ways of implementation. *Naukovyi Visnyk NLTU Ukrainy*. . 2012. Lviv, no. 22, S.84-88.

30 Karavan Iu.V. Ecological aspects of sustainable tourism development. Zbirnyk materialiv prats mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii “Stratehiia rozvytku turyzmu u 21 st. u konteksti vyrishennia hlobalnykh problem suchasnosti” [Collected works of the international scientific conference “Strategy of development of tourism in the 21st century in the context of global problems solving”]. LIET, Lviv, 2014. S. 265-271.

31 Kuchynska I.V. Tourism in the global ecological crisis: challenges and perspectives of development. Zbirnyk materialiv prats mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii “Stratehiia rozvytku turyzmu u 21 st. u konteksti vyrishennia hlobalnykh problem suchasnosti” [Collected works of the international scientific conference “Strategy of development of tourism in the 21st century in the context of global problems solving”]. LIET, Lviv, 2014. S.291-301.

32 Murava J, Korobeinykova Ya. The analysis of the waste problem in tourist destination on the example of Carpathian region in Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*. Volume 17, Issue 2, Apr, 2016, P. 43 – 51.

33 Korobeinykova Ya.S. Ekolohichni vplyvy zakladiv hostynnosti na dovkillia. Materialy I Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii — Ekolohichna bezpeka ob'ektiv turystychno-rekreaciinoho kompleksu. – Lviv : LDUBZhD, 2019. – S. 150 – 153.

34 Korobeinykova Ya. S., Yuras Yu. I. Problemy turystychnoho resursokorystuvannia v hirskykh obiednanykh terytorialnykh hromadakh Ivano-Frankivskoi oblasti // Ekolohichna bezpeka i zbalansovane resursokorystuvannia: Naukovo-tekhnicnyi zhurnal. – 2019. – S. 111–119.

35 Leiper, N. *Tourism Management*. 3d ed. / N. Leiper. – Sidney: Pearson Education Australia, 2004. – 326 p.

36 Golovchan A.I. Teoretyko-metodolohichni pidkhody do vyznachennia sutnosti turystychnykh destynatsii ta upravlinnia nymy – Rezhym dostupu do resursu: http://www.nbu.gov.ua/2009_27/24.pdf (accessed on 11.02.2021)

37 Diadechko L.P. *Ekonomika turystychnoho biznesu: navch. pos.* / L.P. Diadechko. – Donetsk: DonDUET, 2006. – 224 s.

38 Melnychenko S.V. Upravlinskyi mekhanizm rozvytku turystychnoi destynatsii. - Rezhym dostupu do resursu: http://www.nbu.gov.ua/portal/Soc_Gum/Tiru/2009_27/24.pdf. (accessed on 11.02.2021)

39 Leonteva Yu.Yu., Tymoshhenkova O.A. Regionalnaya turisticheskaya destinatsiya yee sotsialno-ekonomicheskoe razvitie. – Rezhym dostupu do resursu: <http://cyberleninka.ru/article/n/regionalnaya-turistskaya-destinatsiya-i-eyo-sotsialno-ekonomicheskoe-razvitie#ixzz3UXOORTK5> (accessed on 11.02.2021)

40 Malceva Yu.N., Vlashhenko N.N. Podkhody k opredeleniyu turisticheskoi destinatsii. – Retrieved from: http://eprints.kname.edu.ua/view/year/2011.type.html#group_conference=5Fitem (accessed on 11.02.2021)

41 Matrushenko N.S. Klasternyi podkhod k prostranstvennomu razvitiyu turistiskikh destinatsii regiona (na primere Primorskogo kraia) /N.S. Matrushenko.- *Ekonomicheskije nauki*. – 2010. – #1. – S.143-147.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Аблєєва Ірина Юрїївна – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри екології та природозахисних технологій Сумського державного університету;

Адаменко Олег Максимович – доктор геолого-мінералогічних наук, професор, професор кафедри екології Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Адаменко Ярослав Олегович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Бережна Ірина Олексіївна – викладач-стажист кафедри екології та природозахисних технологій Сумського державного університету;

Бондарчук Тетяна Андріївна – здобувач освітнього ступеня бакалавр освітньої програми «Екологія» Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Главацька Лілія Юрїївна – аспірант Вінницького національного технічного університету, за спеціальністю 183 «Технології захисту навколишнього середовища»;

Караванович Христина Богданівна – аспірант освітньої програми «Екологія» Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Карпаш Олег Михайлович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри енергетичного менеджменту і технічної діагностики Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Качала Софія Віталіївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри туризму Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Качала Тарас Богданович – кандидат технічних наук, доцент кафедри екології Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Климчук Ігор Ярославович – аспірант освітньої програми «Екологія» Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Коробейнікова Ярослава Степанівна – кандидат геологічних наук, доцент, доцент кафедри туризму Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Кошлак Ганна Володимирівна – доктор технічних наук, професор, професор кафедри будівництва та енергоефективних споруд Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Кухтар Денис Васильович – кандидат технічних наук, доцент кафедри геодезії та землеустрою Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Москальчук Наталія Михайлівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри екології Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Орфанова Марія Михайлівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Павленко Анатолій Михайлович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри будівництва та енергоефективних споруд Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Пляцук Леонід Дмитрович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології та природозахисних технологій Сумського державного університету;

Райтер Петро Миколайович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри енергетичного менеджменту і технічної діагностики Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Сінченко Валерій Григорович – кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, інженер лабораторії «Токсикологічний, дослідницький, випробувальний центр фізико-хімічного аналізу та референс-лабораторій» ДП «Науковий центр превентивної токсикології, харчової та хімічної безпеки імені академіка Л. І. Медведя МОЗ України», м. Чернівці;

Трунова Інна Олександрівна – доктор філософії, доцент кафедри екології та природоохоронних технологій Сумського державного університету;

Чупа Володимир Михайлович – аспірант освітньої програми «Екологія» Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Яворський Андрій Вікторович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри енергетичного менеджменту і технічної діагностики Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Яхненко Олена Миколаївна – доктор філософії, асистент кафедри екології та природоохоронних технологій Сумського державного університету;

Яцишин Теодозія Михайлівна – доктор технічних наук, доцент, доцент кафедри екології Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

Наукове видання

**ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА
ТА ЗБАЛАНСОВАНЕ РЕСУРСКОРИСТУВАННЯ**

Науково-технічний журнал

2021 – № 1 (23)

РЕДАКТОРСЬКИЙ ВІДДІЛ:

Редактори: Адаменко Я. О. (друкована версія)
Качала Т. Б. (електронна версія)

**Літературний
коректор:** Онуфрик Г. Я. (українська мова)
Стахмич Ю. С. (англійська мова)

**Видавництво Івано-Франківського національного
технічного університету нафти і газу
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна
тел. +380 (342) 54-72-66, факс +380 (342) 54-71-39,
<http://nung.edu.ua>, e-mail: admin@nung.edu.ua
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців
ІФ № 18 від 12.03.2002 р.**

**Підписано до друку 30.06.2021 Формат 60×90/8 Папір офсетний
Ум. друк. арк. 7,9 Тираж 300 прим. Замовл. № 50**